

INTERRELATION DE L'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE ET DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE - ÉTUDE DU PARC
INDUSTRIEL ET PORTUAIRE DE BÉCANCOUR

Par
Linda Esseghaier

Essai présenté au Centre universitaire de formation
en environnement et développement durable en vue
de l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.)

Sous la direction de Monsieur Marc Olivier

MAÎTRISE EN ENVIRONNEMENT
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Janvier 2016

SOMMAIRE

Mots clés : économie circulaire, économie linéaire, symbiose industrielle, écologie industrielle, écologie industrielle territoriale, indicateurs, développement durable, synergies de sous-produits, parc éco-industriel

L'objectif principal de cet essai est de relier deux concepts, l'un déjà bien intégré, l'écologie industrielle, et le second plus récemment apparu, l'économie circulaire. L'écologie industrielle est le plus souvent mise en œuvre par la création d'une symbiose industrielle. Cet essai a ciblé une symbiose en particulier, la symbiose industrielle de Bécancour, reconnue comme le projet le plus avancé de la province québécoise en écologie industrielle. L'un des sous-objectifs de cet essai est de déterminer si ce projet de synergies de sous-produits est également acteur d'une économie circulaire. La problématique est alors de délimiter chaque concept d'économie circulaire et d'écologie industrielle afin de déterminer s'il s'agit de deux concepts semblables ou de deux approches distinctes.

Le résultat de cet essai démontre que les limites entre les deux concepts ici abordés restent floues en l'absence d'un lexique scientifique commun. Dans leur approche globale, économie circulaire et écologie industrielle sont équivalentes, mais prise dans un cadre plus restrictif, l'écologie industrielle en tant que processus de bouclage de flux est un modèle d'affaires qui contribue à une économie circulaire.

Parmi les autres conclusions de cet essai, il a été montré que la symbiose industrielle de Bécancour contribue, par ses synergies de sous-produits, à promouvoir un développement durable du territoire et de la société puisqu'elle met déjà en application l'économie circulaire sur son site sans même en avoir connaissance. Ainsi, parmi les recommandations, il a été suggéré au Centre de transfert technologique en écologie industrielle de faire valoir sa participation et son rôle déjà majeur dans le changement de paradigme qu'impose le nouveau modèle d'économie circulaire, notamment en adoptant une position et une définition personnalisée de ce concept. D'autres recommandations adressées au gouvernement provincial ont également été formulées afin de promouvoir le passage vers un modèle de fabrication et de consommation à boucle fermée où les pouvoirs publics, les industriels, mais également les consommateurs sont acteurs de changement.

REMERCIEMENTS

Merci... Il s'agit là du seul mot pour lequel Antidote (mon meilleur ami pendant ces deux ans de maîtrise) n'a aucune suggestion de synonyme à me proposer! Je vais donc « devoir » le répéter à plusieurs reprises, mais merci.

Tout d'abord, je tiens à remercier mon directeur d'essai, Monsieur Marc Olivier, de m'avoir fait découvrir cette nouvelle thématique, de même que pour sa compréhension, ses conseils et son aide apportée dans le cadre de cet essai. Je souhaite également remercier Madame Jennifer Pinna et Monsieur David Verville pour leur contribution et leur disponibilité dans la réalisation de cet essai.

Merci également aux membres du CUFÉ, plus particulièrement à Madame Judith Vien pour sa disponibilité et son encadrement dans le cadre de cet essai, ainsi que Madame Diane Couture d'avoir toujours trouvé solution à toutes les difficultés administratives dans lesquelles je me suis retrouvée.

Par la suite, mes remerciements s'adressent à mes amis. À mes quatre petits Québécois, merci de m'avoir offert tant de découvertes. Stefy, merci pour les belles aventures, les fous rires et les nuits blanches de révisions sherbrookoises et suisses; merci de m'avoir soutenue et encouragée tout au long de cet essai, de t'être déplacée juste pour m'offrir soutien et motivation quand tout allait mal. Merci à mon petit groupe de la maison du bonheur, à mes rencontres marquantes d'ici et à mon confident. Merci à mes amis les plus proches qui m'ont encouragée et qui sont toujours là après tant d'années et en dépit de la distance qui nous sépare.

Parce qu'il me faudrait plus d'une page pour leur lister les 36 000 choses pour lesquelles je dois les remercier, à mes parents et à ma petite famille, merci! Un simple merci qui vaut plus que 1 000 mots.

Merci à mes parents sans qui je ne serais pas là. Un merci à mon père, mon exemple! À ma confidente, mon amie et ma relectrice qui a partagé avec moi cet essai et ces deux années de maîtrise, merci maman! Merci à mon frère et à ma sœur qui croient en moi bien plus que moi même, à mes petits amours que je vois grandir de loin, mais qui me motivent à continuer dans ce domaine qu'est l'environnement, car « Nous n'héritons pas de la terre de nos parents, nous l'empruntons à nos enfants. » (Antoine de Saint-Exupéry)

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
1 MISE EN SITUATION	4
1.1 Le cercle vicieux d'une économie linéaire et ses limites	4
1.1.1 L'épuisement des ressources naturelles	5
1.1.2 La consommation d'énergie	5
1.1.3 La perte des services écosystémiques.....	6
1.1.4 L'abondance des matières résiduelles et des déchets	6
1.1.5 Les risques de rupture d'approvisionnement et de déséquilibre économique	7
1.2 La linéarité est-elle soutenable? Les enjeux écologiques et économiques d'un nouveau modèle de croissance plus durable	7
1.2.1 Une meilleure efficacité des ressources et l'internalisation des externalités	8
1.2.2 Vers une diminution du taux de déchets	9
1.2.3 Des nouvelles offres d'emplois	10
2 ÉTAT DE CONNAISSANCES	11
2.1 L'écologie industrielle.....	11
2.1.1 L'émergence de l'écologie industrielle	11
2.1.2 L'évolution du système industriel et sa maturation	12
2.1.3 Les fondements de l'écologie industrielle.....	13
2.1.4 Le bouclage des flux, principe fondamental de l'écologie industrielle	17
2.1.5 D'autres principes pour la dématérialisation	18
2.2 L'écologie industrielle territoriale	19
2.3 La symbiose industrielle	19
2.3.1 Le métabolisme industriel.....	21
2.3.2 Les synergies industrielles.....	21
2.3.3 Les symbioses industrielles au Québec.....	22
2.4 Avantages d'une démarche d'écologie industrielle et territoriale	23
2.5 Les limites de l'écologie industrielle	24
2.6 L'économie circulaire	24
2.6.1 L'émergence de l'économie circulaire.....	24
2.6.2 Le concept d'économie circulaire	26
2.6.3 Les démarches d'économie circulaire à travers le monde	33
2.7 Écologie industrielle, économie circulaire et développement durable.....	38
3 PERFORMANCE ET INDICATEURS	40
3.1 Évaluation des projets d'écologie industrielle.....	40
3.2 Les indicateurs d'écologie industrielle	40

3.3 Les indicateurs d'économie circulaire.....	41
4 RETOUR D'EXPERIENCES D'ECONOMIE CIRCULAIRE À TRAVERS L'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE	43
4.1 Zone de développement économique et technologique de Tianjin (Chine)	43
4.2 Territoire dunkerquois	44
4.3 L'écologie industrielle territoriale appliquée aux plateformes portuaires des ports de Paris	45
5 ÉLABORATION DES DÉMARCHES DE SYMBIOSE INDUSTRIELLE.....	46
5.1 Les facteurs clés d'une démarche d'écologie industrielle.....	46
5.2 Démarche spontanée de symbiose industrielle	46
5.2.1 Modèle théorique de mise en place d'une démarche spontanée de symbiose industrielle.....	47
5.2.2 Mise en œuvre de la symbiose industrielle de Kalundborg	47
5.2.3 Les synergies mises en place à Kalundborg	48
5.2.4 Les retombées de la symbiose de Kalundborg	49
5.3 Démarche planifiée de symbiose industrielle développée par le CTTÉI.....	49
5.3.1 Modèle théorique du CTTÉI de mise en place d'une démarche spontanée de symbiose industrielle	49
5.3.2 Mise en œuvre de la symbiose industrielle de Bécancour	50
5.3.3 Les synergies mises en place à Bécancour.....	51
5.3.4 Les retombées de la SI	54
6 ÉTUDE DE CAS : PARC INDUSTRIEL ET PORTUAIRE DE BÉCANCOUR	55
6.1 Présentation du cas d'étude : le site de Bécancour	55
6.2 Vision 2015-2020 de la symbiose industrielle de Bécancour.....	55
6.3 Les indicateurs d'écologie industrielle pour la mesure des retombées du projet de symbiose de Bécancour.....	56
6.3.1 Les référentiels d'indicateurs consultés	58
6.3.2 Les indicateurs retenus pour l'évaluation de la SIB	59
6.4 Tableau de bord et mesure des retombées de la symbiose industrielle de Bécancour	67
6.5 Contribution de la symbiose industrielle de Bécancour à l'économie circulaire?	71
7 ANALYSE CRITIQUE ET RECOMMANDATIONS.....	75
7.1 Analyse critique : une comparaison de point de vue conceptuelle de l'écologie industrielle et de l'économie circulaire	75
7.2 Recommandations.....	81
7.2.1 Recommandations au CTTÉI.....	81
7.2.2 Recommandations adressées au gouvernement	86
CONCLUSION	90
RÉFÉRENCES	92

BIBLIOGRAPHIE	104
ANNEXE 1 - RÉSULTATS DES SCÉNARIOS DE DÉCOUPLAGE POUR LA RÉALISATION D'UNE ÉCONOMIE CIRCULAIRE EN SUÈDE D'ICI 2030	106
ANNEXE 2 - CHRONOLOGIE DE L'ÉMERGENCE DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE	107
ANNEXE 3 - CYCLE DE TRANSFORMATION DES PRODUITS DANS UNE ÉCONOMIE CIRCULAIRE	108
ANNEXE 4 - SEPT AXES POUR UN CERCLE VERTUEUX : L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE DANS LE DOMAINE AUTOMOBILE	110
ANNEXE 5 - CADRE LÉGISLATIF CHINOIS POUR LA PROMOTION DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE	111
ANNEXE 6 - COMPARAISON DES DIFFÉRENTES APPROCHES DE MESURE DE LA PERFORMANCE DES PROJETS D'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE	112
ANNEXE 7 - LES INDICATEURS CHINOIS D'ÉCONOMIE CIRCULAIRE À L'ÉCHELLE MÉSOÉCONOMIQUE.....	113
ANNEXE 8 - MÉTHODOLOGIE ET ÉTAPES D'IMPLANTATION D'UNE SYMBIOSE INDUSTRIELLE	114
ANNEXE 9 - SCHÉMA DE LA SYMBIOSE DE BÉCANCOUR EN SEPTEMBRE 2012.....	115
ANNEXE 10 - RÉSULTAT DU CALCUL DE GAINS À LA SYMBIOSE INDUSTRIELLE DE BÉCANCOUR DES 28 SYNERGIES CONCRÉTISÉES	116
ANNEXE 11 - INDICATEURS DES LIGNES DIRECTRICES POUR LE REPORTING DÉVELOPPEMENT DURABLE .	117
ANNEXE 12 - INDICATEURS TERRITORIAUX DE DÉVELOPPEMENT DURABLE DES TERRITOIRES DE LA HAUTE-NORMANDIE	118
ANNEXE 13 - INDICATEURS D'ÉCONOMIE CIRCULAIRE DU CONSEIL NATIONAL DE L'INDUSTRIE	120
ANNEXE 14 - GRILLE D'INDICATEURS POUR LA MESURE DE LA SYMBIOSE INDUSTRIELLE DE BÉCANCOUR	122
ANNEXE 15 - FICHE D'APPRÉCIATION SUR LE DEGRÉ D'APPLICATION DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE SUR LE SITE DE BÉCANCOUR	125

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 1.1 Effet de l'économie circulaire sur la demande de marché des matières premières	9
Figure 1.2 Effet de l'économie circulaire sur le taux de matières enfouies	9
Figure 2.1 Les différents types d'écosystèmes	12
Figure 2.2 Les trois niveaux d'application de l'écologie industrielle	16
Figure 2.3 Modèles de l'économie linéaire et de l'économie circulaire	28
Figure 2.4 Schématisation des flux dans un système linéaire versus un système circulaire	29
Figure 2.5 Schéma de l'économie circulaire	30
Figure 2.6 Étapes d'une démarche d'économie circulaire	33
Figure 2.7 Les domaines d'actions de l'économie circulaire	34
Figure 2.8 Les sept piliers de l'économie circulaire	36
Figure 5.1 Cartographie des flux échangés de la symbiose industrielle de Kalundborg	48
Figure 5.2 État des synergies en phase 2 du projet de SIB et les raisons d'invalidation	53
Figure 6.1 Résultat de l'appréciation de la démarche d'économie circulaire sur le site de Bécancour ..	71
Figure 6.2 Schéma de l'écologie industrielle et de l'économie circulaire proposée au CTTÉI	74
Tableau 2.1 Définitions de l'écologie industrielle	14
Tableau 2.2 Les différentes catégories de symbioses industrielles en fonction de leur mise en œuvre ..	21
Tableau 2.3 Les gains liés à un projet de symbiose industrielle	23
Tableau 2.4 Définitions de l'économie circulaire	27
Tableau 2.5 Les pratiques actuelles d'économie circulaire en Chine	37
Tableau 2.6 Contribution des projets d'écologie industrielle aux objectifs de la <i>Stratégie gouvernementale de développement durable 2015-2020</i>	39
Tableau 2.7 Contribution des projets d'économie circulaire aux objectifs de la <i>Stratégie gouvernementale de développement durable</i>	39
Tableau 5.1 Les synergies proposées selon les catégories de matières en phase 1 de la symbiose industrielle de Bécancour	52
Tableau 5.2 Chronologie de développement de la symbiose industrielle de Bécancour	53
Tableau 6.2 Critères sélectionnés pour la mesure de l'économie circulaire et de certaines retombées du projet de symbiose de Bécancour	57
Tableau 6.3 Indicateurs retenus pour la mesure de la gestion de la symbiose industrielle	61
Tableau 6.4 Les indicateurs retenus pour la mesure des retombées économiques de la symbiose industrielle	62
Tableau 6.5 Les indicateurs retenus pour la mesure des retombées environnementales	65

Tableau 6.6 Les indicateurs de performance sociale retenus pour la mesure des retombées sociales sur le territoire de la symbiose industrielle.....	66
Tableau 6.7 Boussole d’impacts des projets d’écologie industrielle et d’économie circulaire	70
Tableau 7.1 Comparaison des différents concepts d’écologie industrielle et d’économie circulaire	80

LISTE DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES

ACV	Analyse de cycle de vie
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise en Énergie
BAU	<i>Business as usual</i>
BRIQ	Bourse des résidus industriels du Québec
C2C	<i>Cradle to cradle</i>
CC	Changement climatique
CCI	Chambres de Commerce et d'Industrie
CGDD	Commissariat général au développement durable
CIRAIG	Centre international de référence sur le cycle de vie des produits, procédés et services
CND	Conseil national des déchets
CNI	Conseil national de l'industrie
CO ₂	Dioxyde de carbone
COMETHE	Conception d'Outils Méthodologiques et d'Évaluation pour l'écologie industrielle
CTTÉI	Centre de transfert technologique en écologie industrielle
DALY	<i>Disability Adjusted Life Year</i>
DD	Développement durable
DfE	<i>Design for Environment</i>
DREAL	Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement
DU	Déchets ultimes
ÉC	Économie circulaire
EDDEC	Institut d'environnement, du développement durable et de l'économie circulaire
ÉI	Écologie industrielle
ÉIT	Écologie industrielle et territoriale
Genie	<i>Geneva Network of Industrial Ecology</i>
GES	Gaz à effet de serre
GRI	<i>Global Reporting Initiative</i>
ICI	Industrie, commerce et institution
LCA	<i>Life Cycle Analysis</i>
LGEI	Laboratoire de Génie de l'Environnement Industriel
LQE	<i>Loi sur la qualité de l'environnement</i>
MDDELCC	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques

MDDEP	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs
MEDDE	Ministère français de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie
MP	Matières premières
MR	Matières résiduelles
NSIP	<i>National Industrial Symbiosis Programme</i>
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OQLF	Office québécois de la langue française
PDF	<i>Potentially Disappeared Fraction of Species</i>
PGMR	Plans de gestion de matières résiduelles
PIB	Produit intérieur brut
PIPB	Parc industriel et portuaire de Bécancour
PLTE	Projet de loi relatif à la transition énergétique pour la croissance verte
RÉP	Responsabilité élargie des producteurs
SI	Symbiose industrielle
SIB	Symbiose industrielle de Bécancour
SO ₂	Dioxyde de soufre
SPEDE	Système québécois de plafonnement et d'échange de droits d'émission de gaz à effet de serre
SPIP	Société du parc industriel et portuaire de Bécancour
TBL	<i>Triple Bottom Line</i>
TEDA	<i>Tianjin Economic Technological Development</i>
WWF	<i>World Wide Fund</i>
3R	Réduire, réutiliser et recycler
3RV	Réduire, réutiliser, recycler et valoriser

LEXIQUE

Approvisionnement durable	Mode d'approvisionnement d'une organisation, qui prend en compte des critères sociaux et environnementaux dans l'optique d'un développement à long terme respectueux de l'environnement physique, social et économique (Office québécois de la langue française (OQLF), 2013).
Consommation collaborative	L'économie de partage est un modèle qui incite à utiliser au maximum les produits et services en circulation en les partageant entre plusieurs acteurs, le plus souvent par l'intermédiaire d'une plateforme <i>WEB</i> qui apparie les offres et les demandes. Ces transactions peuvent se réaliser avec ou sans rémunération (Institut d'environnement, du développement durable et de l'économie circulaire, 2015a).
Consommation responsable	Mode de consommation de produits et de services qui se fait en prenant en considération ou en satisfaisant des principes de respect à long terme de l'environnement physique, social et économique (OQLF, 2013).
Écoconception	Conception d'un produit, d'un bien ou d'un service, qui prend en compte, afin de les réduire, ses effets négatifs sur l'environnement au long de son cycle de vie, en s'efforçant de préserver ses qualités ou ses performances (OQLF, 2013).
Écologie industrielle	L'écologie industrielle est un raffinement du concept de métabolisme industriel, c'est-à-dire que cette démarche offre une approche intégrée des concepts de la pensée « cycle de vie », mais qui est appliquée à travers des partenariats interdisciplinaires (Vendette et Côté, 2008, p. 33).
Écologie industrielle territoriale	L'écologie territoriale reprend les fondements de l'écologie industrielle, mais en y intégrant une dimension spatiale. En effet, cette approche vise la coopération d'un ensemble d'acteurs d'origines économiques et sociales différentes interagissant dans un écosystème défini; le territoire (Vendette et Côté, 2008, p. 34).
Économie circulaire	L'économie circulaire est un système économique d'échange et de production qui, à tous les stades du cycle de vie des produits (biens et services), vise à augmenter l'efficacité de l'utilisation des ressources et à diminuer l'impact sur l'environnement tout en développant le bien-être des individus (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise en Énergie (ADEME), 2015a).

Économie de fonctionnalité	Une économie qui privilégie l'usage à la possession et tend à vendre des services liés aux produits plutôt que les produits eux-mêmes (ADEME, 2015a).
Économie linéaire	L'économie linéaire s'appuie sur l'exploitation sans limites des ressources. Elle est basée sur le processus linéaire « extraire-fabriquer-consommer-jeter » qui consomme des ressources naturelles et de l'énergie pour fabriquer des produits qui deviendront, en fin de vie, des déchets (Le Moigne, 2014, p. 29).
Économie verte	Économie caractérisée par des investissements et des dispositions techniques qui visent à éviter, à réduire ou à supprimer les pollutions et, en particulier, les émissions de dioxyde de carbone, tout en utilisant au mieux les ressources énergétiques disponibles (OQLF, 2013).
Parc éco-industriel	Territoire où des établissements exercent la symbiose industrielle à travers la synergie de sous-produits (Vendette et Côté, 2008).
Principe 3RV	Principe qui consiste à privilégier la réduction, le réemploi, le recyclage, la valorisation et l'élimination des matières résiduelles, dans cet ordre, dans une optique de gestion écologique (OQLF, 2013).
Symbiose industrielle	Association entre deux organismes qui est profitable pour chacun d'eux. Dans cette optique, deux entreprises indépendantes ou plus peuvent collaborer en s'échangeant des matériaux, de l'énergie ou encore de l'information et ainsi réaliser un gain mutuel (Vendette et Côté, 2008, p. 31).
Synergie industrielle	Échange de flux de matières et d'énergie entre deux ou plusieurs entités (Vendette et Côté, 2008, p. 31).
<i>Triple Bottom Line</i>	L'idée est que la performance d'une entreprise ne peut se limiter par la mesure du profit, mais doit également inclure ses effets sur l'environnement et la société dans son ensemble (<i>Cambridge Business English Dictionary</i> , 2015).

INTRODUCTION

La richesse globale se crée à partir d'un désir personnel :

« Ce n'est pas de la bienveillance du boucher, du marchand de bière et du boulanger que nous attendons notre dîner, mais bien du soin qu'ils apportent à leurs intérêts. Nous ne nous adressons pas à leur humanité, mais à leur égoïsme; et ce n'est jamais de nos besoins que nous leur parlons, c'est toujours de leur avantage ». (Adam Smith, 1776)

Le modèle économique actuel est ainsi fait et encourage une économie capitaliste néolibérale, une économie de fabrication, une économie qui puise indéfiniment dans les ressources pour satisfaire un besoin continu et insatiable de possessions et de croissance. Pourtant, ce modèle de consommation linéaire évolue dans un milieu où les ressources ne sont pas infinies. Les impacts d'une crise écologique, économique et urbaine de la nature se font déjà sentir sur la génération actuelle, mais également sur les générations futures. (Lévy, 2009) Décembre 2015, Paris, un sujet réunissait politiciens, scientifiques, universitaires, organismes environnementaux, société civile : le changement climatique (CC)! Cependant, la question des CC soulève bien plus de problématiques que celle de l'adaptation et de la diminution des émissions de gaz à effet de serre (GES) en dessous des deux degrés Celsius. Le problème de fond reste l'économie et cette question : comment jumeler croissance économique et consommation des ressources tout en assurant aux générations futures les mêmes droits et privilèges que les générations actuelles?

Ne changeons pas le climat, changeons le système (Combes, 21 décembre 2009) protestaient déjà les foules à l'occasion de la Cop 15. Face aux différentes crises, l'économie linéaire actuelle semble désuète et non durable (Lévy, 2009). Le système actuel et l'économie de fabrication sont pointés du doigt comme étant le motif des maux de ce siècle. Et pour cause, le modèle économique linéaire qui consiste à extraire, fabriquer, consommer, jeter puis de nouveau extraire, fabriquer, consommer, jeter et ainsi de suite, est à la fois gaspilleur en ressources et pollueur.

Dans la recherche d'un équilibre entre activités économiques et protection de l'environnement, différents concepts ont émergé au cours des années en matière de gestion environnementale. Dans le système industriel, l'écologie industrielle (ÉI) a permis d'associer activités industrielles et protection de l'environnement. Plus récemment, l'économie circulaire (ÉC) est présentée comme l'alternative au modèle de l'économie linéaire et le moyen de mise en place d'une économie plus verte et plus durable. Ce nouveau modèle repose sur l'efficacité des ressources et leur réutilisation et promeut une économie positive et réparatrice (Potočník, 2014; *Ellen MacArthur Foundation*, 2015b).

Plusieurs pays ont déjà emboîté le pas vers la circularité. La France envisage d'améliorer sa balance commerciale de 1,5 % du produit intérieur brut (PIB), soit environ 50 milliards d'euros de gains, et de

produire environ 500 000 nouveaux emplois grâce à une gestion efficace des matériaux, de l'énergie et au développement des énergies renouvelables (Wijkman et Skånberg, s. d.). La Chine, présentée comme le laboratoire de l'ÉC, met en œuvre ce modèle par la création de projets d'ÉI à différentes dimensions économiques allant de l'entreprise jusqu'à l'échelle de la nation.

Si l'ÉC connaît actuellement un engouement important et est mise en avant dans plusieurs politiques publiques, les fondements de ce concept sont toutefois peu documentés. De plus, un lien direct, encore non décrit, semble exister entre cette nouvelle terminologie et le concept de l'ÉI. L'ÉI serait-elle un cas particulier de l'économie circulaire? (Le Moigne, 2014)

L'objectif principal de cet essai est de trouver réponse à cette question. Ainsi ce livrable a pour finalité d'introduire ce nouveau modèle, de démystifier deux concepts, soit l'ÉC et l'ÉI, de les délimiter et d'arrimer ces deux modèles dans leur compréhension générale et leur application. Pour y répondre, chaque concept a été étudié individuellement pour comprendre son émergence, ses fondements et ses applications. Ensuite, un cas pratique de projet d'ÉI, la symbiose industrielle de Bécancour (SIB), a été étudié. Dans la mesure du possible, les retombées de la symbiose industrielle (SI) et l'application de l'ÉC ont été recherchées afin de démontrer qu'un projet d'ÉI permet la promotion du modèle économique circulaire. Enfin, l'étude de cas de la SIB, ainsi que l'analyse critique du travail de recherche et d'investigation sur les deux thématiques d'ÉC et d'ÉI, ont permis la formulation des recommandations adressées au Centre de transfert technologique en écologie industrielle (CTTÉI), mais également au gouvernement québécois. L'ensemble de ces sous-objectifs contribue de ce fait à mieux positionner les deux concepts faisant l'objet d'étude de cet essai et donc à l'atteinte de l'objectif principal.

Pour comparer l'ÉI et l'ÉC, une première méthodologie herméneutique, inspirée d'une étude similaire (Seuring, 2004), a été employée. Il y est question, à partir de différentes définitions d'ÉI et d'ÉC, d'introduire, d'interpréter chaque concept et de mettre en avant les fondements de chacun en vue de rechercher les interrelations entre ces deux notions. Ensuite, pour construire un référentiel d'indicateurs mesurant les actions de l'ÉC et les retombées de la SI, la méthodologie a consisté à étudier différents référentiels d'indicateurs en ÉI, ÉC et de développement durable territorial afin de sélectionner ceux adaptés aux objectifs de cet essai. Deux catégories d'indicateurs ont ainsi été proposées : des indicateurs d'état renseignant sur la dynamique territoriale entre acteurs ainsi que des indicateurs de performances mesurant l'avancement des actions d'ÉC et les impacts du projet d'ÉI (Duret et autres, 2014).

Des sources bibliographiques diversifiées, pertinentes et crédibles ont été consultées pour le besoin de cet essai. Ont été ciblés les documents gouvernementaux de pays déjà engagés dans la démarche d'ÉC

et d'ÉI ainsi que les articles scientifiques d'auteurs de renommée en ÉI. De plus, une grande majorité de ces documents sont de source récente étant donné la nouveauté du sujet. Enfin, une partie de la documentation consultée est spécifique au parc industriel provenant d'une documentation interne et confidentielle du CTTÉI et d'entrevues.

Cet essai est divisé en sept sections. Le premier chapitre met en contexte la problématique environnementale qui a conduit à la critique de l'économie actuelle ainsi que les enjeux de l'émergence de l'ÉC. Par la suite, les deux concepts d'ÉC et d'ÉI sont analysés. Dans cette seconde section, chaque concept est séparément traité, depuis son émergence jusqu'à son application. Les limites dans la mesure de ces deux démarches sont présentées dans une section à part et des retours d'expériences de projets circulaires mis en place par une démarche d'ÉI sont présentés en chapitre 4. La section 5 introduit les différents modèles de projets de symbioses en fonction de leur création. Cette section présente de ce fait la méthodologie mise en place par le CTTÉI pour la création des SI. La section suivante présente le Parc industriel et portuaire de Bécancour (PIPB) avec pour objectif d'estimer, dans la mesure du possible et avec les informations disponibles, les retombées du projet de synergies de sous-produits. Enfin, le chapitre 7 clôture cet essai avec une analyse critique du lien ÉI/ÉC. Des recommandations sont également adressées tant au CTTÉI qu'au gouvernement québécois et visent à promouvoir l'implantation de l'ÉI et de l'ÉC dans le système industriel québécois.

1 MISE EN SITUATION

« Une société qui survit en créant des besoins artificiels pour produire efficacement des biens de consommation inutiles ne paraît pas susceptible de répondre à long terme aux défis posés par la dégradation de notre environnement. »

Par ces propos, Joliot Curie (s. d.) pose la problématique exposée dans la section suivante à savoir les limites du modèle économique actuel, présenté comme linéaire, ainsi que les enjeux de développer une nouvelle économie et un mode de vie plus responsable.

1.1 Le cercle vicieux d'une économie linéaire et ses limites

Mise en contexte ou remise en question de notre société? La population actuelle vit dans un monde où la consommation est une nécessité et la recherche du bonheur n'est satisfaite que par la possession matérielle. La consommation est le mal caché du siècle! Sans en être conscient, le consommateur est devenu dépendant, acheteur compulsif et, en-dehors de sa propre volonté, un hyperconsommateur obéissant et participant aveuglément à un système économique d'hyperproduction : un système basé sur un modèle économique dit linéaire.

La linéarité c'est d'extraire, fabriquer, consommer puis jeter. Ainsi,

« nous consommons des ressources naturelles comme si elles étaient inépuisables. Nous produisons sans payer le prix de la pollution. Nous vendons à des clients qui n'en ont pas forcément besoin des produits qui casseront rapidement et qui ne seront pas réparables. Enfin, nous jetons ces produits en fin de vie sans chercher à en récupérer la valeur » (Le Moigne, 2014, p. 9).

En effet, depuis la révolution industrielle, l'homme ne cesse de puiser indéfiniment dans des ressources pourtant finies à la recherche de toujours plus de croissance et la satisfaction de besoins, parfois superflus, grandissants et un bien-être insatiable.

Dans la vie tout est enchaînement; le modèle économique est certes linéaire, mais il entraîne la société dans un cercle vicieux auquel un groupe d'experts avait pourtant mis en garde par la publication, dès le début des années soixante-dix, du rapport « *Limits to Growth* » (Meadows, 1972). Cinq indicateurs ont été mis en avant dans ce rapport afin d'exposer les limites de notre mode de vie : croissance démographique, production alimentaire, production industrielle, pollution et dégradation de l'écosystème et enfin épuisement des ressources naturelles non renouvelables (*Club of Rome*, s. d.). Quarante ans plus tard où en sommes-nous? Quels sont les impacts de la linéarité de ce mode de vie?

Déjà en 2003, le Club de Rome publiait une révision de ce premier rapport, « *Limits to Growth : the 30-year update* » (Meadows, 2004). Cette mise à jour met en avant la situation de dépassement dans

laquelle vit la société actuelle et tire de nouveau le signal d'alarme quant à l'urgence d'agir réellement. Si l'avancement technologique et l'avancement scientifique sont à leur apogée, ils ont été peu appliqués dans un objectif de contrer les externalités négatives du mode de vie et de production actuel.

La même urgence de réduire la consommation des ressources, la production des déchets et ainsi l'impact sur l'écosystème dans son ensemble est réitérée 30 ans après que les premiers signes n'aient déjà été mis en avant. (Donella Meadows Institute, s. d.)

1.1.1 L'épuisement des ressources naturelles

« L'économie linéaire fait l'hypothèse que les ressources naturelles sont inépuisables » (Le Moigne, 2014, p. 11). Ainsi, en 2010, environ 65 milliards de tonnes de matières premières (MP) ont été introduites dans le système économique, et 82 milliards de tonnes devront l'être en 2020 (*Ellen MacArthur Foundation*, 2013a). Sur le plan pratique, les différentes crises, notamment la crise pétrolière et la crise alimentaire, ont bien montré que les stocks des ressources naturelles, renouvelables et non renouvelables, ne sont pas inépuisables et que le rythme d'exploitation est bien plus rapide que celui de leur restauration. Si des politiques de restrictions, d'économie d'énergie, d'approvisionnement durable ont été mises en place, et malgré une prise de conscience générale, l'extraction des ressources à l'échelle mondiale est aujourd'hui le double de ce qu'elle était en 1980 (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise en Énergie (ADEME), 2015b). Et les tendances actuelles ne sont pas prêtes de s'inverser. En effet, pour répondre à la croissance démographique exponentielle des dix prochaines années, il est attendu que la demande en ressources naturelles augmente d'un tiers (Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), 2015).

1.1.2 La consommation d'énergie

Les besoins énergétiques sont essentiellement importants en amont de la chaîne de production, soit lors de l'extraction des ressources et de leurs transformations en MP commercialement utilisables (Erkman, 2004). Par exemple, 80 % de l'énergie consommée dans un processus de fabrication d'un produit en aluminium semi-fini se fait en début de chaîne soit pour le raffinage et l'obtention de l'aluminium semi-fini (*Ellen MacArthur Foundation*, 2013a).

Ainsi, plus le système industriel est produit à partir de matières vierges plus il consomme de l'énergie! En alternative, utiliser les matières résiduelles (MR) comme intrants permettrait des économies d'énergie en évitant les opérations d'extraction et de transformation. (Erkman, 2004; *Ellen MacArthur Foundation*, 2013a) La linéarité du modèle économique fait ainsi appel à des ressources de combustibles fossiles qui pourtant se raréfient, et augmente la dépendance de la société face aux ressources naturelles.

Les politiques visant la réduction de la consommation énergétique sont encore peu nombreuses ou efficaces et l'alternative de l'énergie solaire, éolienne est encore un idéal. En effet, les sources d'énergies renouvelables sont encore sous-valorisées, ce qui ne fait qu'inciter davantage à la surconsommation et l'épuisement accéléré du capital énergétique conventionnel. (Le Moigne, 2014)

1.1.3 La perte des services écosystémiques

Utilisée pour mesurer les impacts des activités humaines sur l'écosystème, l'empreinte écologique mondiale comprend différentes mesures, mais seules les émissions du dioxyde de carbone (CO₂) sont continuellement suivies (*World Wide Fund (WWF), 2012*). CC, déplétion de la couche d'ozone, etc., les problèmes climatiques sont au centre des débats. Et pour cause, entre 1995 et 2005, les émissions mondiales de carbone ont augmenté de 29 %, passant de 21 800 à 28 100 Mt (Bruckner et autres, 2010).

Cependant, les impacts de notre modèle industriel sur l'écosystème sont certainement encore plus étendus que ce qu'il n'y paraît et bien au-delà des questions climatiques; quinze des 24 services écosystémiques sont dégradés ou utilisés de manière non durable (DeFries et Pagiola, 2005). D'année en année, le dépassement écologique se produit de plus en plus tôt. En 2008, ce dépassement a atteint un déficit de 50 %, ce qui signifie qu'il faudrait à la terre 1,5 année afin de régénérer les ressources renouvelables exploitées et d'absorber les émissions de CO₂ (WWWF, 2012).

1.1.4 L'abondance des matières résiduelles et des déchets

Deux types de déchets peuvent être distingués : ceux produits tout au long de la chaîne d'approvisionnement et de production, ce que l'on appelle la *supply chain*, et les produits en fin de vie. Le tonnage de MP gaspillées lors du processus industriel est aberrant. En effet, ce gâchis est estimé à plus de 21 milliards de tonnes de matériaux consommés par les pays de l'OCDE sans être physiquement incorporés dans les produits eux-mêmes (*Ellen MacArthur Foundation, 2013a*). Dans le secteur de l'agriculture, sur les quatre milliards de tonnes de nourriture produite par an, environ de 1,2 à 2 milliards de tonnes sont jetées sans même avoir été consommées (*Institution of Mechanical Engineers, 2015*), et cela en raison de mauvaises pratiques aux différentes étapes de l'approvisionnement (récolte, stockage, transport) et du gaspillage fait par les revendeurs et les consommateurs. C'est donc environ 30 à 50 % (*Institution of Mechanical Engineers, 2015*) de la production qui part directement à la poubelle, ou au mieux, dans certains pays, au compostage! Pour ce qui est des déchets post-consommation, un citoyen européen consomme à lui seul, par an, seize tonnes de matériaux, produit six tonnes de déchets dont uniquement la moitié sera valorisée, l'autre moitié étant enfouie (Commission Européenne, 2011). Tous secteurs confondus (industries, ménages, construction, etc.), l'Europe a généré, en 2010, 2,7 milliards de tonnes de déchets dont moins de la moitié a été réutilisée, recyclée, compostée (*Ellen MacArthur Foundation, 2013a*).

Selon les dernières estimations, continuer sur ce modèle de linéarité, entraînera, pour l'année 2100, un pic de déchets avec une production avoisinant les 11 millions de tonnes de déchets par jour soit trois fois le taux de déchets actuel (Hoornweg et autres, 2013).

1.1.5 Les risques de rupture d'approvisionnement et de déséquilibre économique

La surexploitation des ressources naturelles, renouvelables et non renouvelables, est un fait. Et celle des pénuries futures l'est également. La consommation irrationnelle et non durable faite des ressources a entraîné et entraînera des ruptures d'approvisionnement. Par exemple, en dépit de l'interdiction de la pêche de la morue depuis 2003 au large du Canada, les stocks de morues ne sont toujours pas reconstitués (Le Moigne, 2014).

Face au dilemme de la raréfaction des ressources et de l'augmentation de la demande, l'écart entre le marché de l'offre et de la demande entraîne une volatilité de prix, parfois dangereuse quand elle touche les denrées alimentaires. Malgré une chute des prix réels des ressources naturelles durant le 20^e siècle, les prix ont augmenté de façon surprenante depuis l'année 2000. L'accroissement de la demande des marchés émergents en métaux a par exemple entraîné un bond de 176 % dans les prix de ces matériaux (*McKinsey Global Institute*, 2013).

De plus, selon le *McKinsey Global Institute* (2013), les défis géologiques pour l'extraction de ces métaux et la hausse des coûts des intrants, telle que l'énergie, sont également à l'origine de cette flambée des prix. Tout changement dans le marché de la demande (augmentation de la demande, épuisement des réserves faciles d'accès, avancement des progrès technologiques pour les besoins de l'extraction et donc hausse des prix de production) entraîne alors des fluctuations disproportionnées et la volatilité des prix de certains produits de base au cours de la dernière décennie. (*McKinsey Global Institute*, 2013)

1.2 La linéarité est-elle soutenable? Les enjeux écologiques et économiques d'un nouveau modèle de croissance plus durable

Le débat sur un nouveau modèle économique plus soutenable n'est pas récent. Il occupe la scène médiatique, politique, scientifique depuis déjà un certain nombre d'années. Différents courants de pensée existent pour remplacer l'économie de marché par une économie plus soutenable : économie écologique, économie environnementale, économie verte, etc. Ce débat soulève également la question suivante : peut-on continuer à parler de croissance et de développement durable (DD) ou doit-on passer à une décroissance soutenable? Ainsi, peut-on continuer dans une économie linéaire dont la seule finalité est davantage de croissance et de bien-être personnel?

L'idée de la décroissance ne peut concrètement être envisagée, mais l'urgence de changer de paradigme est inévitable (Wijkman et Skanberg, 2014; Abraham et autres, 2011). Il existe un besoin urgent de découplage entre création de valeurs et croissance des flux de matières et d'énergie (Cerceau, 2013). Cette dématérialisation peut être envisagée par une transition vers une économie inclusive et circulaire (Wijkman et Skanberg, 2014).

Un nouveau concept, l'ÉC, apparaît comme solution pour changer de paradigme. Ainsi, plusieurs pays font la promotion de ce nouveau modèle circulaire comme moyen de transition écologique et sociale de l'économie vers un modèle qui promeut à la fois croissance et efficacité des ressources. « L'économie circulaire apparaît comme un modèle de mise en œuvre de la notion de développement durable dans un contexte de mutation économique dans un monde en métamorphose » (Geldron, 2014, p. 3).

1.2.1 Une meilleure efficacité des ressources et l'internalisation des externalités

Le concept d'ÉC est de faire mieux avec ce que l'on a, notamment ce qui se trouve dans nos poubelles ou celles de nos voisins. Ce nouveau concept invite à cesser de puiser indéfiniment dans les ressources naturelles et ainsi de revoir notre production en faisant du neuf avec du vieux autrement dit en utilisant en boucle les matières et les produits (Le Moigne, 2014).

Plus les boucles sont courtes, plus grandes sont les économies de coûts en terme de matériel, de main d'œuvre et d'énergie. En effet, une dématérialisation de l'économie entraîne une diminution de la consommation en énergie puisque la quantité de matière à extraire, transformer, produire et transporter serait moindre. (Erkman, 1997) Les externalités sont alors réduites : réduction des émissions de GES, des substances toxiques, des pertes dissipatives, pour n'en citer que quelques-unes. Selon une étude du Club de Rome (Wijkman et Skanberg, 2014), une réduction de CO₂ de 28 % à 70 % pourrait être envisagée en cas de mise en place d'une stratégie de découplage entre économie et consommation des ressources.

Parallèlement, l'utilisation en boucle et en cascade des matériaux permet de réduire le taux d'extraction de MP. La figure 1.1 montre bien qu'avec une ÉC, la demande en MP est moindre que celle du modèle actuel du *business as usual* (BAU). Les pressions faites sur les ressources naturelles via une économie plus responsable sont moindres, les stocks sont maintenus à niveau conduisant ainsi à la dématérialisation de l'économie. (Le Moigne, 2014; Ellen MacArthur Foundation, 2013a)

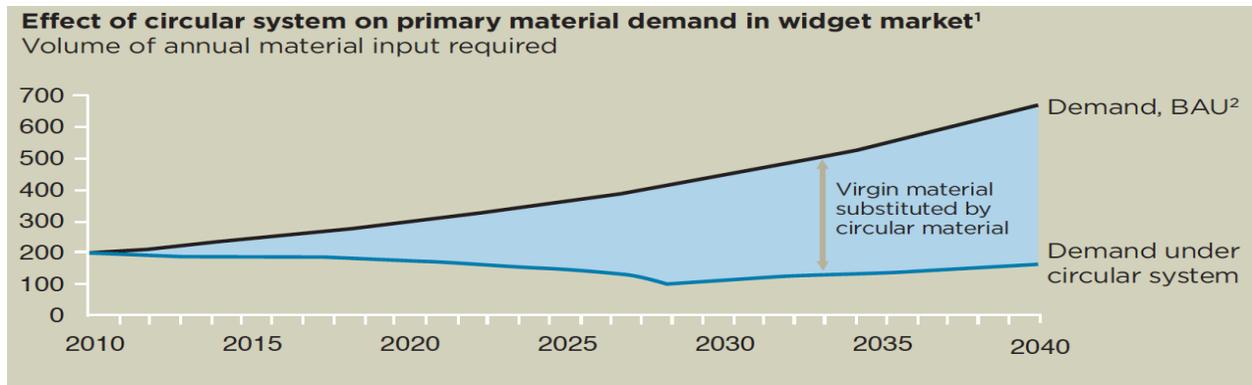


Figure 1.1 Effet de l'économie circulaire sur la demande de marché des matières premières (tiré de : Ellen MacArthur Foundation, 2013a, p. 34)

1.2.2 Vers une diminution du taux de déchets

Les projections actuelles prévoient que le taux de déchets devrait augmenter d'un facteur trois d'ici 2100 par rapport au tonnage actuel atteignant ainsi un pic, jusque là jamais atteint, dans les quantités de déchets produites. En revanche, si des mesures sont prises pour revoir nos modes de consommation et de production dans un objectif d'efficacité des ressources, ce pic pourrait se manifester à l'année 2075, mais avec une intensité moindre de 25 % permettant ainsi une économie de 2,6 millions de tonnes de déchets par jour (Hoornweg et autres, 2013).

Emboîter le pas vers une ÉC permettrait de réduire le taux des déchets, essentiellement le taux de déchets ultimes (DU) destinés à l'enfouissement. La figure 1.2 illustre la différence de tonnage de matières enfouies dans un modèle de gestion BAU et circulaire.

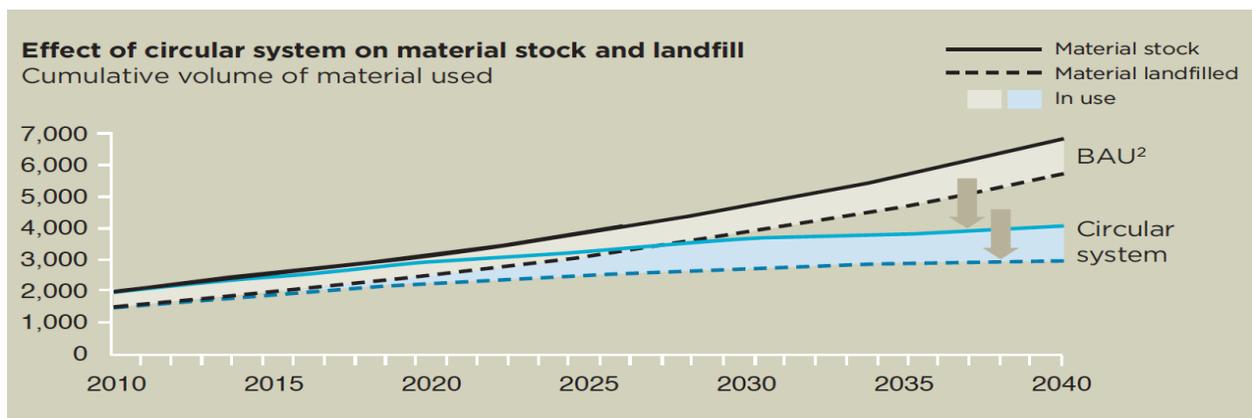


Figure 1.2 Effet de l'économie circulaire sur le taux de matières enfouies (tiré de : Ellen MacArthur Foundation, 2013a, p. 34)

1.2.3 Des nouvelles offres d'emplois

Boucler les chaînes fait appel à la création de nouvelles filières et entreprises œuvrant dans le secteur de la récupération et de la valorisation. La circularité est ainsi « créatrice d'emplois locaux, pérennes et non délocalisables » (Le Moigne, 2014, p. 51).

Le Club de Rome (Wijkman et Skanberg, 2014) a entrepris une étude afin d'évaluer les avantages sociaux d'une économie circulaire mise en place selon trois scénarios de découplage (découplage par l'augmentation du pourcentage de l'énergie d'origine renouvelable dans le mix énergétique, découplage par l'amélioration de l'efficacité énergétique, découplage par l'utilisation efficace des matériaux) dans l'économie suédoise. Un tableau présenté en annexe 1 résume le résultat de cette étude en matière de réduction du taux de CO₂, d'emploi et d'impacts sur la balance commerciale. La combinaison de ces trois scénarios permettrait de créer 100 000 emplois et de réduire ainsi d'un quart, voire de moitié, le chômage en Suède (Wijkman et Skanberg, 2014). Une autre étude, britannique cette fois, confirme les gains sociaux du découplage. Selon les résultats de la modélisation, l'augmentation des tendances actuelles de récupération, de réutilisation, de réparation, de remise à neuf et de recyclage au Royaume-Uni permettrait, d'ici 2030, de créer plus de 205 000 emplois et de réduire le nombre de chômeurs d'environ 54 000 (*Green Alliance* et WRAP, 2015). Les avantages sociaux seraient encore plus importants si les activités dépassaient le simple champ de la gestion efficace des déchets de l'ÉC.

Enfin, les disparités de chômeurs entre régions pourraient être réduites du fait qu'une ÉC offrirait une répartition géographique plus large de possibilités d'emploi (Wijkman et Skanberg, 2014).

2 ÉTAT DE CONNAISSANCES

ÉI, SI et ÉC sont des concepts différents, mais si corrélés qu'ils sont bien trop souvent employés à tort et à travers. Cette section définit chacun de ces trois champs industriels et en présente les bases conceptuelles.

2.1 L'écologie industrielle

Le champ de l'ÉI est si vaste qu'il englobe dans ses fondements de nombreux concepts allant jusqu'à être confondus avec ce dernier. La première partie de cette section est donc une présentation détaillée de ce premier modèle industriel d'ÉI.

2.1.1 L'émergence de l'écologie industrielle

Avant l'émergence du concept du DD, économie et environnement étaient conçus de manière séparée. Pour contrer la pollution et se conformer aux premières réglementations en matière d'environnement, des approches *end of pipe* ont été mises en place afin de limiter les effets de la pollution et des déchets sur l'écosystème naturel. Encore à ce stade, le système industriel et la biosphère sont séparés et les mesures prises servent à contrer les conséquences du problème au détriment d'une approche plus globale, préventive et en amont. Ont alors émergé différents concepts, orientés sur le produit (*Life Cycle Analysis* (LCA), *Design for Environment* (DfE)) ou orientés processus (production propre), visant à prévenir la pollution en début de procédé ou en fin de chaîne. (Hond, 2000; Adoue, 2007)

Ces initiatives restent toutefois insuffisantes, et une vision systémique dépassant la simple approche *end of pipe* et la prévention de la pollution est garante de meilleurs résultats; c'est ce qu'offre l'ÉI (Erkman, 2004).

Inspirée du fonctionnement de l'écosystème biologique, l'ÉI propose de mettre en place un écosystème industriel, à l'image de la biosphère actuelle, qui permettrait de combiner activités industrielles et internalisation des impacts sur l'environnement (Tibbs, 1991).

Le fonctionnement de l'écosystème naturel est cyclique : « rien ne se perd tout se transforme » (Lavoisier) et la nature s'en sort merveilleusement bien. Celui de notre modèle industriel est linéaire et pollueur (Beaurain et Brulot, 2011). Cette circularité est ce qui a inspiré Frosch et Gallopoulos (1989) à combiner ces deux termes pourtant aux antipodes, écologie et industrie, donnant ainsi naissance au concept d'ÉI. Le mode de production industrielle qui puise indéfiniment dans les MP pour générer des produits destinés à être vendus et des déchets à éliminer n'est pas soutenable (Frosch et Gallopoulos, 1989). Le système doit tendre davantage vers un modèle en boucle fermée (Lowe et Evans, 1995), un modèle circulaire, un modèle intégré d'écosystème industriel (Frosch et Gallopoulos, 1989).

L'objectif de l'ÉI est donc de faire évoluer le système économique actuel vers un modèle plus soutenable et en respect avec l'écosystème naturel (*Geneva Network of Industrial Ecology* (Genie), 2015). Cette conception de l'ÉI telle que définie par Frosch et Gallopoulos (1989) ne fait pas l'unanimité; deux visions s'opposent radicalement. La première est portée par Braden Allenby qui reprend la vision de Frosch et Gallopoulos (1989) et lui donne un attrait très scientifique, reposant principalement sur une confiance aveugle dans la technologie et dans les mécanismes de marchés concurrentiels. Sa vision s'apparente essentiellement au principe de durabilité faible, à une vision marchande du DD. La deuxième vision d'ÉI, défendue par J. Ehrenfeld, est plus orientée vers une durabilité forte. Selon Ehrenfeld (1997), l'ÉI doit être davantage de l'ordre du social, invitant à revoir la place de l'homme et son comportement vis-à-vis de la nature, et du normatif. (Beaurain et Brulot, 2011)

2.1.2 L'évolution du système industriel et sa maturation

L'objectif de l'ÉI est de créer un système industriel semblable au système biologique. Ce parallèle ne peut être totalement transposable (Erkman, 2004), mais l'analogie entre les deux systèmes permet de comprendre l'objectif de l'ÉI à faire évoluer le système industriel actuel vers un modèle où les flux de matières et d'énergie circulent dans le tissu économique en boucle fermée, dans un système dit mature (Orée, 2008).

La figure 2.1 représente cette évolution d'un écosystème de type I vers celui de type III.

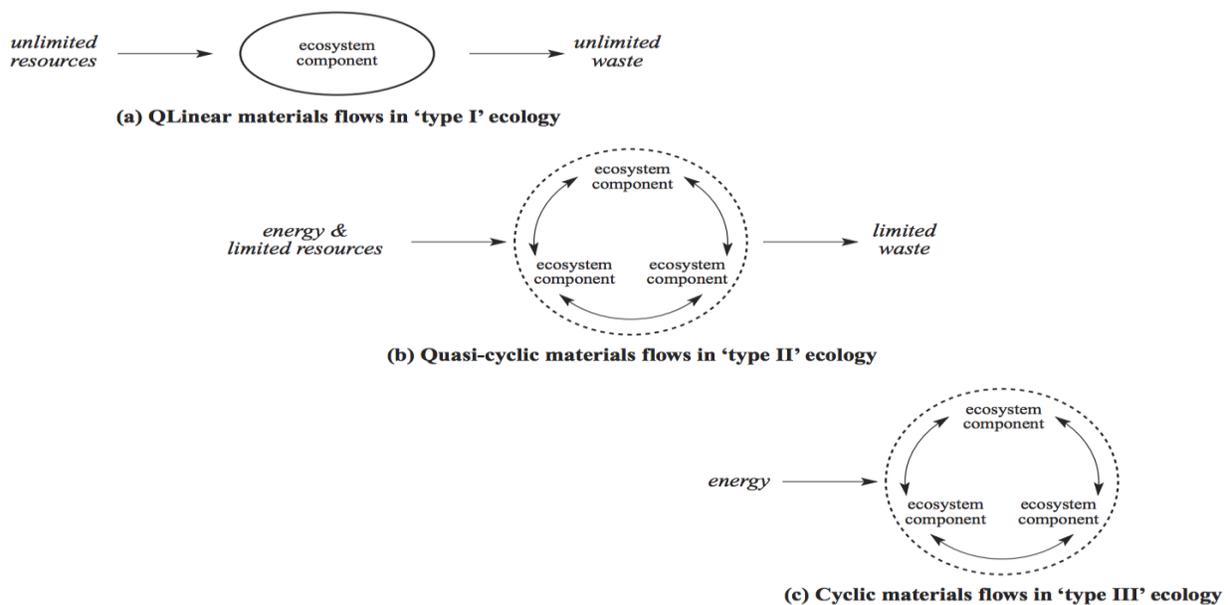


Figure 2.1 Les différents types d'écosystèmes (tiré de : Lifset et Graedel, 2002, p. 5)

Au commencement, l'écosystème naturel est un processus linéaire dont les flux de matières et d'énergie sont indépendants; l'écosystème se comportant comme si les ressources et les déchets pouvaient être consommés et produits de façon illimitée. L'économie actuelle s'apparente grandement à cet écosystème de type I. Avec l'évolution naturelle, et par analogie l'évolution démographique et industrielle, le système se déséquilibre. Puis, d'un processus linéaire, les interactions et les échanges de matières deviennent importants au sein de l'écosystème et évoluent en boucle fermée tandis que les flux entrants de MP et sortants de déchets « connaissent des limites imposées par la disponibilité des ressources et la capacité d'accueil des déchets par l'environnement » (Erkman, 2004, p. 43). Cet écosystème, décrit comme de type II, bien que plus efficace en consommation de ressources, reste non soutenable. L'écosystème évolue alors et mûrit jusqu'au système de type III. Dans ce dernier type de système, les flux de matières et d'énergie sont entièrement bouclés. Les déchets deviennent difficilement distinguables des MP puisque les extrants d'un organisme/d'un processus industriel servent d'intrants pour un autre organisme/processus et seule l'énergie renouvelable est consommée. (Erkman, 2004; Vivien, 2003)

À l'image de cet écosystème de type III, l'ÉI tend à boucler les flux de matières entre les différents acteurs économiques (extracteurs de ressources, producteurs, consommateurs et les processeurs de MR) de façon à ce que les interactions entre les acteurs soient plus importantes que les flux d'entrées (ressources naturelles) et de sorties (DU). (Erkman, 2004) Cette démarche d'écorestructuration, soit la maturation du système industriel, repose sur deux piliers (Adoue, 2004) :

- réduire la consommation individuelle, par la conception de procédés moins gourmands en matière et en énergie,
- concevoir une organisation alternative, circulaire, des flux.

2.1.3 Les fondements de l'écologie industrielle

L'ÉI est un concept qui séduit! Elle est aujourd'hui une solution prisée par les entreprises et les industriels en réponse à la question du DD, et par les politiques comme stratégie pour une transition vers une économie plus verte et un développement soutenable (Diemer et Labrune, 2007).

Au niveau de la recherche scientifique, l'ÉI est considérée comme une science à part entière (Hond, 2000). En l'absence d'une seule définition commune, le tableau 2.1 en regroupe certaines.

Tableau 2.1 Définitions de l'écologie industrielle (compilation et traduction libre de : Frosch et Gallopoulos, 1989, p. 261; Graedel, 1996, p. 73; Korhonen, 2000, p. 19; Vendette et Côté, 2008, p. 33; Orée, 2009a; Genie, 2015 et Brulot et autres, 2014, p. 2)

Définitions de l'écologie industrielle	Sources et auteurs
Le modèle industriel traditionnel - dans lequel les processus individuels de fabrication utilisent des matières premières et génèrent des produits destinés à être vendus puis jetés - devrait être transformé en un modèle plus intégré : un écosystème industriel. Dans un tel système, la consommation d'énergie est optimisée, la production de déchets est minimale et les effluents d'un processus servent de matière première pour un autre processus	Frosch et Gallopoulos, 1989
L'écologie industrielle est un nouveau concept d'ensemble dans lequel les interactions entre les activités humaines et l'environnement sont systématiquement analysées. L'ÉI cherche à optimiser les matériaux tout au long du cycle industriel : depuis la matière vierge, au produit fini et au déchet ultime	Graedel, 1996
L'écologie industrielle a été comprise comme un concept de gestion des flux de matières orientés pour les compagnies. L'écologie industrielle met l'accent sur les matériaux et les flux physiques d'énergie que les compagnies puisent de l'environnement naturel ainsi que de ses partenaires. Elle se concentre donc sur les flux de déchets que la compagnie produit et restitue à l'environnement	Korhonen, 2000
L'écologie industrielle est un raffinement du concept de métabolisme industriel, c'est-à-dire que cette démarche offre une approche intégrée des concepts de la pensée « cycle de vie », mais qui est appliquée à travers des partenariats interdisciplinaires	Vendette et Côté, 2008
Fondée sur une approche systémique, l'écologie industrielle s'inspire du fonctionnement des écosystèmes naturels pour recréer, à l'échelle du système industriel, une organisation caractérisée par une gestion optimale des ressources et un fort taux de recyclage de la matière et de l'énergie	Orée, 2009a
L'écologie industrielle a pour objectif de faire évoluer le système économique, non durable dans sa forme actuelle, pour le rendre viable à long terme et compatible avec le fonctionnement normal des écosystèmes naturels. En pratique, il s'agit notamment d'utiliser les ressources de manière beaucoup plus efficace. La notion d'écologie industrielle étant très large, elle apparaît parfois sous différentes appellations, mais l'idée de base reste grosso modo la même	Genie, 2015
L'écologie industrielle vise à introduire une rupture avec la conception linéaire du fonctionnement actuel de la société industrielle en s'inspirant du caractère cyclique des écosystèmes naturels, de manière à limiter la pression qu'elle exerce sur ces écosystèmes en matière d'exploitation des ressources et de rejets de polluants	Brulot et autres, 2014

Malgré l'absence d'une définition normalisée, il est partagé par tous les auteurs que « l'ÉI se construit sur l'étude des flux et des stocks de matières, d'énergie et d'informations au sein d'un système clairement délimité » (Adoue, 2007, p. 15) en vue de réduire l'impact du système industriel sur le système écologique. L'ÉI tend à découpler la croissance économique de la consommation des flux de matières et d'énergie; autrement dit, la finalité est d'atteindre la dématérialisation de l'économie. Pour ce faire, l'ÉI semble intégrer un ensemble de concepts et d'outils de gestion environnementale et reposer sur une collaboration transdisciplinaire. (Vendette et Côté, 2008) Son application peut alors se restreindre à une entreprise, ou s'étendre à un réseau d'entreprises ou encore, selon une vision plus globale, à l'échelle de la société. Cette portée dépend des enjeux recherchés dans la mise en œuvre de l'ÉI (O'Rourke et autres, 1996). Pour Frosch et Gallopoulos (1989), elle implique à la fois industriels et consommateurs. Implicitement, les auteurs invitent à revoir les fondements du modèle économique. Pour eux, la circularité des déchets permet de mettre en place un système industriel qui jumelle croissance économique et protection de l'environnement (Tibbs, 1991; Frosch et Gallopoulos, 1989). Ils estiment que pour fonctionner comme le modèle biologique, le système industriel doit, d'une part, minimiser les flux de matières et d'énergie en puisant moins dans les ressources naturelles et, d'autre part, utiliser les effluents d'un processus comme MP d'un autre processus. Cette définition rejoint celle de Graedel (1996), selon laquelle le concept a pour avantage d'optimiser le cycle total des matériaux, depuis l'état de matière vierge jusqu'à celui de DU. L'ÉI s'impose alors comme une solution à mettre en œuvre pour mettre en marche un DD (Hond, 2000) et dématérialiser l'économie (Orée, 2008). L'organisation industrielle en un écosystème industriel, l'optimisation des ressources et le recyclage sont, dans la définition d'Orée (2009a), les fondements conceptuels de la démarche d'ÉI.

Korhonen (2000) présente une vision plus restreinte du concept et limite l'application de l'ÉI à l'échelle individuelle de l'entreprise. À ce niveau mésoscopique, il s'agit de repenser les produits et les processus de fabrication afin de réduire la production de déchets et de limiter les impacts des flux de matières et d'énergie tout au long du cycle de vie des produits (Erkman, 2004).

Pour le CTTÉI, l'ÉI est mise en pratique par ces deux moyens. L'ÉI, telle qu'appliquée au Québec par le centre, est une combinaison de l'approche analyse cycle de vie (ACV) propre à une entreprise et de l'organisation entre les différents métabolismes industriels présents sur un territoire en un seul réseau structuré d'échanges métaboliques (Vendette et Côté, 2008).

L'ÉI peut alors être abordée selon deux approches. La première, reliée à la notion d'ACV, est centrée sur le produit et sa conception. La deuxième, l'approche géographique, se concentre sur l'analyse des flux sur un territoire donné, qu'il s'agisse d'un parc éco-industriel ou d'une SI. (Ehrenfeld, 1997; CTTÉI, s. d.a) Cette dernière approche de métabolisme industriel est une caractéristique unique à l'ÉI (Seuring, 2004).

L'ensemble de ces définitions converge vers une panoplie de concepts (ACV, production propre, écoconception, etc.), d'écoles de pensées et d'outils que l'ÉI propose de rassembler telle que schématisée dans la figure 2.2. (O'Rourke et autres, 1996)

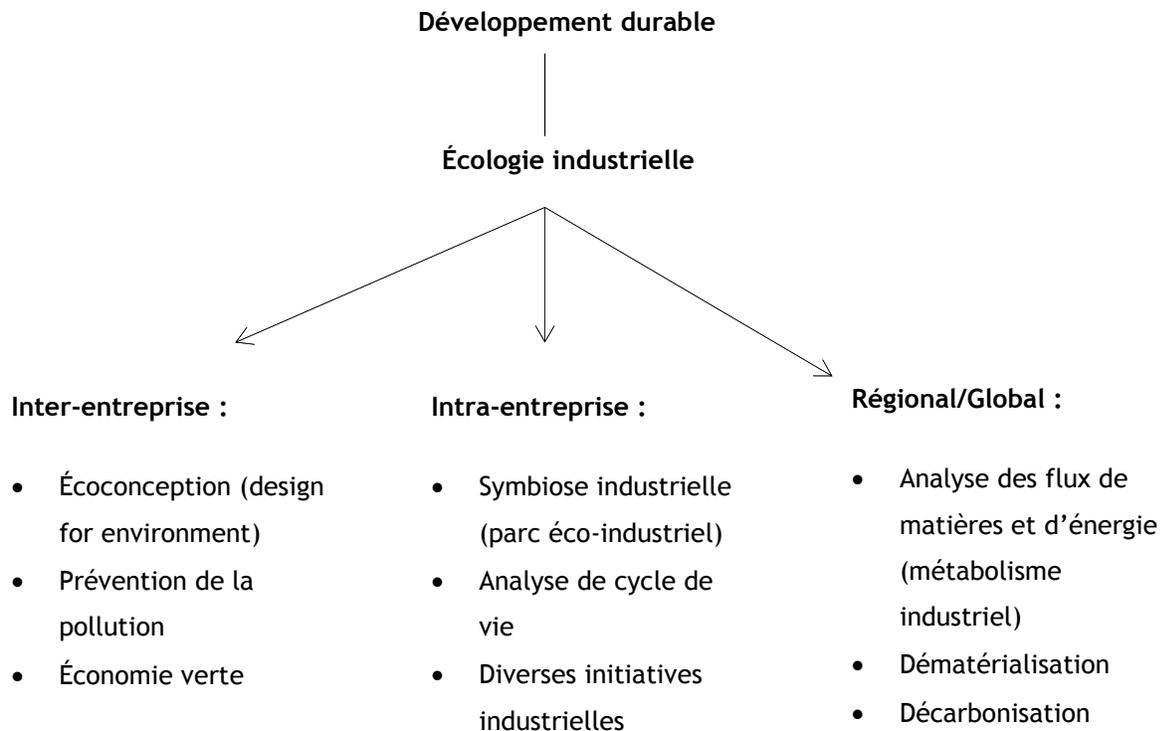


Figure 2.2 Les trois niveaux d'application de l'écologie industrielle (compilation et traduction libre de : Chertow, 2000, p. 116 et Lifset et Graedel, 2002, p. 11)

Sept principes forment ainsi l'ÉI, les six premiers étant proposés par Tibbs (1991) et le septième par d'Ehrenfeld (1997) :

- améliorer les voies métaboliques des matériaux afin de limiter les pertes dissipatives, améliorer l'efficacité des ressources et respecter la capacité de l'écosystème,
- transformer les processus industriels vers des modèles en boucle fermée en considérant pour cela le déchet comme une ressource et en faire donc un second usage selon l'échelle de graduation du principe des 3R (réduire, réutiliser, recycler),
- dématérialiser la production industrielle en diminuant l'intensité des flux de matières et d'énergie consommées et en réduisant celles à la sortie afin de limiter les impacts des industries sur l'environnement,
- décarboniser le système industriel en optimisant l'utilisation de l'énergie et en investissant dans les énergies renouvelables en remplacement des énergies fossiles,
- équilibrer les flux entrants et sortants des systèmes de façon à respecter la capacité des écosystèmes naturels en matière de ressources fournies et de capacité d'accueil des déchets,

- mettre en place des politiques adaptées à l'évolution des systèmes industriels mettant en œuvre l'internalisation des externalités faites à l'écosystème,
- créer de nouvelles structures de coordination de l'action, des liens de communication et d'information.

Enfin, les dernières définitions de Brullot et autres (2014) et Genie (2015) abordent l'ÉI comme un nouveau modèle d'affaires permettant un changement total de paradigme d'une société linéaire à une société cyclique, plus efficace en matière de consommation de ressources.

Pour promouvoir une nouvelle société industrielle et une nouvelle économie, l'ÉI fait face à un quadruple défi. Tout d'abord, les déchets devront être valorisés comme nouvelles ressources. Par la suite, L'ÉI devra également permettre de boucler les cycles de matières et de minimiser les émissions dissipatives et les rejets. Pour évoluer vers une société mature, il faudra également dématérialiser les produits et les activités économiques en vue d'accroître la productivité des ressources. Enfin, dernier défi, il faudra apprendre à se défaire de la dépendance aux énergies fossiles et ainsi décarboniser l'énergie et tendre vers un système moins consommateur de cette énergie. (Erkman, 2004; Diemer et Labrune, 2007)

D'un point de vue pratique, la stratégie d'ÉI peut être mise en place à deux échelles. L'idée principale est de réorganiser les interactions et les échanges entre industriels en un réseau trophique : les SI ou les parcs éco-industriels. Les travaux actuels d'ÉI visent d'une part à mettre en place l'efficacité des ressources, la réutilisation et la valorisation des matières et des déchets ainsi que la promotion de la production propre. D'autre part, l'ÉI permet de mettre en réseaux les acteurs de l'écosystème industriel pour échanger entre eux tous types de ressources (produits ou résidus, chaleur, eau). Mais l'ÉI doit dépasser la simple gestion des déchets et tendre vers la dématérialisation de l'économie dans son ensemble (Erkman, 1997).

2.1.4 Le bouclage des flux, principe fondamental de l'écologie industrielle

Boucler les flux de matières et d'énergie est le principe fondamental sur lequel repose l'ÉI (Frosch et Gallopoulos, 1989). Il s'agit d'établir alors un réseau d'échange de flux de matières et d'énergie entre les différents acteurs du territoire de façon à ce que les extrants de l'un deviennent les intrants d'un autre (Beaurain et Brullot, 2011). Ainsi, les déchets d'un processus deviennent une MP pour d'autres entités et l'énergie en excès est utilisée en remplacement des combustibles fossiles (Adoue, 2007). Récupération, réemploi, réutilisation, recyclage et valorisation sont donc des démarches déjà intégrées dans celle de l'ÉI. Idéalement, un produit doit être, dès sa conception, conçu de façon à faciliter la recirculation des flux de matériaux (Erkman, 2004).

Cependant, le bouclage de flux ne doit pas se limiter au flux de déchets comme il a souvent été cantonné. Des flux de coproduits, d'effluents, d'excédents énergétiques peuvent également être échangés.

2.1.5 D'autres principes pour la dématérialisation

La dégradation de la qualité de l'environnement incombe directement au fait que toute activité de croissance est corrélée à une consommation de ressources naturelles fossiles et d'énergie (Adoue, 2007). Pourtant, à l'avenir il faudra apprendre à découpler la croissance économique de la consommation des MP de plus en plus rares dans un objectif d'efficacité des ressources; soit la dématérialisation!

Face au risque réel des CC, l'urgence est de réduire l'utilisation des énergies carbonées fossiles et de tendre, autant que possible, vers l'utilisation des énergies renouvelables. La première approche de cette dématérialisation passe donc par la décarbonisation de l'économie.

Mais la décarbonisation ne se limite pas uniquement à la réduction de l'utilisation des combustibles fossiles. Toute étape de transformation associée à chaque flux de matière a un flux d'énergie. C'est donc l'ensemble de la « diète énergétique » qu'il faut décarboniser en réorganisant la circulation de matière tout au long du cycle de vie, l'ensemble du système industriel énergétique doit ainsi devenir plus économe. (Erkman, 2004)

Deuxième approche, il s'agit de vendre l'usage à la possession; c'est l'économie de fonctionnalité. Cette démarche « centrée sur les fonctions de l'objet peut radicalement modifier la logique de production des acteurs industriels » (Adoue, 2007, p. 25) : augmenter la durée de vie des produits, concevoir des produits dont la totalité ou certaines pièces peuvent être réemployées, réutilisées ou recyclées, etc.

Enfin, l'écoconception ou l'écodesign est un point de départ à la concrétisation de ce dernier principe. Les marchandises doivent être conçues de façon à être économes en produits, plus légères et résistantes (Erkman, 2004).

Pour résumer, deux applications et enjeux sont à relever par l'ÉI. Dans sa vision globale, elle vise à dématérialiser le modèle économique et assurer une meilleure efficacité des ressources. À l'échelle d'un territoire, le concept doit concrétiser la démarche par la mise en place des SI et des parcs industriels.

2.2 L'écologie industrielle territoriale

« L'écologie industrielle n'a de sens que si elle est considérée selon une perspective locale » (Brulot et autres, 2014, p. 2); elle relèverait donc d'une démarche territoriale (Beurain et Brulot, 2011). Les premières expériences se sont pourtant limitées au secteur industriel avec pour objectif la rentabilité économique des entreprises et l'optimisation des systèmes industriels existants. Il a donc fallu ajouter à l'appellation de base une portée territoriale. Le concept d'écologie industrielle territoriale (ÉIT) ou encore écologie territoriale s'est donc imposé dans la littérature et a davantage mis l'accent sur l'aspect géographique du territoire dans la mise en place du concept. L'ÉIT n'est donc ni plus ni moins une mise en œuvre de l'ÉI dont elle reprend les fondements et y intègre une dimension spatiale : le territoire.

Un territoire ne doit pas être confiné à une zone géographique précise, mais il est limité par les établissements participant à la démarche territoriale d'échange des flux de matières, d'énergie, d'informations qu'on regroupe généralement sous l'appellation de parc éco-industriel ou d'écoparc (Vendette et Côté, 2008). Le réseau d'acteurs dans cette démarche est plus étendu et tous, qu'ils soient d'origine économique ou sociale, interagissent et collaborent au sein d'un écosystème bien défini. Ainsi,

« la mise en œuvre de cette stratégie à l'échelle du territoire nécessite donc une collaboration intersectorielle, c'est-à-dire à la fois municipale, industrielle et intergouvernementale, qui nécessite le développement de nouveaux modes de gouvernance » (Vendette et Côté, 2008, p. 35).

À ce niveau d'échelle, une démarche d'ÉIT est communément appelée une symbiose industrielle (Chertow, 2000). Cependant, il est important de ne pas confondre une démarche d'ÉIT et de SI : une SI n'est qu'une stratégie parmi d'autres d'une démarche d'ÉIT (Dain, 2010).

Les pouvoirs publics (collectivités territoriales) peuvent jouer un rôle important dans le succès des initiatives de démarches d'ÉIT. Leur participation varie selon leur niveau d'implication; ils peuvent être des acteurs de la mise en œuvre des projets en se positionnant comme potentiels de débouchés et/ou générateurs de flux de déchets et de sous-produits. Ils peuvent être également facilitateurs et accompagnateurs ou encore innovateurs du projet. (Baudet, 2013)

2.3 La symbiose industrielle

Autre métaphore de l'écosystème biologique, la SI se fonde sur la notion de relations symbiotiques biologiques dans la nature dans laquelle deux espèces, ou plus, échangent de la matière ou de l'énergie de façon à ce qu'il y ait un bénéfice mutuel. Dans un système industriel, elle représente un réseau d'organisation, une collaboration pour échanger des flux physiques de matériaux, d'énergie au niveau

interentreprises (Chertow, 2000). Il s'agit donc de la mise en œuvre, à l'échelle d'un territoire, de la démarche d'ÉIT, sans pour autant confondre entre les deux appellations puisque les SI ne sont qu'une application particulière de l'ÉI (Beurain et Brulot, 2011; Genie, 2015). En effet, l'ÉI est plus large que la SI; la première fait référence aux échanges de flux de matières au sein d'une entreprise, à l'échelle interentreprises ou de la région alors que la seconde cible uniquement les échanges interentreprises.

La démarche doit être précédée par un diagnostic du métabolisme industriel, soit des différents flux caractéristiques du territoire pouvant être échangés et optimisés. L'objectif final est de détecter et de mettre en place de nouveaux échanges de flux, appelés synergies, pouvant être bénéfiques à chaque intervenant lui permettant de réduire l'impact environnemental et d'améliorer l'efficacité de son procédé industriel.

Les SI sont réalisées par l'émergence des parcs éco-industriels, à l'image de la symbiose de Kalundborg (Danemark) qui représente le modèle symbiotique par excellence. Le concept de proximité est important dans l'émergence des synergies du réseau symbiotique. Cependant, cela ne limite pas un parc éco-industriel à une zone géographique particulière; « en effet, un parc éco-industriel peut comprendre l'agglomération voisine ou même une entreprise située à grande distance si elle est la seule à pouvoir valoriser une matière résiduelle rare qu'il n'est pas possible de traiter à proximité » (Vendette et Côté, 2008).

Une symbiose sert à décrire les organisations et les interventions participantes à la démarche d'ÉI (Adoue, 2007; Chertow 2000). Les parcs éco-industriels à l'image de Kalundborg, émergeant d'interactions spontanées, ne sont pas la seule catégorie de SI pouvant exister. En effet, dans la mise en œuvre de projet, il est possible de classer les projets de symbiose selon leur mode de construction et selon la hiérarchie des synergies échangées. Le tableau 2.2 classe les différents modèles de SI mis en pratique.

Tableau 2.2 Les différentes catégories de symbioses industrielles en fonction de leur mise en œuvre (traduction libre de : Chertow et Ehrenfeld, 2012, p. 23)

Catégories de projet de symbiose industrielle	Caractéristiques
Parc industriel	-Création du parc industriel initiée par des entrepreneurs publics ou privés -Échanges bilatéraux et modèle de réussite économique prouvé, mais aucune considération aux enjeux environnementaux
Parc éco-industriel planifié	-Initié par les gouvernements et des subventions -Effort dirigé pour identifier les acteurs et les flux de matières -Synergies et coordination pour atteindre des objectifs environnementaux
Parc éco-industriel auto-organisé	-Initié par les acteurs privés motivés par des gains économiques d'échanger des ressources entre eux en réponse à une opportunité de marché
Parc éco-industriel rénové	-Reconstruction de la première catégorie de parc industriel en y intégrant la recherche de nouvelles opportunités d'affaires en fonction des flux de synergies disponibles
Parc éco-industriel d'économie circulaire	-Nouveau modèle en émergence suite à un cadre réglementaire en Chine : la Loi sur la promotion de l'économie circulaire -Objectif de jumeler croissance économique et protection de l'environnement

2.3.1 Le métabolisme industriel

Étudier le métabolisme industriel d'un quelconque territoire consiste à organiser et cartographier les échanges de flux sur un territoire à l'image de l'écosystème naturel. L'analyse des flux de matières est l'outil de base permettant de comprendre la dynamique des échanges, leurs natures, de tracer leurs itinéraires et d'établir les bilans de masses en se basant sur la loi de la conservation de masse. (Vendette et Côté, 2008)

2.3.2 Les synergies industrielles

Les synergies sont les flux de matières, d'énergie, d'informations et de services qu'échangent entre elles les unités industrielles. Elles sont l'outil de mise en œuvre le plus utilisé des SI. Leurs avantages sont doubles : les SI permettent la mise en valeur de sous-produits, d'une part, et elles représentent une opportunité d'affaires pour les entreprises symbiotiques, d'autre part. (Vendette et Côté, 2008)

Deux catégories de synergie de matières, d'énergie et de services existent. La première est une synergie de substitution : « dans ce type de synergie, un résidu se substitue en tout ou en partie à une matière première ou à un intrant dit vierge » (CTTÉI, 2013, p. 12). Ces synergies de substitution témoignent de l'application collaborative du principe des 3R permettant d'allonger l'utilisation et le cycle de vie des matériaux. La deuxième catégorie est une synergie de mutualisation; il est ici question de coordonner les besoins et les usages afin de faire un usage commun et partagé d'une ressource, d'un produit ou d'un service. (CTTÉI, 2013)

Les synergies de sous produits peuvent être classifiées selon leur hiérarchie en cinq types (Chertow, 2000) :

- Type 1 : les échanges de sous-produits se font des industriels vers des agents externes du recyclage des déchets,
- Type 2 : les sous-produits sont échangés au sein même de l'entreprise plutôt qu'un réseau externe de partenaires; l'objectif est de tendre, à l'interne, vers le zéro déchet et à l'efficacité des procédés,
- Type 3 : les sous-produits sont échangés entre les entreprises et les organismes tous regroupés sur un territoire délimité soit, généralement, un parc éco-industriel,
- Type 4 : les sous-produits sont échangés entre entreprises et organismes déjà localisés sur un parc industriel avec d'autres acteurs situés à l'extérieur de ces frontières, mais tout en étant assez proches géographiquement pour permettre les échanges,
- Type 5 : les sous-produits sont échangés entre entreprises et organismes d'un parc éco-industriel et d'autres acteurs situés à de plus grandes distances géographiques en basant les échanges sur la relation et les liens plutôt que sur une proximité géographique.

La SI étant définie comme une association d'acteurs multiples et variés échangeant entre eux différents flux, seuls les trois derniers types de synergies répondent à ces exigences et peuvent être reconnus comme de vraies SI (Chertow, 2000).

2.3.3 Les symbioses industrielles au Québec

« L'implantation de l'écologie industrielle est en pleine croissance au Québec » (Vecteur environnement, 2011). Prisée par les industriels, l'implantation du concept est notamment facilitée par la présence d'organismes facilitateurs et accompagnateurs tels que le CTTÉI. Leader en ÉI au Québec, le CTTÉI, créé en 1999 d'une collaboration entre le Cégep de Sorel-Tracy et la municipalité régionale de comté de Pierre-de Saurel, a pour mission

« d'accroître la performance des entreprises et des collectivités québécoises par la recherche et le développement d'approches et de technologies novatrices en écologie industrielle privilégiant la mise en valeur des résidus, les écoproduits et l'établissement de synergies industrielles » (CTTÉI, s. d.b).

Le CTTÉI participe activement à différents projets visant à encourager le DD. L'un des plus grands chantiers du centre est la création du premier projet de synergie de sous-produits dans le PIPB (CTTÉI, s. d.c). L'ensemble des initiatives du CTTÉI a permis de développer de nombreux outils essentiels dans la démarche d'implantation d'une SI. Deux plateformes d'échanges ont été créées. Le premier outil, la Bourse des résidus industriels du Québec (BRIQ), permet de regrouper les offreurs et les demandeurs de MR présents sur le territoire québécois. (CTTÉI, s. d.c) Une seconde plateforme

réservée aux acteurs participants aux SI, Synergie Québec, a été mise en place afin de faciliter les synergies possibles et le maillage sur un territoire donné. (Finlayson, 2014)

2.4 Avantages d'une démarche d'écologie industrielle et territoriale

La coopération mise en place par la SI est un aspect important garant d'un DD du territoire concerné par la démarche. En redéfinissant l'organisation industrielle, l'ÉIT implique une vision plus générale du système, et une recherche de gains pour l'ensemble de la collectivité, bien au-delà de la recherche de gains individuels à chaque entreprise. (Chertow et Lombardi, 2005)

Ainsi, les liens symbiotiques d'une démarche d'ÉIT présentent plusieurs avantages environnementaux, économiques, sociaux et ainsi un DD des collectivités. Un résumé de ces gains est présenté dans le tableau 2.3.

Tableau 2.3 Les gains liés à un projet de symbiose industrielle (compilation et traduction libre de : Haggar, 2007, p. 92 et Dunn et Steinemann, 1998, p. 663)

Catégorie du gain	Gains
Économique	Réduire les coûts des intrants (ressources et énergie)
	Réduire la dépendance aux ressources non renouvelables et les coûts de production
	Réduire le coût d'élimination des déchets et ainsi augmenter les profits en attribuant aux déchets une nouvelle valeur économique
	Éviter les coûts d'éventuelles amendes pour non-conformité aux réglementations environnementales
	Créer de nouvelles industries pour répondre aux nouveaux besoins de la valorisation des déchets
	Augmenter la compétitivité sur les marchés internationaux
	Améliorer l'image de l'entreprise
Environnemental	Réduire l'exploitation des MP et des ressources non renouvelables
	Encourager le développement et le recours aux énergies renouvelables
	Réduire les émissions industrielles et la pollution ainsi que les déchets
	Respecter les normes environnementales (émissions seuils de polluants et de déchets)
	Permettre un développement durable du territoire et en respect avec la capacité de charge de l'environnement
Social	Créer de nouvelles opportunités d'emplois notamment dans le domaine de la gestion des ressources locales, de la valorisation des déchets
	Créer de nouvelles opportunités d'affaires
	Augmenter la coopération et la participation des industries de différents secteurs
Gouvernemental	Réduire les coûts de la dégradation de l'environnement (coûts de réadaptation et de mesures correctives des externalités)
	Réduire la demande en ressources naturelles
	Réduire la demande sur les infrastructures municipales (station d'épuration des eaux, sites d'enfouissements, etc.)
	Réduire la séparation des usages entre territoire industriel et résidentiel grâce à la réduction des émissions industrielles

2.5 Les limites de l'écologie industrielle

Deux critiques de l'ÉI reviennent souvent dans la littérature. Notons premièrement l'approche jugée trop industrialisée de la démarche. En témoigne, par exemple, l'absence d'indicateurs de performances autres qu'économiques ou environnementales permettant de juger de l'efficacité des entreprises. De plus, certaines questions environnementales telles que la biodiversité restent encore non traitées. Pourtant porteuse d'un DD, l'ÉI ne semble pas faire le lien entre ces différentes sphères. L'aspect social n'est que très rarement pris en considération. Les enjeux sociaux, la participation des citoyens, des consommateurs comme acteurs et partenaires du changement ne sont pas considérés. (Buclet, 2013)

Deuxième critique, l'ÉI est limitée au bouclage des flux de matières et d'énergie et, en conclusion, à un réseau d'échanges de déchets (Adoue, 2004). L'application actuelle qui est faite se concentre sur la création de parcs éco-industriels qui échangent entre eux les flux de matières et d'énergie. L'aspect développement territorial et la dématérialisation de l'économie semblent être un aspect délaissé.

2.6 L'économie circulaire

La complexité du sujet autour de l'ÉC réside dans l'absence d'un vocabulaire et d'un cadre conceptuel partagé et clairement défini. Cette section introduit cette nouvelle démarche industrielle du point de vue théorique et des différents modèles de circularité à travers le monde.

2.6.1 L'émergence de l'économie circulaire

Contrairement à ce qu'il semble être, même si le terme d'ÉC est employé depuis peu, le concept qu'il représente est bien plus ancien. L'idée d'un nouveau modèle à boucle fermée apparaît à la même période que se développe le concept de l'écosystème industriel et de l'ÉI. Ce n'est pourtant que plus tard, en 1990, qu'apparaît le terme d'ÉC. Il est employé pour la première fois par deux économistes anglais, David W. Pearce et R. Kerry Turner, dans leur livre « *Economics of Natural Resources and the Environment* ». (Geldron, 2014; Murray et autres, 2015)

Sur le plan théorique, l'ÉC fait encore débat concernant l'origine de ses fondements, ses principes, sa mise en place, la mesure de son efficacité, mais l'influence de différentes écoles de pensées est sans controverse : *design* régénératif, performance économique, concept du berceau au berceau ou *Cradle to cradle* (C2C) et de nombreux autres ont ainsi inspiré l'émergence de la circularité. L'ÉI est également considérée comme un pilier fondateur de l'ÉC. (Murray et autres, 2015; *Ellen MacArthur Foundation*, 2013a)

Sur le plan de la pratique, l'ÉC est en pleine expansion bien qu'elle ne date pas d'hier. Sa mise en œuvre a débuté dès 1996, en Allemagne, par la promulgation de la loi sur la gestion des déchets en cycle fermé (Su et autres, 2012). Depuis, l'ÉC a été inconsciemment mise en œuvre dans différents pays via différentes politiques et lois : politique de gestion durable des ressources, politique de gestion des déchets, plan d'action 3R de Kobe, etc. Cantonné au secteur de la gestion des déchets, le concept d'ÉC est axé en Allemagne et au Japon sur le principe de 3R. Par exemple, pour soutenir ses politiques environnementales, l'Allemagne élabore le programme sur l'utilisation efficace des ressources dans lequel elle définit l'ÉC comme un outil de prévention et de recyclage des déchets. Autre exemple, les Pays-Bas, très avancés également en matière de récupération et de valorisation, adoptent une approche plus globale intégrant, d'une part, le concept d'ACV dans la politique de déchets abandonnant ainsi la vision bout de chaîne (*end of pipe*) afin de limiter les impacts environnementaux tout au long du cycle de vie de la matière. D'autre part, les initiatives néerlandaises visent à s'inspirer de la démarche C2C pour l'écoconception des produits et une meilleure efficacité des ressources. Enfin, la Chine, qui a adopté depuis 2002 l'ÉC comme stratégie nationale et a promulgué, en 2008, la « *Loi de promotion de l'Économie Circulaire de la République Populaire de Chine* », englobe dans sa définition de l'ÉC des notions plus larges que la simple gestion de déchets. Telle que définie par les politiques chinoises, l'ÉC doit être un outil d'aménagement des territoires et inclure les principes de réduction de la consommation, de technologies propres et de réutilisation en boucle fermée par la mise en place de l'ÉI/SI. (Rouquet et Nicklaus, 2014)

À l'image de ces pays, d'autres s'engagent également dans la refonte de leurs modèles économiques : la France vient d'adopter dans sa loi sur la transition énergétique une définition de l'ÉC et des objectifs en la matière. Mais le succès actuel du concept et la remise en question qu'il entraîne sont essentiellement dus aux travaux de la Fondation Ellen MacArthur (*Ellen MacArthur Foundation*). Créée en 2009, la fondation a pour objectif d'inciter, de faciliter et de soutenir le passage vers une économie plus durable et responsable qu'offre l'ÉC (*Ellen MacArthur Foundation*, 2015a). Depuis, de nombreux autres organismes ont vu le jour tels l'Institut de l'économie circulaire en France, l'Institut d'environnement, du développement durable et de l'économie circulaire (EDDEC) au Québec.

Dans sa chronologie d'apparition, exposée en annexe 2, l'émergence de l'ÉC fait suite à celle de plusieurs autres concepts de gestion environnementale. L'ÉI et la reconnaissance de la symbiose de Kalundborg ainsi que les notions de DD sont contributeurs à l'apparition de ce modèle circulaire (Centre international de référence sur le cycle de vie des produits, procédés et services (CIRAIG), 2015).

2.6.2 Le concept d'économie circulaire

Du point de vue écologique, l'ÉC s'inspire du fonctionnement cyclique de la nature. Du point de vue économique, il s'agit d'un concept permettant une croissance économique répondant aux exigences de la croissance démographique, sans pour autant augmenter la consommation des ressources naturelles et les impacts sur l'environnement. Autrement, les interactions entre économie et environnement ne doivent pas être observées de façon linéaire comme de simples flux entrants et sortants. À *contrario*, ils doivent être organisés en un système fermé de façon à respecter le premier principe de la thermodynamique : le flux total de matières et d'énergie doit être constant. (Murray et autres, 2015; Geng et autres, 2012; Auréz et Lévy, 2013)

La perspective dominante au sein de l'approche d'ÉC doit être davantage basée sur des observations physiques plutôt qu'économiques. En effet, les origines conceptuelles de l'ÉC sont celles de l'ÉI qui met l'accent sur les échanges symbiotiques de flux et le recyclage des déchets; réduction de l'exploitation des ressources et adoption de technologies propres sont également promues par l'ÉI. Ainsi, l'ÉC est, implicitement via l'ÉI, bénéfique à la société et à l'économie dans son ensemble. (Andersen, 2006)

Comme déjà exposé dans la section précédente de ce rapport, l'urgence écologique oblige à repenser l'économie de façon à internaliser les externalités infligées à l'environnement et, indirectement, aux générations futures. Dans ce besoin urgent de changement de paradigme, ce nouveau modèle économique circulaire se veut, contrairement à son prédécesseur, réparateur. Il n'est pas juste question de limiter les externalités du mode de production et de consommation, mais bien de créer une nouvelle économie qui ne présente aucun impact néfaste sur l'environnement et qui, pourquoi pas, permettrait de surplus, de restaurer sur le long terme les dommages passés. (Murray et autres, 2015; *Ellen MacArthur Foundation*, 2015c)

Bien que largement répandue depuis les dix dernières années, l'ÉC reste cependant encore mal définie et conceptualisée. À défaut de pouvoir présenter une seule définition « normalisée » de l'ÉC, plusieurs autres sont énumérées dans le tableau 2.4.

Tableau 2.4 Définitions de l'économie circulaire (compilation et traduction libre de : *Ellen MacArthur Foundation*, 2015b; Genie, 2015; ADEME, 2015a; *Projet de loi sur la transition énergétique pour la croissance verte* (PLTE), 2015; Conseil national des déchets (CND), 2013; Lévy, 2009, p. 160; France. Ministère français de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE), 2014)

Définitions de l'ÉC	Source
L'économie circulaire est un terme générique pour une économie industrielle qui est à dessein réparatrice et dans laquelle les flux de matériaux sont de deux sortes : les matériaux biologiques, susceptibles de réintégrer la biosphère, et les matériaux techniques, destinés à être revalorisés sans entrer dans la biosphère	<i>Ellen MacArthur Foundation</i> , 2015b
L'économie circulaire se focalise sur un autre principe de mise en œuvre de l'écologie industrielle : l'utilisation quasiment cyclique des flux de ressources. En s'inspirant du fonctionnement largement cyclique des écosystèmes naturels, elle vise à créer simultanément de la valeur économique, sociale et environnementale	Genie, 2015
L'économie circulaire peut se définir comme un système économique d'échange et de production qui, à tous les stades du cycle de vie des produits (biens et services), vise à augmenter l'efficacité de l'utilisation des ressources et à diminuer l'impact sur l'environnement tout en développant le bien-être des individus	ADEME, 2015a
La transition vers une économie circulaire appelle une consommation sobre et responsable des ressources naturelles et des matières premières primaires ainsi que, en priorité, un réemploi et une réutilisation et, à défaut, un recyclage des déchets, des matières premières secondaires et des produits. La promotion de l'écologie industrielle et de la conception écologique des produits, l'allongement de la durée du cycle de vie des produits, la prévention des déchets, des polluants et des substances toxiques, le traitement des déchets en respectant la hiérarchie des modes de traitement, la coopération entre acteurs économiques à l'échelle territoriale pertinente, le développement des valeurs d'usage et de partage et de l'information sur leurs coûts écologique, économique et social contribuent à cette nouvelle prospérité	PLTE, 2015
L'économie circulaire désigne un concept économique qui s'inscrit dans le cadre du développement durable et dont l'objectif est de produire des biens et des services tout en limitant la consommation et le gaspillage des matières premières, de l'eau et des sources d'énergie. Il s'agit de déployer, une nouvelle économie, circulaire, et non plus linéaire, fondée sur le principe de « refermer le cycle de vie » des produits, des services, des déchets, des matériaux, de l'eau et de l'énergie	MEDDE, 2014
L'économie circulaire peut être définie comme un système de production et d'échanges prenant en compte, dès leur conception, la durabilité et le recyclage des produits ou de leurs composants de sorte qu'ils puissent redevenir soit des objets réutilisables soit des matières premières nouvelles, dans un objectif d'améliorer l'efficacité de l'utilisation des ressources	CND, 2013
Le terme économie circulaire est un terme générique utilisé pour désigner l'ensemble des activités de réduction, de réutilisation et de recyclage menées durant le processus de production, de circulation et de consommation	<i>Loi sur l'économie circulaire de la République Populaire de Chine</i> (Lévy, 2009)

La définition de l'ÉC et ses principes sont propres aux instances publiques et aux organismes en fonction des approches et des objectifs politiques recherchés. Ainsi, la démarche d'ÉC chinoise est différente de celle de la France. Néanmoins, toutes les définitions ont en commun qu'elles attribuent à l'ÉC une même définition linguistique comme étant l'antonyme d'une économie linéaire. La figure 2.3 oppose le modèle linéaire à celui de l'ÉC.

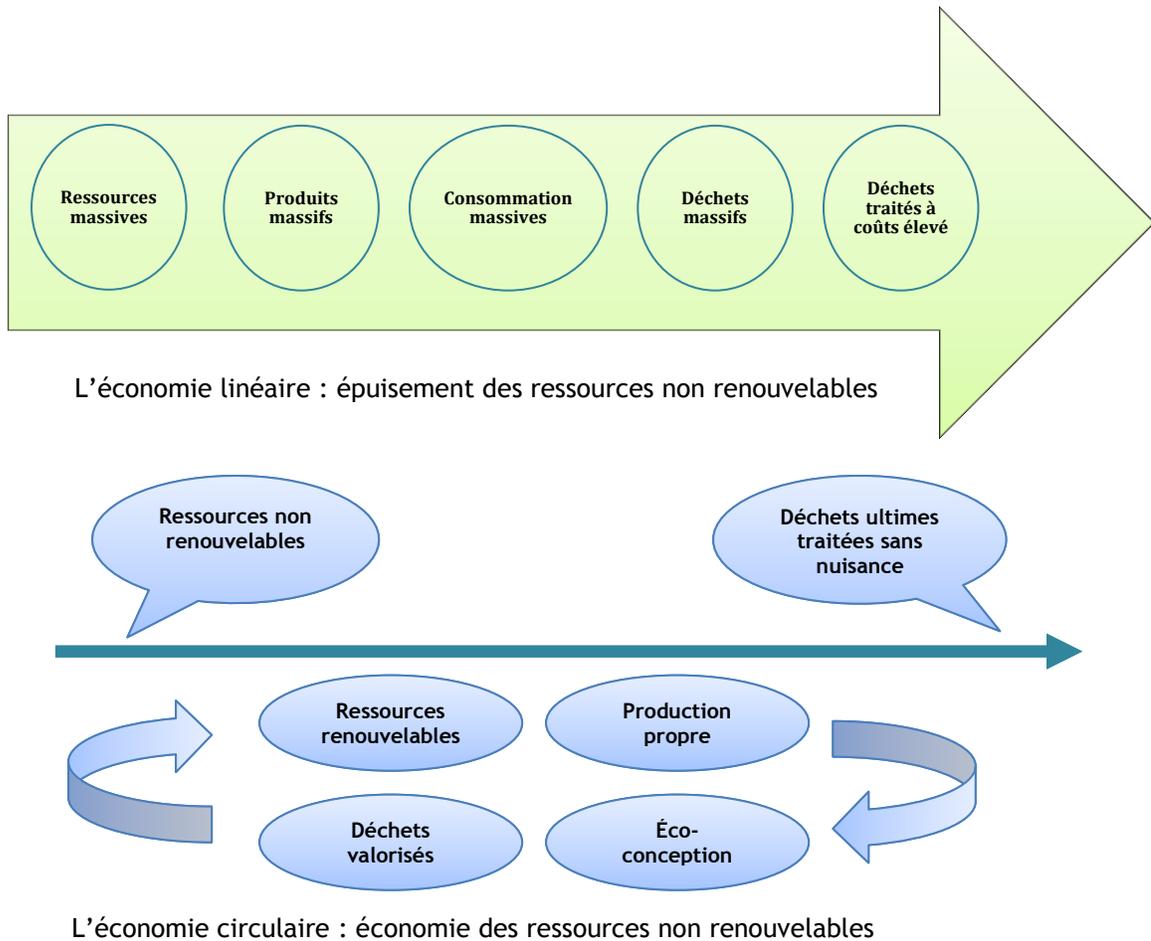
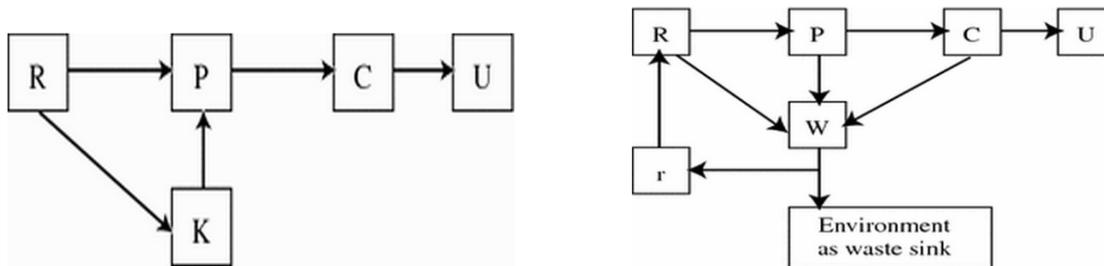


Figure 2.3 Modèles de l'économie linéaire et de l'économie circulaire (tiré de : Lévy, 2009, p. 63)

Ainsi, l'ensemble des approches d'ÉC à travers le monde propose de remplacer la linéarité du système par le concept de système à cycle fermé (Murray et autres, 2015). La figure 2.4 schématise les flux caractéristiques d'un système linéaire et circulaire. Comme illustré, l'économie classique dans laquelle des ressources sont extraites pour produire (P) des biens et des services (K/C) peut être refermée, évoluant ainsi à celui de système circulaire, lorsque les extrants passent du statut de déchets (W) à celui de ressources (R) (Andersen, 2006).



- | | | |
|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| (R) Ressources naturelles | (U) Utilité ou bien être | (C) Biens de consommation |
| (P) Production | (W) Déchets | |
| (K) Biens d'équipement | (r) Recyclage | |

Figure 2.4 Schématisation des flux dans un système linéaire versus un système circulaire (tiré de : Andersen, 2006, p. 134)

Second point commun à ces définitions, le caractère cyclique des flux de matières et d'énergie est à la base de ce concept. Pour ce qui suit de l'analyse, l'ÉC est envisagée par les auteurs et les politiques de manière différente. Pour la Fondation Ellen MacArthur, l'ÉC est un modèle d'optimisation de l'ensemble de l'écosystème et non pas d'une partie unique de ses composantes : tout élément de l'économie doit devenir une ressource. Le déchet n'est par exemple plus un fardeau, mais une richesse à exploiter. Pour cela, les flux de matières doivent être bouclés autant que possible, et chaque matière a un cycle particulier (*Ellen MacArthur Foundation*, 2013b). La définition de la Fondation Ellen MacArthur distingue donc entre deux types de cycles, deux types d'ÉC : le cycle biologique et le cycle physique. Comme illustré en figure 2.5, les matières physiques et biologiques ont une boucle et une cascade de transformation différente. D'un côté, les flux de matières issus de produits techniques doivent être conçus pour retourner dans le cycle technique de leur métabolisme industriel de départ. De l'autre côté, les flux de matières biologiques sont valorisés puis restitués à la biosphère (Le Moigne, 2014). Les figures en annexe 3 exposent respectivement l'ÉC des produits biologiques et des produits techniques pouvant être utilisés en cascades. Dans la mesure du possible, il est préférable d'éviter les cycles trop longs. En effet, plus un cycle est court plus grande sera la valeur économique retenue (*Ellen MacArthur Foundation*, 2013a). La consommation d'énergie par unité de production est aussi à réduire et doit provenir autant que possible de sources renouvelables.

Dans cette première définition de la fondation, tout comme celle de l'article de la *Loi sur l'ÉC de la République Populaire de Chine*, le modèle a une portée restreinte au processus industriel de fabrication. En Chine, les démarches pour garantir la circularité de la matière se font via les opérations de valorisation des déchets en ressources. Les notions de recyclage (valorisation) et de cyclicité de la matière (de déchets à ressources) sont fondamentales. L'approche 3R et le processus industriel mis en

place par les SI d'utilisation des extraits d'une entreprise comme intrant d'un autre processus sont des pratiques de base de la démarche d'ÉC (Murray et autres, 2015).

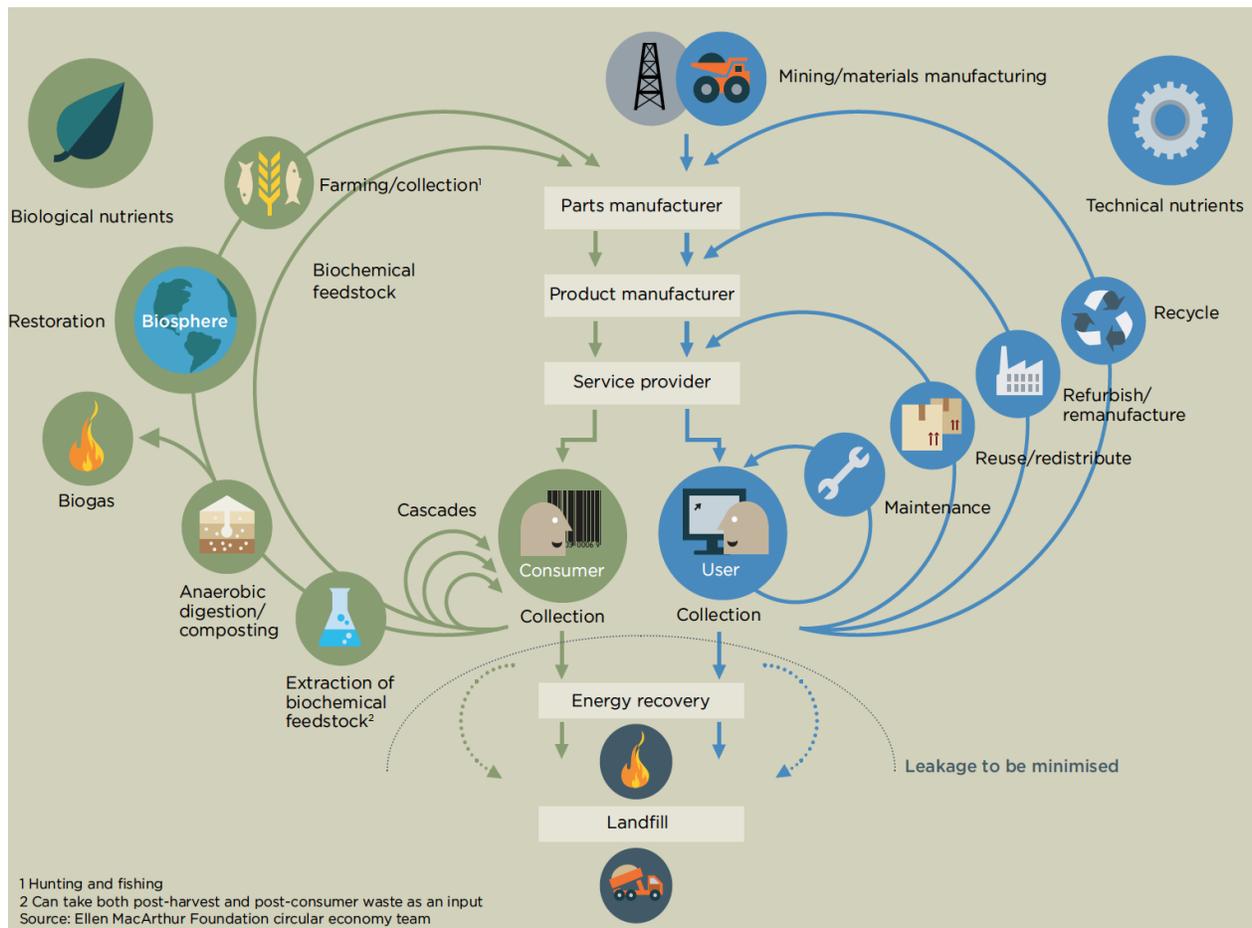


Figure 2.5 Schéma de l'économie circulaire (tiré de : Ellen MacArthur Foundation, 2013a, p. 24)

Les définitions françaises de l'ÉC sont nombreuses, différentes d'une institution à une autre et confirment ainsi la complexité du débat et sa mise en œuvre. Toutefois, l'ensemble de ces définitions convergent vers une même finalité : l'approche française abordant l'ÉC comme nouveau modèle d'affaires et de DD. Pour l'ADEME, l'ÉC doit utiliser le concept d'ACV afin de garantir une meilleure efficacité de ressources. Le gouvernement français, dans sa loi sur la transition énergétique, reprend dans sa définition les sept piliers d'ADEME de l'ÉC, qui seront traités dans une prochaine sous-section, comme fondement de la démarche. Enfin, sur son site internet, le MEDDE fait référence à une consommation plus responsable non pas uniquement de la matière, mais également des MP, des ressources non renouvelables, de l'énergie exprimant implicitement l'encouragement au recours à la consommation des ressources renouvelables comme ce fut le cas dans sa première définition de l'ÉC en 2013 :

« L'économie circulaire a pour objectif de rompre avec la logique linéaire qui prévaut : extraire, fabriquer, consommer, jeter. Face à l'épuisement de nos ressources, l'économie circulaire propose de produire autrement, en intégrant une exigence écologique à tous les niveaux, de la conception, en passant par la production, jusqu'au recyclage. Dans ce modèle, les sources d'énergie utilisées doivent être le plus possible renouvelables et le recours aux produits chimiques évité, mais le maillon essentiel est bien le zéro déchet » (France. MEDDE, 2013).

La comparaison des différentes définitions relève plusieurs points critiques. Premièrement, l'absence de consensus est observable au sein d'une même communauté. Ainsi, si l'ADEME et la politique française ne s'accordent pas sur une même et seule présentation du concept, les fondements du modèle sont identiques. Aussi, et comme il sera démontré plus tard, les écoles de pensées et les principes ayant conduit à l'émergence de ce nouveau modèle sont identiques indépendamment de l'instance et du pays qui les met en œuvre. Réduction de la consommation de MP et d'énergie, exploitation soutenable des stocks de MP, approche cycle de vie, mise en valeur des déchets, écoconception, ÉIT, etc. sont les fondements de l'ÉC.

Plusieurs définitions sont utilisées pour présenter un même concept, mais toutes concluent à une même finalité : efficacité des ressources et découplage de la croissance économique et de la consommation de ressources (Massard, 2015). Indépendamment de la définition adoptée, les fondements du concept sont similaires. L'ÉC, qui trouve son origine dans le concept d'ÉI, s'inspire des principes de SI, la symbiose de Kalundborg étant l'exemple le plus avancé d'une ÉC, et de l'approche 3R (Fan et autres, 2006). D'autres écoles de pensées soutiennent également l'émergence de l'ÉC : le design régénératif, la performance économique, l'approche C2C, le biomimétisme (*Ellen MacArthur Foundation*, 2013), la *reverse supply chain management* (Le Moigne, 2014), etc.

La prévention, la gestion de déchets et le recyclage sont à priori les voies principales de ce modèle. Ainsi,

« dans une ÉC, les produits usagés et les déchets sont réintroduits dans le cycle de production, de distribution et d'utilisation, autant de fois que cela est possible, réduisant à la fois la consommation de matières premières et la production de déchets » (Le Moigne, 2014, p. 32).

Cependant, plusieurs politiques, notamment en France, insistent sur le fait que l'ÉC ne doit pas se contenter au simple recyclage (ADEME, 2015b); elle engage une vision plus large que la gestion des déchets et invite à revoir notre mode de vie.

Théoriquement, le concept de circularité se base sur plusieurs principes (Lévy, 2009; Fan et autres 2006) :

- la réduction de l'emploi des ressources non renouvelables et leur utilisation efficace,
- l'exploitation des ressources renouvelables selon la capacité de leurs régénérations,

- l'écoconception,
- la production propre,
- la consommation responsable et sans impacts sur l'environnement,
- la valorisation des déchets en tant que ressources secondaires,
- le traitement des déchets respectueux et sans externalités négatives sur l'environnement.

Ainsi, les flux d'entrées et de sorties de matières et d'énergie sont réduits dans la mesure du possible et remplacés par les flux intérieurs du modèle circulaire.

Du point de vue pratique, l'ÉC peut être mise en œuvre à trois échelles : à l'interne d'une entreprise, au sein d'un réseau d'entreprises, autrement dit une SI, et enfin, au niveau régional ou national.

Au niveau des entreprises, l'ÉC se matérialise principalement par une démarche axée sur le produit, grâce au concept d'écoconception, ainsi que des actions de production propre. À l'échelle mésoéconomique, la démarche est centrée sur le territoire et le développement des parcs industriels et des SI dans l'objectif de découpler la croissance économique de la protection de l'environnement. Enfin, à plus grande échelle, la promotion d'un nouveau mode de production et de consommation responsable et d'une société adepte du recyclage et de la valorisation soulève l'ÉC au niveau de stratégie nationale. (Geng et autres, 2012)

Le retour d'expériences des démarches mises en place d'ÉC montre que cinq étapes sont nécessaires (Le Moigne, 2014). La figure 2.6 reprend ces étapes et expose les leviers d'actions pour accompagner chacune d'entre elles.

En conclusion, l'ÉC est un terme général englobant les différents concepts utilisés ces dernières années pour internaliser les impacts tant des modes de production que de consommation. Elle permet ainsi une

« prise en compte plus large des champs qui y sont liés : production et offre de biens et service responsable, consommation responsable, recours au réemploi et à la réparation, recyclage, usages et besoins, gestion territoriale des matières et de l'énergie, etc. » (Orée, 2009b).

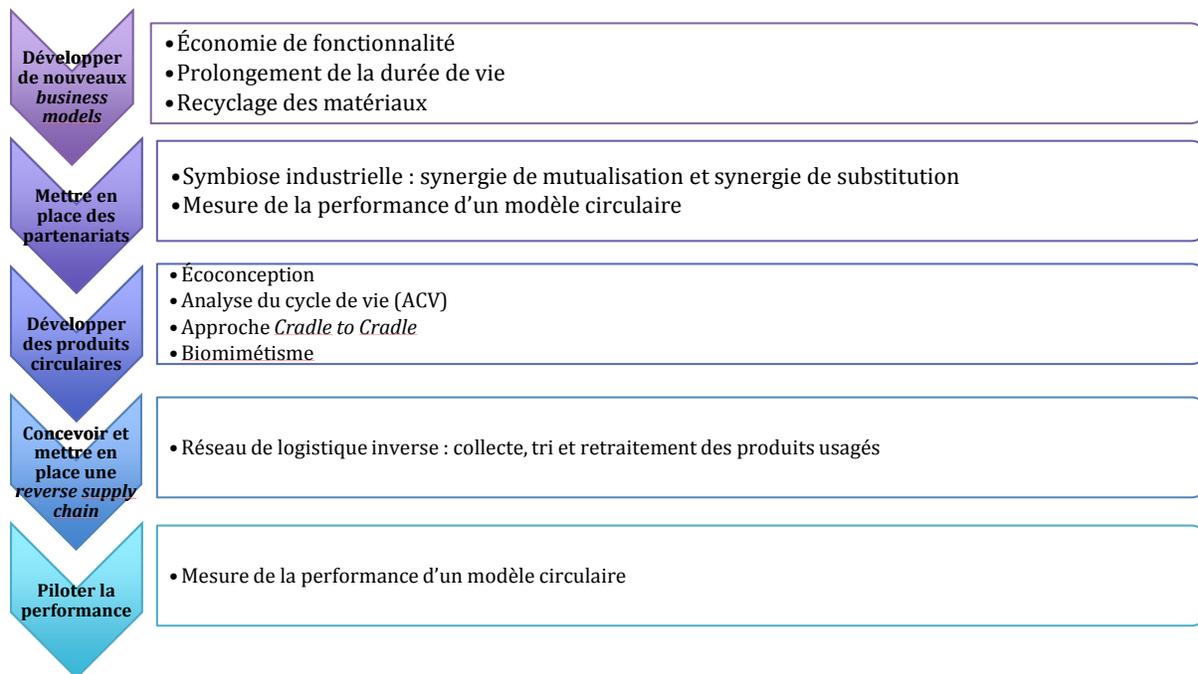


Figure 2.6 Étapes d'une démarche d'économie circulaire (inspiré de : Le Moigne, 2014, p. 128)

2.6.3 Les démarches d'économie circulaire à travers le monde

Aucun modèle n'est transposable. Il n'existe pas une façon unique de faire de l'ÉC, Les piliers de ce modèle circulaire ne sont donc pas les mêmes en Chine, en Allemagne, au Japon, etc. (Lévy, 2009). Dans cet essai, deux démarches sont traitées en particulier : les modèles d'ÉC français et chinois.

L'économie circulaire en France

Le gouvernement français, en pleine discussion sur sa transition énergétique, a montré clairement son engagement et a entrepris des efforts et des actions radicales promouvant une économie plus durable. À cet effet, la France vient d'adopter une définition de l'ÉC dans sa loi sur la transition énergétique, également soutenue par d'autres textes de loi comme la légifération d'un texte de loi sanctionnant l'obsolescence programmée. Ce dernier confirme le début d'une nouvelle ère de production et de consommation (Caymaris-Moulin, 2015) et soutient le changement de direction vers une plus grande circularité.

L'ADEME, l'Orée et l'Institut de l'économie circulaire sont très actifs dans la promotion de ce nouveau concept. Pour l'ADEME, l'ÉC est un circuit d'échange qui tient compte, dès la conception du produit, à limiter le gaspillage et promouvoir l'usage efficace des ressources. En se basant sur le principe de

conservation de masse, l'ÉC est premièrement pensée en fonction des échanges des flux qui doivent ensuite inclure des boucles de rétroaction.

Trois domaines d'actions, sept piliers permettent le passage d'une économie linéaire à une ÉC. Respectivement, la figure 2.7 schématise les principaux domaines d'action de l'ÉC et la figure 2.8 celle des piliers du modèle. L'annexe 4 représente un exemple de schéma de modèle circulaire appliqué à l'industrie automobile.

Dans ce nouveau modèle économique, trois domaines d'actions sont mis en avant :

- offre des acteurs économiques,
- demandes et comportements des consommateurs,
- gestion des déchets.

Trois acteurs assurent la circularité et la boucle de rétroaction. Au premier niveau, les entreprises doivent revoir leurs modes de consommation de MP, réfléchir à la conception de leurs produits selon une approche d'ACV et avec un objectif de vente du bien d'usage au lieu de la possession du bien. Le consommateur est le deuxième acteur et se doit de faire une consommation responsable des biens en sa possession et en prolonger la durée de vie soit par le réemploi, la réparation et/ou la réutilisation. Enfin, les « recycleurs » tirent du bien déjà consommé un second usage, en le réintroduisant dans le circuit de l'économie de la matière identique à l'initiale ou dans un nouveau circuit destiné à un nouvel usage.

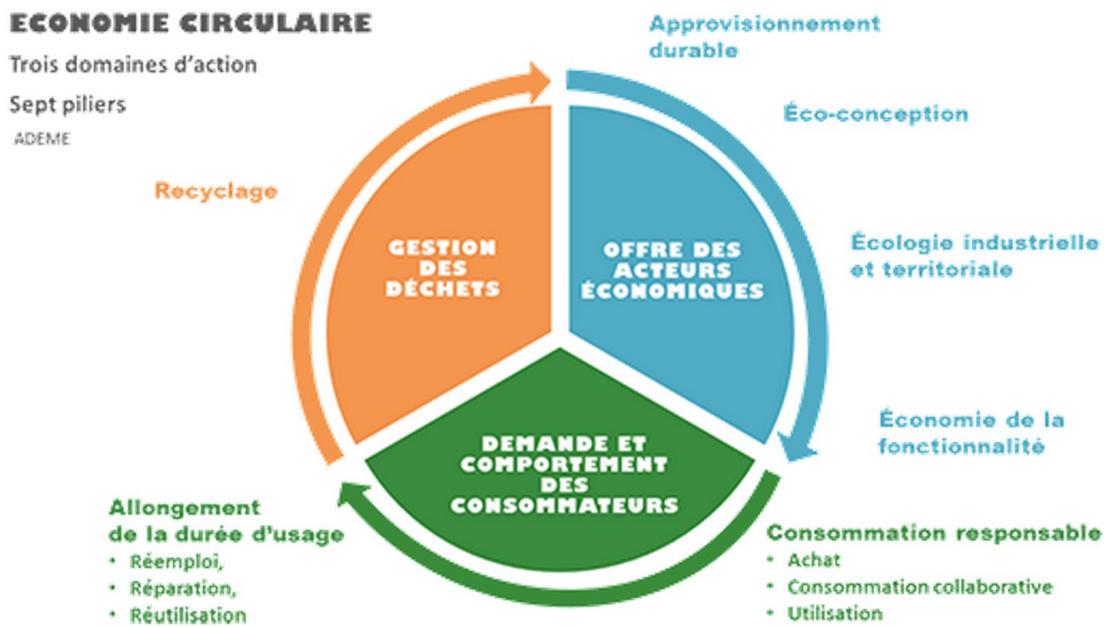


Figure 2.7 Les domaines d'actions de l'économie circulaire (tiré de : ADEME, 2015a)

Ce sont sept piliers qui assurent ainsi la circularité de la matière (ADEME, 2015a).

Premièrement, l'approvisionnement durable vise l'exploitation et l'extraction plus efficaces des ressources non renouvelables ainsi que le recours aux ressources renouvelables en remplacement des matières conventionnelles. Deuxième pilier, l'écoconception des procédés, des produits, etc. est mise en place par l'adoption de l'approche d'ACV; les objectifs étant de limiter les impacts environnementaux et de permettre un second usage des produits. L'ÉIT, dénommée aussi symbiose industrielle, est actuellement un des piliers les plus en vue et en application exponentielle. Ce pilier vise à organiser les échanges de flux entre acteurs d'un réseau d'entreprises et mutualiser les besoins. Quatrièmement, l'économie de fonctionnalité est un modèle d'affaires promu par l'ÉC et propose aux consommateurs l'usage d'un bien au lieu de la possession du produit. Cinquièmement, le consommateur, qu'il soit acteur économique ou citoyen, participe à ce modèle circulaire en appliquant le principe de consommation responsable et doit donc revoir son mode d'achat de façon à limiter son impact. De même, le consommateur est acteur du sixième pilier du modèle d'ÉC puisqu'il participe à l'allongement de sa durée d'usage en donnant une seconde vie au produit par sa réparation, son réemploi ou sa réutilisation par l'utilisateur lui-même ou par un acheteur d'occasion. Enfin, septième et dernier pilier, le recyclage est mis en valeur et vise l'utilisation des déchets comme nouvelles MP pour des fins identiques à celles initiales ou nouvelles. (ADEME, 2015a)

L'ÉC repose donc sur trois axes; c'est une démarche qui doit être centrée sur les produits et services (par l'écoconception), sur la filière du recyclage (principe des 3R) et enfin sur le territoire (par la mise en place de SI/ÉIT) (Orée, 2009c; Orée, s. d.).

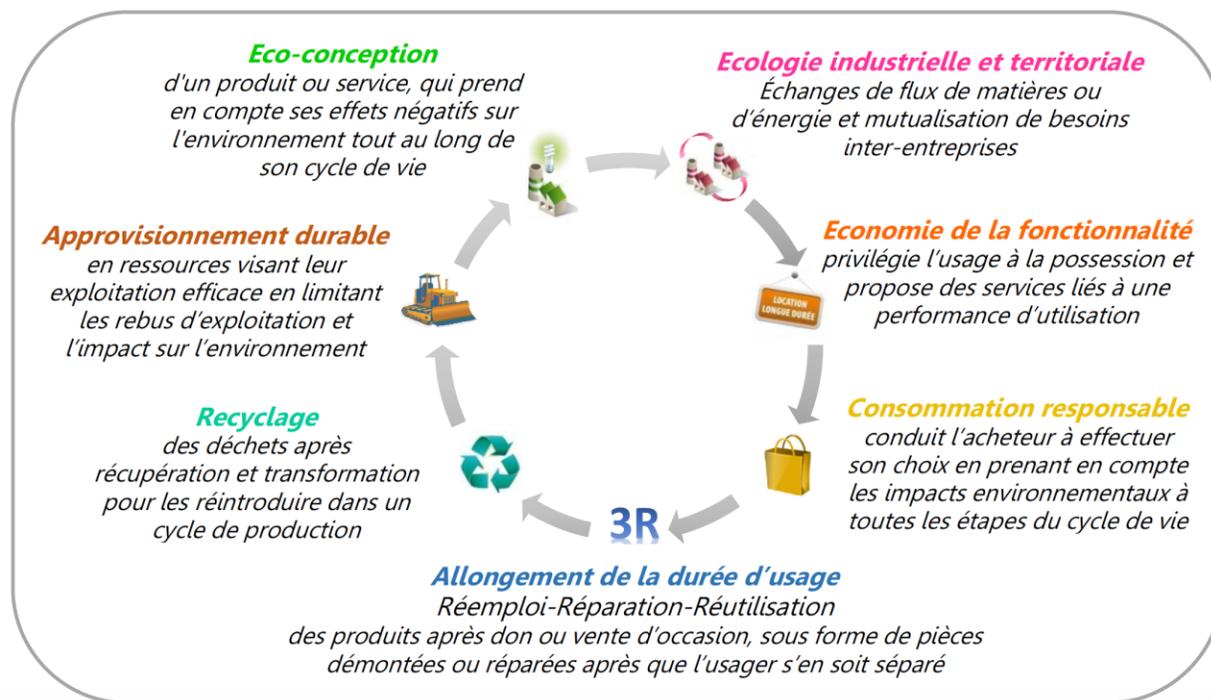


Figure 2.8 Les sept piliers de l'économie circulaire (tiré de : Orée, s. d.)

Construite sur ces sept piliers, l'ÉC reste néanmoins limitée au champ de la gestion des déchets. Elle est essentiellement basée sur l'approche 3R et les expériences actuelles d'ÉC se font par la mise en place de projets de SI (Aurez et Lévy, 2013; Geldron, 2014). Cependant, l'enjeu futur est de considérer l'ÉC comme un réseau d'échange de flux de matières et non plus seulement en termes de produits et de stock de déchets. Pour cela, l'emphase est mise à développer davantage l'écoconception et l'approche ACV (ADEME, s. d.).

La gestion durable des matières associées à l'ÉC nécessite d'appliquer tant aux déchets qu'aux matières et aux produits des politiques intégrées fondées sur le principe de 3R et le recyclage ainsi que celui du cycle de vie. (OCDE, 2011)

L'économie circulaire en Chine

Depuis la réforme et l'ouverture de la Chine en 1978, le pays connaît une forte croissance démographique, économique et la transformation de son économie vers une économie de marché, et ce au détriment de son environnement. Face au dilemme qu'entraîne cette croissance, consommation de ressources naturelles et pollution de l'environnement, la Chine a mis en place une stratégie nouvelle pour un développement plus durable : l'ÉC. En 2002, la Chine adopte l'ÉC comme stratégie nationale pour une société sobre en énergie et en ressources et respectueuse de l'environnement, promulgue en

2008, la *Loi de promotion de l'Économie Circulaire de la République Populaire de Chine* et met en place depuis 2010 un plan national pour le développement de l'économie circulaire. La démarche de la Chine vers cette circularité est complètement empirique, mais grâce au contexte législatif favorable les avancements sont très rapides. L'annexe 5 présente certaines lois complémentaires soutenant cette démarche circulaire.

À ce jour, la Chine est ainsi le seul pays à avoir adopté l'ÉC comme loi et l'ÉI comme stratégie de sa mise en œuvre à grande échelle (CIRAIG, 2015). Les premières expériences d'ÉC ont porté sur des projets pilotes d'ÉI et d'écoparcs industriels, mais la Chine ne limite pas le champ d'application à un réseau d'entreprises ou à un territoire industriel. La politique actuelle vise à promouvoir le modèle à l'échelle de région et de ville, parlant ainsi d'écozone et d'écoville. Les efforts mis en place visent à réduire la consommation des ressources non renouvelables et à augmenter le recyclage (la valorisation) des ressources utilisées lors de la production et de la consommation. (Lévy, 2009; Rouquet, et Nicklaus, 2014) Ces différentes pratiques actuelles de l'ÉC chinoise sont exposées dans le tableau 2.5.

Tableau 2.5 Les pratiques actuelles d'économie circulaire en Chine (traduction libre de : Geng et autres, 2012, p. 222)

	Micro (entreprise unique)	Meso (association symbiotique)	Macro (ville, province, État)
Zone de production (primaire, secondaire et tertiaire)	- Production propre - Écodesign	- Parc éco-industriel - Système d'éco-agriculture	Réseau éco-industriel régional
Zone de consommation	Achat et consommation responsable	Parc écologique	Service de location
Zone de gestion des déchets	Système de recyclage du produit	- Marché du commerce des déchets - Parc éco-industriel	Symbiose urbaine
Autres supports	Politiques et lois; plateforme d'information; stratégies de renforcement des capacités; organisation non gouvernementale		

Et le Québec?

L'étendue de l'ÉC et sa renommée sont encore à développer. En effet, ce nouveau concept est encore peu abordé au Québec bien que ces dernières années aient été décisives dans le tournant vers une nouvelle ère de consommation et de production qu'offre l'ÉC.

Actuellement, l'Institut EDDEC projette de faire de Montréal le laboratoire de l'ÉC en Amérique du Nord (Ville de Montréal, 2015). Plusieurs projets d'ÉI portés par le CTTÉI représentent également des cas d'ÉC (Venne, 15 juin 2013). L'opportunité de ce nouveau modèle est vue comme un moyen de changer de paradigme dans la façon de produire et de consommer au Québec en impliquant dans cette démarche divers acteurs (gouvernement, universitaires et scientifiques, industriels et consommateurs) et rassemblant « de manière cohérente un ensemble de stratégies autrement isolées les unes des

autres, tout en profitant de l'avènement des nouvelles technologies et des nouveaux modes de production et de consommation » (EDDEC, 2015b).

2.7 Écologie industrielle, économie circulaire et développement durable

L'ÉI est une science de la durabilité dont les principes sont fondés sur ceux du DD. De plus, la finalité de l'ÉI est de tendre vers un DD. Malgré cette corrélation, le lien entre les deux approches est bien souvent négligé et les projets d'ÉI sont peu souvent analysés du point de vue de la durabilité.

Pourtant, les démarches d'ÉI contribuent au DD d'un territoire et sont même en lien avec les principes de la *Loi sur le développement durable* de Québec. Par exemple, les principes « Internalisation des coûts », « Prévention » et « Accès au savoir » sont liés au concept d'analyse de cycle de vie. Les synergies de sous-produits faisant appel à la fois à la coopération entre acteurs, à la fermeture des boucles de flux de matières et d'énergie pour une gestion plus responsable des procédés industriels englobent le plus de principes de DD tels que « Respect de la capacité de support des écosystèmes », « Production et consommations responsables », « Efficacité économique », « Participation et engagement », « Accès au savoir » et « Équité et solidarité sociale » et enfin « Protection de l'environnement ». (Caron, 2008)

En outre, une comparaison des objectifs de la *Stratégie gouvernementale de développement durable 2015-2020* et des gains d'un projet de synergies convergent vers les mêmes finalités, comme exposé dans le tableau 2.6.

Qu'en est-il de l'ÉC? Ce dernier concept, s'inspirant de l'ÉI, est présenté également comme stratégie de DD (Liu, 2014). La comparaison entre les impacts d'une ÉC et les orientations de la stratégie québécoise de DD témoignent, selon le tableau 2.7, de ce lien.

Tableau 2.6 Contribution des projets d'écologie industrielle aux objectifs de la *Stratégie gouvernementale de développement durable 2015-2020* (inspiré de : Hagggar, 2007, p. 92; Dunn et Steinemann, 1998, p. 663; Québec. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDELCC), 2015 et Dain, 2010)

Objectifs de la <i>Stratégie gouvernementale de développement durable 2015-2020</i>	Exemples de gains des démarches d'ÉI
Développer une économie prospère d'une façon durable - verte et responsable	Réduire les coûts des intrants (ressources et énergie)
	Réduire la dépendance aux ressources non renouvelables et les coûts de production
	Réduire le coût d'élimination des déchets et ainsi augmenter les profits en attribuant aux déchets une nouvelle valeur économique
	Augmenter la coopération et la participation des industries de différents secteurs
	Augmenter la compétitivité sur les marchés internationaux
	Améliorer l'image de l'entreprise
	Éviter les coûts d'éventuelles amendes pour non-conformité aux réglementations environnementales
Gérer les ressources naturelles de façon responsable et respectueuse de la biodiversité	Réduire l'exploitation des MP et des ressources non renouvelables
Favoriser la production et l'utilisation d'énergies renouvelables et l'efficacité énergétique en vue de réduire les émissions de gaz à effet de serre	Encourager le développement et le recours aux énergies renouvelables
Assurer l'aménagement durable du territoire et soutenir le dynamisme des collectivités	Créer de nouvelles industries pour répondre aux nouveaux besoins de la valorisation des déchets
	Permettre un développement durable du territoire et en respect avec la capacité de charge de l'environnement
	Créer de nouvelles opportunités d'emplois notamment dans le domaine de la gestion des ressources locales, de la valorisation des déchets

Tableau 2.7 Contribution des projets d'économie circulaire aux objectifs de la *Stratégie gouvernementale de développement durable* (inspiré de : Québec. MDELCC, 2015 et Le Moigne, 2014)

Orientations de la <i>Stratégie gouvernementale de développement durable 2015-2020</i>	Exemples de gains des démarches d'ÉC
Développer une économie prospère d'une façon durable - verte et responsable	Développer de nouveaux marchés
Gérer les ressources naturelles de façon responsable et respectueuse de la biodiversité	Sécuriser les approvisionnements
	Réduire la production de déchets
	Économiser les matières premières
Favoriser la production et l'utilisation d'énergies renouvelables et l'efficacité énergétique en vue de réduire les émissions de gaz à effet de serre	Réduire les émissions de CO ₂
	Restreindre la consommation d'énergie
Assurer l'aménagement durable du territoire et soutenir le dynamisme des collectivités	Créer des emplois locaux et de la richesse

3 PERFORMANCE ET INDICATEURS

Cette section aborde les approches de mesure et les indicateurs couramment employés en ÉI et en ÉC.

3.1 Évaluation des projets d'écologie industrielle

Mesurer la performance et le succès d'une démarche de SI peut être bien vite problématique pour de nombreuses raisons. Premièrement, dans le monde industriel, où prône la culture de l'individualisme et du secret industriel, la participation des acteurs n'est pas toujours garantie (Verville, 2015a). Deuxièmement, les outils et les moyens de mesures spécialement conçus pour mesurer la performance d'une démarche d'ÉI, de SI n'ont pas été établis et les indicateurs ne sont pas clairement définis. Actuellement, il n'existe pas encore de méthodologie clairement développée dans la mesure de la performance et des retombées des applications d'ÉI (Kurup, 2007). Comment alors mesurer les impacts?

Après recherche bibliographique, différentes approches ont été relevées et sont présentées à l'annexe 6. Le projet COMETHE (Conception d'Outils Méthodologiques et d'Évaluation pour l'écologie industrielle), dont l'objectif principal est « la conception d'une méthodologie et d'outils pour la mise en œuvre de démarches d'écologie industrielle » (COMETHE, 2008a), propose d'évaluer, ex ante, les résultats de la mise en œuvre des synergies en intégrant le concept de durabilité. Il est suggéré que les bénéfices des démarches d'ÉI soient mesurés notamment via des indicateurs classiques de développement durable (COMETHE, 2008b).

Il est courant d'évaluer les avantages d'un projet de SI en quantifiant les bénéfices des synergies en matière d'eau, d'énergie et de matières et en les comparant à la situation de départ, avant la mise en place du réseau symbiotique (Van Berkel, 2008). Cette mesure de l'éco-efficacité est cependant centrée sur la stratégie d'une seule entreprise et ne tient pas compte des gains de la SI. Pourtant, l'ÉI a une vision de bénéfices plus englobant, à l'échelle de groupes d'entreprises et des régions (Erkman, 2004).

3.2 Les indicateurs d'écologie industrielle

Un référentiel largement accepté d'indicateurs spécifiques à l'ÉI permettant de mesurer les retombées et les gains d'une telle démarche fait encore défaut (Finalyson, 2014); cependant, plusieurs approches ont déjà été employées. Actuellement, le programme national de symbiose industrielle, le *National Industrial Symbiosis Programme* (NSIP), du Royaume Uni est le programme le plus élaboré pour le calcul des retombées et de la performance des synergies mesurées selon les critères suivants (Merly, 2008) :

- quantité de matières détournées de l'enfouissement,
- réduction des émissions de CO₂,
- quantité de matières premières économisées,

- quantité d'eau potable économisée,
- quantité de déchets dangereux supprimés,
- gains économiques,
- nombre d'emplois créés et sauvés.

À l'inverse, Kurup et autres (2005) mesurent les SI selon une approche de triple bilan en développement durable ou de *triple bottom line accounting* (TBL), selon trois catégories d'indicateurs mesurant la performance comme suit :

- performance économique :
 - nouvelles opportunités d'affaires locales générées,
 - capital travail généré,
 - vente et profit,
 - coûts environnementaux tangibles,
 - salaires versés,
 - impôts payés,
 - coûts de transport.
- performance environnementale :
 - biodiversité,
 - consommation d'énergie,
 - consommation en eau,
 - émission de polluants atmosphériques,
 - eaux usées et déchets générés,
 - consommation de ressources.
- performance sociale :
 - création d'emplois,
 - sécurité des employés,
 - santé et bien-être,
 - stabilité de la communauté, etc.

Enfin, les projets de SI à l'échelle de parc éco-industriel peuvent également être mesurés par des indicateurs d'ÉC (Merly, 2008).

3.3 Les indicateurs d'économie circulaire

Une des grandes lacunes actuellement dans le concept d'ÉC est l'absence d'indicateurs de circularité spécialement conçus pour mesurer la performance de ce modèle économique. Toutefois, la Chine est l'un des premiers pays à mesurer la démarche par des indicateurs spécialement conçus à son projet de circularité. En 2007, deux instances responsables de l'élaboration des indicateurs d'ÉC dressent une liste d'indicateurs d'ÉC, élaborés sur la base de l'analyse des flux de matières, afin d'évaluer la performance générale de la pratique et soutenir ainsi les politiques gouvernementales. D'autres outils, tels que les indicateurs d'éco-efficacité ont été adoptés pour mesurer la performance environnementale et économique de la démarche d'ÉC, essentiellement pour ce qui est de l'utilisation de l'eau, la gestion des déchets, etc. (Su et autres, 2012).

Dans un premier référentiel, la mesure de la circularité du modèle chinois, au niveau d'une SI et à l'échelle nationale, se base sur des indicateurs construits essentiellement à partir du principe des 3R et se différencie selon l'échelle d'application en deux genres. Une première catégorie d'indicateurs, pour l'évaluation macroéconomique, fournit les orientations de planification nationale de la politique d'ÉC. Une deuxième catégorie est limitée à la dimension mésoéconomique et évalue le développement et la performance de la démarche sur un territoire précis d'un parc industriel. Quatre catégories d'indicateurs permettent de mesurer le modèle de cycle fermé (Geng et autres, 2012) :

- le taux de ressources à la sortie : mesure la quantité de PIB produite à partir de la consommation des ressources et renseigne donc sur l'efficacité des ressources,
- le taux des ressources consommées par le système économique,
- l'utilisation intégrée des ressources : mesure du taux de recyclage des ressources et le retour des matériaux consommés dans le système économique renseignant ainsi sur les perspectives de dématérialisation,
- la réduction des déchets générés : mesure du taux de déchets éliminés et de polluants émis.

Un second référentiel se limite à la mesure des impacts de l'ÉC à l'échelle d'un parc éco-industriel en matière d'économie, d'environnement et de social selon quatre catégories : développement économique, réduction et recyclage des matières, lutte contre la pollution et administration et gestion. (Geng et autres, 2012)

Les deux référentiels adaptés aux parcs éco-industriels sont présentés en annexe 7.

Une étude récente de la Fondation Ellen MacArthur propose des indicateurs spécialement conçus pour mesurer la circularité des produits ainsi que celle des entreprises. L'indicateur de circularité de matériaux (*Material Circularity Indicator*) pour produit et pour entreprise repose sur la quantification de la restauration des flux de matières. D'autres indicateurs complémentaires déjà existants peuvent être également utilisés; il s'agit des indicateurs de risques et d'impacts (*Ellen MacArthur Foundation, 2015c; Ellen MacArthur Foundation, 2015d*). Des indicateurs, plus communs et non spécifiques à la démarche d'ÉC, peuvent également être utilisés pour renseigner sur la performance du modèle à l'échelle d'une industrie : taux de recyclabilité, taux de valorisabilité et taux de recyclage (Le Moigne, 2014). Bien qu'incomplets, les indicateurs couramment utilisés dans les concepts d'ACV et de C2C sont de bons outils de mesures de circularité (*Ellen MacArthur Foundation, 2015d*).

Grande lacune des indicateurs circulaires, l'aspect social n'est pas comptabilisé dans la démarche d'évaluation (Su et autres, 2012).

4 RETOUR D'EXPÉRIENCES D'ÉCONOMIE CIRCULAIRE À TRAVERS L'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE

La présente section relate des exemples de projets d'ÉC via une démarche d'ÉIT de la scène internationale. La symbiose de Kalundborg qui en est un exemple (*Ellen MacArthur Foundation, 2015e*) n'est pas abordée dans cette partie puisqu'elle fera l'objet du prochain chapitre.

4.1 Zone de développement économique et technologique de Tianjin (Chine)

Selon la comparaison faite des démarches de SI par Chertow et Ehrenfeld (2012), l'ÉC peut être mise en place par des modèles d'écoparcs d'ÉC. L'un des parcs les plus développés en Chine est la Zone de développement économique et technologique de Tianjin ou *Tianjin Economic Technological Development* (TEDA), situé dans la ville de Tianjin au nord du pays. TEDA est considéré comme l'un des premiers écoparcs soutenus par le gouvernement chinois, mais aussi comme un des projets pilotes d'ÉC (Mathews et Tan, 2011).

Créé en 1984 avec le soutien du Conseil des affaires de l'état, l'objectif du parc est de devenir la nouvelle zone internationale des industries modernes du 21e siècle (*Enorth, 2004*). Avec la promulgation de la loi sur l'ÉC en 2008, l'écoparc s'est engagé vers une transition écologique, « dans une optique de production propre et d'économie circulaire » (Lévy, 2009, p. 74). Depuis, le site a évolué en un pôle de compétitivité accrédité ISO 14000 et ISO 14001 et sert de référence et de modèle pour le développement d'autres parcs éco-industriels dans le pays ainsi qu'à l'international.

TEDA bénéficie aujourd'hui de plusieurs coopérations internationales participant par exemple au programme européen pour la mise en œuvre de symbioses industrielles (Institut de l'économie circulaire, 2013). Fonctionnant avec de moins en moins de capitaux publics et davantage sur une économie ouverte reposant sur des investissements étrangers, TEDA est aujourd'hui l'un des pôles de production les plus importants de la Chine en matière de technologie avancée et d'innovation. L'écoparc regroupe plusieurs industries dont certaines dans le domaine des télécommunications, de l'automobile, de l'agroalimentaire, de l'aviation et des industries pétrochimiques et biopharmaceutiques. (TEDA, s. d.)

La transition écologique de ce *cluster* vers un écosystème industriel et un biotope industriel repose sur deux leviers : d'une part, la production propre tout au long de la chaîne industrielle et, d'autre part, la gestion et la valorisation des déchets. (Lévy, 2009) Ainsi, plusieurs entreprises mettent en pratique différents concepts de gestion environnementale telles que l'écoconception, la comptabilité environnementale, la gestion des déchets, l'ÉI. Par exemple, une symbiose industrielle s'est établie entre les industries électroniques, telles que Motorola et Samsung, et l'industrie automobile. D'autres actions de mutualisation sont également menées sur le site dans un objectif d'économie d'échelles et

de réduction des impacts sur l'environnement. La symbiose établie dans la gestion et la régénération des eaux usées est également un exemple de réseau d'interrelations qui fait modèle pour de nombreuses villes portuaires de la Chine. Les eaux usées du parc étant fortement chargées, notamment en métaux dus aux activités de traitement de surfaces et de bains électroniques, sont collectées pour être traitées dans une station d'épuration spécifiquement conçue par le parc afin d'adapter le traitement aux caractéristiques propres de cette catégorie des eaux usées. Cette eau traitée est ensuite utilisée de façon cyclique pour d'autres usages du parc. (Lévy, 2009)

En matière de gestion des déchets, TEDA a mis en place un système encourageant les échanges de flux de déchets industriels entre entreprises et ainsi la valorisation de ces extrants. La démarche a débuté par une enquête des déchets solides industriels disponible sur le territoire. Après cette caractérisation, un site d'information sur les déchets/ressources a été mis à disposition de l'ensemble des industriels invitant ainsi à l'établissement de synergies. Une association, le Club de minimisation des déchets, a été créée afin de soutenir ces synergies et encourager les industriels à réduire leur production de déchets et la consommation d'énergie. (Lévy, 2009)

De ces symbioses et de ces mutualisations de ressources, d'infrastructures et d'informations, les enjeux de TEDA en matière d'ÉC sont de faire jumeler différents usages au sein du parc éco-industriel en construisant autour de la zone industrielle un quartier résidentiel, une écoville circulaire. Ainsi, « TEDA s'est déployé comme une ruche d'activités diversifiées, l'écoparc est devenu une ville qui procède des activités du *cluster*, proche du grand port de Tianjin » (Lévy, 2009, p. 80) devenant un modèle de développement écologique destiné à être repris par d'autres villes chinoises, essentiellement celles côtières.

4.2 Territoire dunkerquois

Parmi les projets d'ÉIT menés en France, l'expérience dunkerquoise est considérée comme l'une des plus avancées. Ce modèle d'ÉI est aujourd'hui également mis de l'avant comme étant un territoire pionnier d'une démarche d'ÉC.

Victime d'un passé industriel fort en impacts environnementaux et sur la biodiversité locale, ainsi que d'une crise économique et sociale suite à la désindustrialisation de la région, l'ÉI a été intégrée à la démarche de développement territorial depuis seize ans. Aujourd'hui, la zone industrielle du littoral de Dunkerque regroupe environ 160 entreprises, plusieurs associations telles que le club déchets et Ecopal. Cette dernière est responsable de l'étude du diagnostic territorial et de la promotion des échanges de flux entre acteurs territoriaux. Depuis, différentes synergies industrielles ont été mises en places. Il s'agit essentiellement de synergies de mutualisation pour la collecte de déchets. D'autres synergies,

notamment de mutualisation, sont en études et certains échanges de flux ont d'ores et déjà été diagnostiqués et mis en œuvre. (Baudet, 2013)

Au-delà d'une démarche d'ÉIT et des différentes symbioses organisées sur le territoire, la région du Dunkerquois tente d'allier DD et développement économique grâce au nouveau modèle de circularité. L'existence sur le territoire d'entreprises adhérentes à Écopal et à la démarche d'ÉIT, ayant mis en avant les principes du concept d'ÉC, est un exemple de réussite. Le maillage d'entreprises participantes est également à souligner et regroupe tant des professionnels du recyclage que des entreprises manufacturières parmi lesquelles des entreprises dans le recyclage des pneus usagés, dans la collecte et le tri des vêtements usagés et Rio Tinto Alcan, géant mondial de l'aluminium (France. Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL), 2014).

4.3 L'écologie industrielle territoriale appliquée aux plateformes portuaires des ports de Paris

Le projet d'ÉC sur les plateformes portuaires de Gennevilliers et Bonneuil-sur-Marne a été mis en place par la création de symbioses industrielles et de synergies de sous-produits et de mutualisation. Sur le premier site portuaire, ont été créées, d'une part, une mutualisation des infrastructures, et des bureaux, ainsi que la collecte de déchets et, d'autre part, une synergie de sous-produits des déchets du bâtiment et des travaux publics. Sur la plateforme de Bonneuil-sur-Marne, des synergies de substitution des déchets du BTP et d'eaux industrielles ainsi que de mutualisation de la collecte des déchets d'équipements électriques et électroniques et des déchets industriels banals ont également été créées. Ainsi, de ces synergies plusieurs gains ont été mesurés sur les deux sites parmi lesquels une réduction du transport, un partage des coûts, une économie des ressources naturelles, et enfin un développement du transport fluvial. (Orée, 2015; Laboratoire de Génie de l'Environnement Industriel, 2013)

Inscrites dans la stratégie 2015-2020 du parc, l'ÉC, et de ce fait l'ÉIT, sont considérées comme facteurs d'attractivité et de compétitivité des territoires. (HAROPA - Ports de Paris, s. d.)

5 ÉLABORATION DES DÉMARCHES DE SYMBIOSE INDUSTRIELLE

La section aborde les différentes méthodologies de mise en place d'une synergie spontanée (Kalundborg) versus une synergie planifiée (Bécancour).

5.1 Les facteurs clés d'une démarche d'écologie industrielle

Les notions de SI sont encore floues. Il est difficile pour le moment de statuer sur le cycle de vie d'une démarche de symbiose industrielle (Chertow et Ehrenfeld, 2012), mais l'émergence d'une SI peut influencer sa pérennité. Deux démarches de SI sont à distinguer. La première catégorie de synergies spontanées est la concrétisation d'initiatives d'entreprises, c'est la stratégie dite de *bottom-up*. La seconde découle d'initiatives publiques, non des industriels, via la démarche appelée *top-down*, il s'agit des synergies planifiées. (Massard et Erkman, 2007)

Quatre facteurs de faisabilité (technique, économique, réglementaire et humaine) sont récurrents dans toute démarche d'ÉI. Toutefois, la faisabilité d'une démarche synergique reste différente selon la nature de cette dernière, qu'elle soit spontanée ou planifiée. (Chertow, 2007)

Une démarche spontanée est le résultat d'une volonté personnelle des entreprises de collaborer et tirer profit commun d'une opportunité de marché. Le facteur humain est donc ici le point de départ d'une faisabilité synergique. Les facteurs limitant la démarche et sa pérennisation sont alors d'ordres techniques, réglementaires ou économiques. À *contrario*, une démarche planifiée est une démarche plus réfléchie et structurée de point de vue réglementaire, économique et technique. Elle est le résultat d'une volonté d'un porteur de projet (un ou plusieurs acteurs d'un territoire, acteurs publics, gouvernements ou associations) de développer une telle démarche d'ÉI sur le territoire. Dans ce cas de figure, le facteur limitant est le plus souvent le facteur humain (problème de communication et de coordination des différents acteurs, manque d'intérêt des entreprises, etc.). (Costa et Ferrao, 2010)

5.2 Démarche spontanée de symbiose industrielle

La symbiose de Kalundborg, Danemark, est référée dans la bibliographie comme étant l'expérience d'un métabolisme industriel le plus réussi sur la scène internationale. Plusieurs fois copiée, la démarche reste tout de même difficilement transposable et efficiente pour les autres démarches de SI (Ehrenfeld et Gertler, 1997).

5.2.1 Modèle théorique de mise en place d'une démarche spontanée de symbiose industrielle

À partir de la comparaison des différents parcs éco-industriels, Chertow et Ehrenfeld (2012) élaborent un modèle à trois étapes conduisant à la création spontanée des écosystèmes industriels, dont celui de Kalundborg. Ainsi (Chertow et Ehrenfeld, 2012) :

- des entreprises, poussées par un objectif en communs de gains, en réponse aux opportunités de marchés ou à un cadre réglementaire, tissent des connexions et s'auto-organisent pour échanger des ressources, c'est l'émergence ou *sprouting*,
- en plus des bénéfices économiques engendrés par la collaboration des acteurs à l'étape précédente, des externalités environnementales positives s'observent de façon plus générale; ceci a pour conséquence d'attirer l'intérêt d'autres institutions à étendre les échanges à d'autres acteurs et donc les gains à un niveau géographique plus large; c'est l'étape de dévoilement ou *uncovering*,
- enfin, la démarche initialement spontanée et réunissant un nombre restreint d'acteurs devient structurée, généralisée, coordonnée et dirigée par un organisme dédié, c'est l'étape d'ancrage et d'institutionnalisation ou *embeddedness and institutionalization*.

L'assemblage de ces étapes n'est pas une règle générale, mais dans toutes les expériences étudiées le facteur humain est l'élément *sinequanone* à la réussite de la SI. En effet, le facteur clé dans la réussite de ce modèle réside dans sa première étape soit la participation volontaire et l'implication des acteurs dès le début du projet. Il n'y a alors aucun besoin de prouver aux industriels le bien-fondé et les retombées possibles à s'associer à un projet d'ÉI (Chertow, 2007).

5.2.2 Mise en œuvre de la symbiose industrielle de Kalundborg

L'incitation économique est la principale motivation de la création de la symbiose de Kalundborg. La rareté de la ressource hydrique a été l'élément clé entraînant des négociations privées entre certains chefs d'entreprises de la région de Kalundborg. Dès lors, à l'initiative des entreprises, s'est établie une collaboration entre différents acteurs. Les premières communications débutent dès 1960, lorsque Statoil (anciennement Esso) fait face à un problème d'approvisionnement en eau dont elle a besoin en très grande quantité pour ses opérations de raffinerie. Le partage d'une même idéologie, d'un objectif de gains économiques, jumelé à la proximité géographique a permis la mise en place d'un réseau d'échange des flux de déchets sur le territoire. En vue des différents gains économiques, environnementaux et sociaux, les synergies se sont rapidement étendues à plusieurs autres acteurs du territoire jusqu'à être reconnues, en 1989, comme la première expérience de symbiose industrielle au monde.

Partant d'une démarche spontanée, la SI a été rapidement soutenue par un cadre législatif adapté : un réseau formel et informel d'échanges s'est formé entre différentes entreprises du parc et les instances réglementaires du territoire et a conduit à la création, par les pouvoirs municipaux, de règlements permettant d'employer la SI comme un moyen de gestion des déchets dans un contexte territorial (Jacobsen et Anderberg, 2004). Aujourd'hui la symbiose de Kalundborg regroupe de nombreux acteurs dont huit grandes entreprises publiques et privées, dont certaines internationalement connues (*Kalundborg Symbiosis*, s. d.a).

5.2.3 Les synergies mises en place à Kalundborg

Le réseau industriel de Kalundborg est constitué de six entreprises centrales et de nombreuses entités secondaires. La municipalité de Kalundborg joue un rôle important dans cette symbiose car, au-delà de son pouvoir de légiférer, elle est un acteur à part entière en tant que fournisseur/demandeur de flux de matières, d'énergie et de services (Domenech et Davies, 2011).

Quatre types de flux caractérisent cette démarche comme schématisée en figure 5.1. Les acteurs échangent entre eux en cascade, en plus des flux de matières (déchets) caractéristiques à la démarche d'ÉI, de l'eau, de l'énergie ainsi qu'un flux d'informations et de connaissances (Domenech et Davies, 2011).

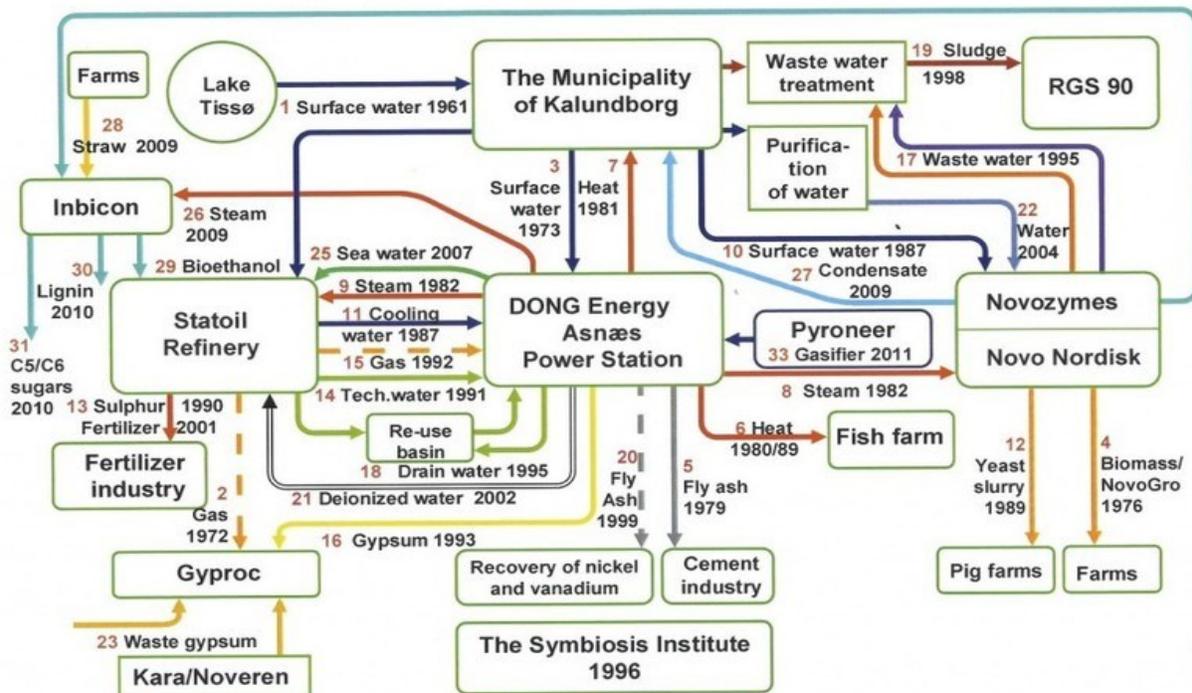


Figure 5.1 Cartographie des flux échangés de la symbiose industrielle de Kalundborg (tiré de : *Kalundborg Symbiosis*, s. d.b)

5.2.4 Les retombées de la symbiose de Kalundborg

Malgré le nombre important d'études portant sur la symbiose de Kalundborg, rares sont les travaux faisant état des retombées de la démarche et de la quantification des gains économiques et environnementaux (Jacobsen, 2006). L'absence d'un consensus sur une démarche d'évaluation en est probablement la cause, mais aussi la conséquence dans les variations des quelques mesures disponibles.

Toutefois, dans une étude plus détaillée des conséquences de la SI, Jacobsen (2006) met en avant les différents gains environnementaux et apportés par les substitutions en matière de consommation de ressources hydriques et d'émissions de CO₂, dioxyde de soufre (SO₂) et d'oxydes monoazotés. De plus, deux catégories de gains économiques sont mises en avant : les gains économiques directs sont les réductions des différents coûts d'élimination des déchets et les gains sur la réduction du prix des MP, tandis que les gains économiques indirects sont liés aux investissements évités, ou la sécurité d'approvisionnement, etc. Pour l'année 2010, les différentes substitutions à Kalundborg ont permis de comptabiliser sur l'ensemble de son territoire (*Kalundborg Symbiosis*, s. d.c) :

- une réduction annuelle en émissions de CO₂ de 240 000 tonnes,
- une économie de 3 millions de m³ d'eau grâce au recyclage et à la réutilisation de la ressource hydrique,
- une valorisation de 30 000 tonnes de paille converties en 5,4 millions de litres d'éthanol,
- un recyclage de 150 000 tonnes de gypse de désulfuration des gaz de combustion (SO₂) et remplacement de l'importation de gypse naturel (CaSO₄),
- un remplacement de 70 % de protéines de soja dans le mélange d'alimentation traditionnelle pour plus de 800 000 porcs par 150 000 tonnes de levure.

5.3 Démarche planifiée de symbiose industrielle développée par le CTTÉI

La symbiose de Bécancour est le résultat d'une démarche d'ÉI planifiée, et coordonnée par le CTTÉI. Sa mise en place a différé du modèle théorique décrit par Chertow et Ehnerfeld (2012) et a nécessité une démarche spécialement conçue au fur et à mesure de l'avancement du projet permettant d'établir une méthode généralisée de mise en place de SI.

5.3.1 Modèle théorique du CTTÉI de mise en place d'une démarche spontanée de symbiose industrielle

La mise en place du projet de symbiose sur le site de Bécancour constitue une démarche unique. Première expérimentation d'ÉI sur le territoire québécois, l'essai de cette symbiose a par la suite permis au CTTÉI une théorisation d'une démarche de création de SI.

À partir des recueils des expériences internationales de SI, une méthodologie d'implantation d'un réseau de synergies a été décrite par plusieurs auteurs. Le CTTÉI a donc suivi cette méthodologie en s'adaptant au fur et à mesure aux difficultés de terrains rencontrées. Tout au long de l'implantation des synergies sur le site, le CTTÉI a développé sa propre démarche en se basant sur les principes d'ÉI, les principes de la *Loi sur le développement durable* du Québec et les enseignements de sa première expérience menée à Bécancour. L'annexe 8 détaille les cinq étapes suivantes de la méthodologie d'implantation d'une SI telle qu'élaborée par le CTTÉI (CTTÉI, 2013) :

- élaboration du projet,
- diagnostic territorial,
- recrutement des participants et collectes de données,
- identification des synergies potentielles,
- mise en place et suivi.

Le cas de la SIB a relevé que la participation et l'implication des acteurs sont difficiles à entretenir si le projet n'émane pas de leurs propres volontés et que les gains économiques, environnementaux ne sont pas mesurables à court terme. Ainsi, la pérennité d'un projet de SI, indépendamment de sa nature spontanée ou planifiée, semble être dépendante de la présence d'un gestionnaire du projet (Markewitz et autres, 2012).

5.3.2 Mise en œuvre de la symbiose industrielle de Bécancour

La démarche de SI à Bécancour est la toute première expérience du CTTÉI de création de synergies de sous-produits (CTTÉI, 2013), mais aussi le plus grand projet de la province en matière d'ÉI. La mise en œuvre de la SIB se présente sur trois phases de 2008 jusqu'à aujourd'hui. Le projet prend naissance lorsque le Carrefour de valorisation des sous-produits industriels de Bécancour, organisme responsable de la gestion des MR de la région de Bécancour et du parc, mandate le CTTÉI pour une meilleure valorisation des résidus industriels (Synergie Québec, 2013). Le projet de SI prend alors naissance en 2008 et la première phase du projet est consacrée à la détection des flux de sous-produits industriels générés par les entreprises du PIPB. Au lancement du projet, douze entreprises du parc acceptent de participer à la première phase du projet de SIB et de divulguer les informations nécessaires à la mise en place des synergies. À partir de sept catégories de matières, un total de 40 synergies ont été proposées pendant cette première étape pour des bénéfices économiques estimés à 1,6 M\$/an et des gains potentiels en carbone de 2 000 teqCO₂/an (Markewitz, 2009). Des entreprises complémentaires aux synergies déjà proposées ont également été suggérées (une usine du secteur papetier, une usine de production de biodiésel, une usine de cogénération et un transformateur de plomb) (Markewitz, 2009).

De 2008 à 2011, le projet est mis en pause. Crise économique oblige, et en absence d'un cadre législatif contraignant incitant à la mise en place du concept d'ÉI sur le territoire québécois, les efforts

de l'implantation de la symbiose ont rapidement été freinés et certaines entreprises du site ont été contraintes de fermer laissant cependant la place à de nouvelles firmes. Le facteur limitant dans les démarches spontanées telle que Bécancour est bien le facteur humain! En l'absence d'une motivation et d'une volonté propres aux entreprises, la cohésion et la collaboration font défaut. Aucune des synergies précédemment proposées n'a donc été concrétisée. De plus, les échanges et la communication entre industriels, par rencontres ou par le site internet (Synergie Québec) créé à cette occasion par le CTTÉI, ont été peu nombreux (Markewitz et autres, 2012).

En 2011, la deuxième phase de projet est lancée et, pour relancer l'intérêt observé des industriels, un poste d'animateur a été créé. Ainsi, depuis 2012, la « SI est donc de type dirigé avec présence d'un animateur dédié au développement des synergies et à leur concrétisation » (Markewitz et autres, 2014, p. 2). Pendant cette seconde phase, certaines des synergies précédemment identifiées se concrétisent en même temps que le CTTÉI continue à rechercher des alternatives pour une gestion optimale et des débouchés de valorisation pour les MR qui n'ont pas trouvé preneurs. Après une mise à jour des données, de nouvelles synergies ont été proposées. L'étendue des synergies recherchées est différente de celle de la précédente phase de projet. En effet, les limites géographiques du projet de SI ont été repoussées au-delà des limites du PIPB pour s'élargir à l'échelle de la région (Verville, 2015b).

Actuellement, le projet est à la fin de la troisième phase de mise en œuvre. Soutenu par la Société du parc industriel et portuaire de Bécancour (SPIPB), le projet regroupe dix entreprises du site et deux entreprises de services, dont la SPIPB, et au total 47 entreprises participent au projet de recherche de nouvelles synergies.

5.3.3 Les synergies mises en place à Bécancour

Les synergies établies dans le cadre de la SIB sont de type 3, selon le classement de Chertow (2000) traité en sous-section 2.3.2.

Pour la première phase de projet, 134 matières ont été proposées par les entreprises participantes. Ces matières peuvent être regroupées selon sept catégories différentes présentées dans le tableau 5.1. Les matières les plus échangées en terme de nombre de synergies sont les catégories huiles et graisses, plastique et caoutchouc ainsi que métal et boue de métal. Cependant, en terme de quantité de matières, l'eau est la catégorie la plus échangée. (Markewitz, 2009)

Selon la méthodologie de maillage des échanges de flux développée par le CTTÉI, 40 synergies, présentées par catégories de matières dans le tableau 5.1, ont été proposées à partir des différentes matières établies lors de la première phase de projet. Une modélisation de synergies potentielles et complémentaires à partir d'entreprises pouvant s'installer sur le site a également été réalisée.

55 synergies supplémentaires seraient potentiellement mises en place si les quatre catégories d'entreprises complémentaires s'installaient sur le site (Markewitz, 2009).

Tableau 5.1 Les synergies proposées selon les catégories de matières en phase 1 de la symbiose industrielle de Bécancour (tiré de : Markewitz, 2009, p. 11)

Catégories de matières	Nombres de synergies	Quantité échangée (t/an)
Eau	1	640 000
Métal et boue de métal	8	3 373
Plastique et caoutchouc	11	1 179
Huiles et graisses	13	286
Papier-carton	4	178
Autre composé inorganique	2	106
Autre composé organique	1	1,5

En phase 2 du projet, de nouvelles matières ont été ajoutées à celles déjà existantes, augmentant le nombre des catégories à 174 matières disponibles sur le site, et 109 autres synergies ont été proposées lors de cette étape pour être mises en places dont 106 synergies de substitution et trois synergies de mutualisations. (Markewitz, 2013). Le bilan actuel des synergies concrétisées entre les entreprises fait état de 29 synergies : 26 échanges préexistants ont été inventoriés auxquels se sont ajoutés trois nouveaux (Markewitz et autres, 2014).

La figure 5.2 résume le résultat des propositions synergiques et les raisons de l'invalidation de certaines, alors que l'annexe 9 schématise le portrait de la SIB.

La proximité géographique est un des facteurs techniques cités par Chertow (2007) comme étant indispensables. Dix des échanges de matières se trouvent à une distance de moins de 50 km, et seulement une catégorie d'échange se situe en dehors des limites du parc. (Verville, 2015a)

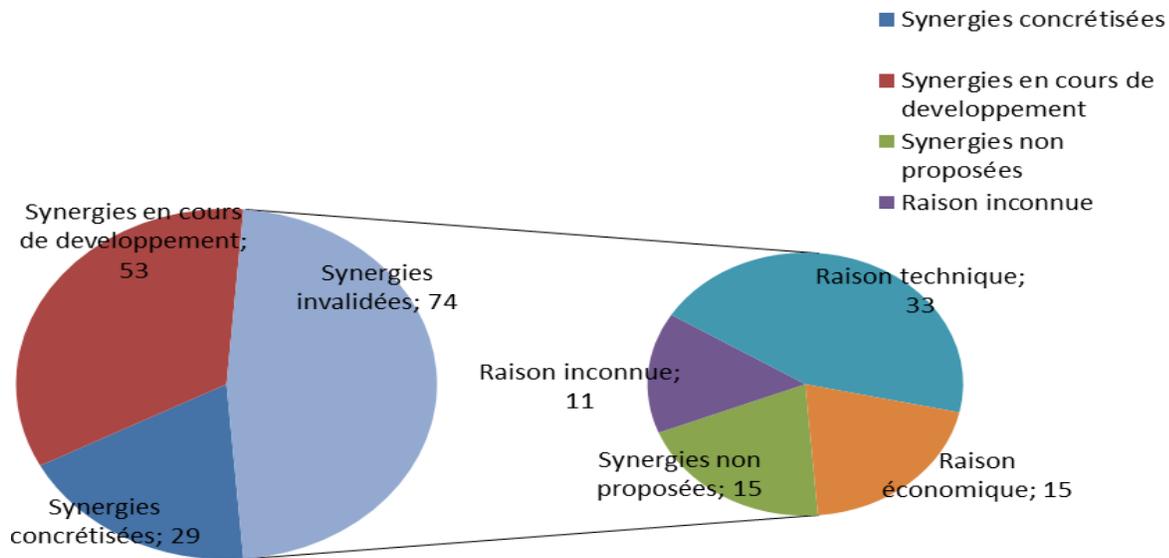


Figure 5.2 État des synergies en phase 2 du projet de SIB et les raisons d'invalidation (tiré de : Markewitz et autres, 2014, p. 4)

Enfin, le tableau 5.2 ci-dessous résume la chronologie de la SI spontanée de Bécancour.

Tableau 5.2 Chronologie de développement de la symbiose industrielle de Bécancour (compilation de : Verville, 2015b; Markewitz, 2013)

Dates	Actions concrétisées
2003	Création du CVSPI
Phase 1 : 2008-2009	<ul style="list-style-type: none"> - Répertoire des sous-produits industriels - Proposition de 40 synergies possibles - Analyse d'entreprises complémentaires pour le site (55 synergies supplémentaires possibles) - Création d'une plateforme d'échange d'informations sur les synergies et MR offertes aux entreprises du parc (Synergie Québec)
Phase 2 : 2011-2013	<ul style="list-style-type: none"> - Recrutement d'un animateur au site de Bécancour - Accompagnement des entreprises - Inventaire de 26 échanges préexistants - Mise en place de trois nouvelles synergies - Recherche de synergies en dehors des limites du parc
Phase 3 : 2014-2015	<ul style="list-style-type: none"> - Accompagnement des entreprises dans la mise en place des synergies - Mise en place de deux nouvelles synergies

5.3.4 Les retombées de la SI

L'engagement des participants au projet de SIB n'est pas spontané; leurs intérêts et leurs implications doivent être motivés par des résultats de synergies concluantes (Markewitz et autres, 2012).

Actuellement, les retombées de la SIB restent difficilement mesurables. Pour y remédier, une méthodologie de calcul de gains a été élaborée afin de caractériser différents impacts des synergies. Un total de six indicateurs, un indicateur économique et cinq environnementaux, ont été retenus (Finlayson, 2014).

Une première catégorie d'indicateurs environnementaux porte sur les dommages évités par la SI, calculés selon une approche d'ACV. Ces mesures portent sur les impacts évités sur la santé humaine, la qualité des écosystèmes, le CC et enfin les ressources. Toutefois, il ne s'agit là que d'estimations et non des mesures réelles de gains. La deuxième catégorie d'indicateurs mesure la quantité de matière mise en valeur permettant « d'évaluer à la fois le volume de matière détourné de l'enfouissement ainsi que conservé dans la boucle d'utilisation » (Finlayson, 2014, p. 64). Enfin, l'indicateur économique mesure la réduction en frais d'élimination pour les vendeurs de MR et le revenu de la vente de cette matière pour les industriels qui s'en départissent. (Finlayson, 2014)

L'annexe 10 énumère les gains estimés pour les synergies concrétisées sur le site de Bécancour. Cette mesure des gains renseigne sur les avantages de chaque synergie mais indique également lesquelles présentent le plus d'intérêts et le plus de retombées. L'étude de gains ayant porté sur 111 synergies identifiées à Bécancour a mis en avant 28 échanges présentant des gains potentiels dans au moins une des deux catégories d'indicateurs; les 83 autres synergies n'ont permis aucun calcul de gains (Finlayson, 2014).

Les gains réalisés par les 28 synergies sont les suivants (Finlayson, 2014) :

- gain économique de 79 000 \$,
- 88 606 tonnes de matières mises en valeur,
- impact environnemental évité sur la santé humaine de $16\,622\,10^{-3}$ DALY (*Disability Adjusted Life Year* ou d'années en bonne santé),
- impact environnemental évité sur la qualité des écosystèmes de 2 422 033 PDF* m²*an (*Potentially Disappeared Fraction of Species per m² per Year* ou fraction d'espèce disparue par m² par an),
- impact environnemental évité sur les CC de 28 614 tonnes CO₂ éq,
- impact environnemental évité sur les ressources non renouvelables de 510 032 GJ (énergie primaire non renouvelable).

6 ÉTUDE DE CAS : PARC INDUSTRIEL ET PORTUAIRE DE BÉCANCOUR

Cette section présente l'outil développé, dans le cadre de cet essai, pour mesurer l'état des lieux et la performance de la symbiose.

6.1 Présentation du cas d'étude : le site de Bécancour

La SIB a été choisie comme cas d'étude, car elle représente la première expérience québécoise de synergies de sous-produits mais aussi le plus grand projet entrepris par le CTTÉI.

Avec une superficie de 7 000 hectares, le PIPB est l'un des plus grands ports en eau profonde du Canada (SPIPB, 2007a). Son activité économique est concentrée dans l'industrie lourde (aluminerie, chimie, transformation des métaux) (Markewitz et autres, 2014). En plus d'une position géographique avantageuse, le site dispose de nombreuses infrastructures industrielles attractives à l'installation de nouvelles entreprises. Par exemple, les approvisionnements du site en énergie et en eau sont plus que suffisants pour couvrir le besoin de l'ensemble des entreprises qui y sont installées. Pour les besoins énergétiques, le site s'alimente de trois réseaux hydroélectriques et d'une station de cogénération. Pour l'eau, en plus d'être relié au réseau municipal d'eau potable, le parc s'est doté d'une pompe d'alimentation directement reliée au fleuve Saint-Laurent et servant aux besoins industriels. (SPIPB, 2007b) Pour les résidus industriels, une gestion mutualisée des MR a été observée sur le site et ce bien avant la mise en place du projet de symbiose, notamment via le « Carrefour de valorisation des sous-produits industriels » dont le mandat est d'optimiser la gestion des MR du site (Synergie Québec, 2013) et qui a depuis laissé place au projet de la SI.

6.2 Vision 2015-2020 de la symbiose industrielle de Bécancour

Le PIPB est le seul port de la province à être une société d'État du gouvernement québécois. Le port est ainsi soumis à différentes contraintes; il est par exemple tenu, en vertu de la *Loi sur le développement durable*, de mettre en œuvre les objectifs de la *Stratégie gouvernementale de développement durable*.

Dans la nouvelle stratégie à l'horizon 2015-2020 (Québec. MDDELCC, 2015), l'ÉI dispose d'une place importante. En effet, le développement de système économique circulaire et d'ÉI font partie d'une des activités incontournables de la stratégie visant l'atteinte de l'objectif « Appuyer le développement des pratiques et des modèles d'affaires verts et responsables » (Québec. MDDELCC, 2015). La promotion d'une culture de DD, mais aussi le développement d'une économie verte et la lutte contre les CC sont au centre des intérêts de la stratégie. La lutte contre le dérèglement climatique est même parmi l'un des plus importants objectifs que s'est fixé le gouvernement québécois. Dans ce sens, le système québécois de plafonnement et d'échange de droits d'émission de gaz à effet de serre (SPEDE) ou

marché carbone créé en 2013 et rattaché en 2014 au système de la Californie a été mis sur pied. De nombreuses entreprises du parc de Bécancour et du projet de SIB y sont soumises. Se pose alors la question de savoir comment les synergies mises en place et à développer permettent de répondre aux enjeux et préoccupations des acteurs du parc de :

- réduire les émissions de GES pour les entreprises assujetties au SPEDE,
- intégrer et mettre en œuvre la *Stratégie maritime à l'horizon 2030*,
- attirer de nouveaux entrepreneurs et entreprises sur le territoire,
- être conforme aux nouvelles dispositions de la *Loi sur la qualité de l'environnement (LQE)* sur le régime d'autorisation environnementale afin de faciliter l'obtention des certificats d'autorisation.

Le choix d'intégrer une notion de DD à la mesure des retombées de la SIB vient répondre à ces enjeux futurs du parc.

6.3 Les indicateurs d'écologie industrielle pour la mesure des retombées du projet de symbiose de Bécancour

L'objectif de la grille d'indicateurs conçue dans le cadre de ce travail est de mesurer les retombées de la SIB. Par la même occasion, il est possible d'évaluer la mise en place de l'ÉC sur le site et de statuer sur le DD du territoire concerné. Les indicateurs du référentiel de la SIB retenus devraient permettre d'évaluer les actions mises en place et les impacts d'une démarche combinée d'ÉI et d'ÉC, notamment pour ce qui est des impacts sur les ressources et la mise en valeur des MR.

La méthodologie d'élaboration de la grille a consisté à prendre connaissance, premièrement, des différentes approches et techniques de mesure déjà employées dans des projets d'évaluation de SI à l'international. Une attention particulière a été portée à la mesure des retombées de la symbiose de Kalundborg. Deuxièmement, une recherche des différents indicateurs en ÉI et en ÉC a été également menée. La section 3 et l'annexe 6 sont le résultat de ce travail. En l'absence de référentiels propres à l'ÉI et l'ÉC, des exemples d'indicateurs mis en place en matière de DD, de développement territorial durable et d'ÉC ont été consultés. Plusieurs référentiels ont alors été étudiés dont quatre ont été retenus pour servir à la construction de la grille. Des travaux d'essais (Dain, 2010, Le Goff, 2012) dans la même thématique ont également été consultés. Ainsi, le choix de la méthodologie de ce travail est justifié par un exercice semblable mené dans le cadre d'un précédent travail de recherche d'indicateurs pour la mesure des retombées d'un projet d'ÉIT (Dain, 2010).

Différentes catégories d'indicateurs de mesure de la SIB ont été retenues mesurant la dynamique du réseau d'acteurs, l'optimisation des flux et de la consommation de ressources ainsi que les impacts de la SIB sur le territoire (France. Commissariat général au développement durable (CGDD), 2014). Chaque

indicateur du référentiel de la SIB est associé à un ou plusieurs sous-critères, lui-même associé à un critère plus global d'ÉC et d'ÉI. Ces critères et sous-critères sont organisés de façon à mettre en avant les piliers de l'ÉC (écoconception, dématérialisation et décarbonisation) et d'en mesurer l'application et les impacts associés sur la SIB.

De plus, comme la finalité d'un tel projet symbiotique est le DD du territoire, les thèmes et les critères sélectionnés sont choisis de façon à répondre aux principes de la *Loi sur le développement durable* ainsi qu'aux exigences de la *Stratégie québécoise de développement durable 2015-2020*, tout en abordant une approche cycle de vie. La grille est ainsi organisée selon une approche triple résultat (ou *Triple Bottom Line*) qui rend compte de la performance de la SI sur les trois piliers du DD.

Les critères et leurs sous-critères associés choisis doivent permettre la mesure des impacts selon ce qui est présenté dans le tableau 6.2 ci-dessous. Les impacts sont à la fois ceux de l'ÉC et de l'ÉI puisque, après recherche et énumération des objectifs de chaque concept, les enjeux de l'ÉI et de l'ÉC semblent communs. De plus, les indicateurs proposés ont été sélectionnés de façon à également répondre aux enjeux futurs du parc en matière de lutte contre les CC, de développement maritime ainsi que de conformité réglementaire.

Tableau 6.2 Critères sélectionnés pour la mesure de l'économie circulaire et de certaines retombées du projet de symbiose de Bécancour (traduction libre et compilation de : Haggar, 2007, p. 92; Dunn et Steinemann, 1998, p. 663; Dain, 2010 et Le Moigne, 2014)

Critères choisis pour la SIB	Impacts associés
Gérer de façon responsable les ressources et la biodiversité	<ul style="list-style-type: none"> -Réduire la consommation des ressources et leurs impacts liés à l'extraction, transport et élimination -Réduire les impacts sur les ressources en eaux et le milieu naturel du parc -Réduire la quantité de déchets produits et à traiter -Mutualiser et réduire l'achat, l'entretien, le transport et le stockage des infrastructures et des propriétés
Dématérialiser l'économie	<ul style="list-style-type: none"> -Développer de nouveaux marchés d'affaires -Améliorer l'efficacité des ressources
Décarboniser l'économie	<ul style="list-style-type: none"> -Améliorer l'efficacité énergétique -Réduire les émissions de CO₂ -Réduire la pollution atmosphérique liée aux procédés et au transport -Réduire les émissions dissipatives -Utiliser des énergies plus propres, moins émettrices de CO₂
Responsabilité environnementale	Améliorer la performance des entreprises

6.3.1 Les référentiels d'indicateurs consultés

Quatre référentiels ont été consultés afin de construire la grille d'indicateurs adaptée à l'objectif de cet essai.

Référentiel 1 : Indicateurs du *Global Reporting Initiative* (GRI)

La dernière version des *Lignes directrices GRI pour le reporting développement durable* a été choisie, car ces indicateurs ont l'avantage d'être applicables à tout organisme afin de mesurer les performances des entreprises dans les trois piliers du DD, soit la performance économique, environnementale et sociale. De plus, ces indicateurs sont également suggérés comme indicateurs complémentaires à la mesure de la circularité des produits et des entreprises selon les travaux de la Fondation Ellen MacArthur (*Ellen MacArthur Foundation, 2015c*). Enfin, ce référentiel permet d'introduire une préoccupation aux enjeux sociaux des projets d'ÉI et d'ÉC faisant défaut dans les référentiels classiques de symbiose et de projet circulaire.

Le DD dans ce référentiel est divisé en six domaines, chacun divisé en plusieurs volets auxquels un ou plusieurs indicateurs de mesure de performance sont associés. Le total des 79 indicateurs du GRI est présenté en annexe 11 (GRI, 2013).

Référentiel 2 : Indicateurs de développement durable territoriaux de la Haute-Normandie

Ce référentiel est formé de 47 indicateurs regroupés en 8 thématiques de DD appliquées à l'échelle d'un territoire permettant d'en mesurer les impacts (Territoires de Haute-Normandie, s. d.).

L'annexe 12 présente la liste d'indicateurs associés à ce référentiel construit sur le modèle des *Indicateurs de développement durable pour les territoires*. Ces indicateurs adaptés aux territoires sont davantage un référentiel qu'un tableau de bord répondant aux enjeux de la *Stratégie nationale de développement durable* visant une « économie verte et équitable » (France. CGDD et Délégation interministérielle à l'aménagement du territoire et à l'attractivité régionale, 2011). Ce choix de référentiel d'indicateurs territoriaux est expliqué par le fait qu'il est attendu que les SI promeuvent le développement territorial. Les indicateurs proposés sont adaptés à la mesure d'état et d'impact sur le contexte de développement territorial sous l'angle du DD.

Référentiel 3 : Indicateurs d'économie circulaire chinoise

La Chine est le pays le plus avancé en matière d'ÉC. Le gouvernement, qui soutient la démarche notamment par un cadre législatif en la matière, a également élaboré différents référentiels d'ÉC adaptés à chaque échelle de sa mise en œuvre (mésoéconomique et macroéconomique).

Les indicateurs de circularité adaptés aux parcs éco-industriels ont été choisis pour servir de cadre de référence dans cet essai en raison de leur applicabilité pour la mesure de performance et d'impacts d'un projet tant d'ÉC que d'ÉI puisque le concept du premier s'accorde avec celui du second (Su et autres, 2012). Comme il a déjà été exposé dans la sous-section 4.2 et présenté en annexe 7, deux catégories d'indicateurs existent pour mesurer l'ÉC et son application par l'ÉI sur les écoparcs chinois; ces référentiels précédemment expliqués ont ainsi servi à l'élaboration de la grille adaptée au projet de symbiose de Bécancour.

Référentiel 4 : Indicateurs d'économie circulaire du Conseil national de l'industrie (CNI)

Ce référentiel est conçu par le CNI afin de mesurer les progrès des actions dans trois axes d'actions de l'ÉC qui sont également les trois piliers du DD soit l'économie, l'environnement et le social. Ce référentiel visant à mesurer les impacts de l'ÉC est composé au total de 45 indicateurs calculés pour la plupart sur la base de ratio. L'annexe 13 énumère les indicateurs d'ÉC proposés aux industriels engagés dans un modèle de circularité. (CNI, 2015)

Ce référentiel a été choisi car peu d'organismes font une liste d'indicateurs adaptés aux projets circulaires; il représente ainsi une des premières expériences dans la mesure des impacts de cette démarche.

6.3.2 Les indicateurs retenus pour l'évaluation de la SIB

Les démarches d'évaluation suggèrent d'employer généralement une vingtaine d'indicateurs tout au plus. Dans le cadre de ce travail, le choix a été fait de porter à un nombre plus élevé étant donné que l'objectif de la démarche est double : mesurer l'évolution des actions de l'ÉC sur le parc et les impacts des synergies.

Deux catégories d'indicateurs sont proposées. Les premiers, des indicateurs d'état, visent à mesurer la performance de la gestion du parc éco-industriel et de la gouvernance du réseau d'acteurs; les seconds mesurent la performance dans les trois piliers du DD (France. CGDD, 2014). Cette dernière catégorie tente, dans la mesure du possible, de faire le lien entre les impacts attendus d'une démarche d'ÉI/ÉC et ceux énoncés dans les différentes stratégies et engagements du gouvernement québécois en matière d'environnement.

Les indicateurs pour l'évaluation du maillage d'acteurs : Gestion du parc éco-industriel et gouvernance

Tout projet d'ÉC et d'ÉI implique obligatoirement la création de SI. Le jeu d'acteurs est donc un fondement à toute démarche territoriale duquel le succès est fortement dépendant. Il est donc important d'évaluer la dynamique à l'œuvre sur le territoire en mesurant ainsi le critère de gouvernance du réseau d'acteurs de la SI. Pour ce faire, deux sous-critères sont à mesurer : il s'agit d'une part de caractériser les acteurs et, d'autre part, la coordination entre eux.

À l'image de l'écosystème, le maillage d'acteurs doit être composé d'un nombre important d'acteurs et d'un réseau diversifié. Ainsi, il sera important de mesurer le taux de participants à la démarche de la SIB depuis le début du projet jusqu'à aujourd'hui et les catégories d'acteurs qui y participent. Cela renseigne à la fois sur la pérennité de la démarche et sur le niveau de résilience de la symbiose. De plus, l'augmentation du nombre de participants démontre le succès de la démarche. Elle traduit également l'implantation dans le territoire d'une responsabilisation et d'un engagement à promouvoir un nouveau modèle de fabrication et un développement soutenable du territoire.

L'implication et le taux de participation des acteurs de la SI déjà inscrits doivent également être mis en avant. Ils sont mesurés notamment par l'intensité de la relation et les fréquences de mises en relation des acteurs. La qualité des relations doit également être évaluée et peut être jugée par l'animateur du parc comme bonne ou mauvaise (Brullot et autres, 2014).

Enfin, la popularité de la symbiose est mesurée en sondant la population avoisinante et en suivant le nombre de publications dans la presse et autres moyens de communication qui lui sont consacrés.

Les indicateurs sélectionnés pour mesurer la performance de la gestion du site sont résumés dans le tableau 6.3 suivant.

Tableau 6.3 Indicateurs retenus pour la mesure de la gestion de la symbiose industrielle (inspiré de : GRI, 2013; Su et autres, 2012, p. 219, CNI, 2015; Dain, 2010 et Territoires de Haute-Normandie, s. d.)

Critères	Sous-critères	Indicateurs retenus
Gouvernance	Acteurs	Nombres d'acteurs participant au projet selon leurs catégories, en phase 1, 2 et 3 : - entreprises - collectivités et institutions - établissements de recherches
		Pourcentage d'acteurs participant au projet par rapport au nombre total d'acteurs sur le site (%)
		Nombre d'acteurs situés au-delà des frontières du parc (>50Km)
	Coordination	Nombre d'acteurs participant dans la gouvernance et la prise de décisions
		Nombre de rencontres annuelles et de suivi entre acteurs
		Qualité des relations entre acteurs (bonne ou mauvaise)
	Promouvoir la popularité de la symbiose	Nombre d'actions de réseautage et de visibilité
Degré de sensibilisation de la population à la symbiose (%)		

Les indicateurs de performance économique

En économie, un seul critère est proposé. Il s'agit de mesurer l'engagement des acteurs dans une économie verte, responsable, durable et qui lui assure un gain économique. Premièrement, il est proposé de mesurer les coûts évités grâce à la mise en place des synergies et les gains économiques provenant, par exemple, de la vente d'un sous-produit. Deuxièmement, un intérêt particulier est porté aux coûts économisés dans les démarches de réduction des émissions de GES. Des indicateurs sont alors proposés pour faire le lien entre les bénéfices économiques et la lutte contre le CC. Ils mesurent de ce fait les coûts évités d'achat pour les entreprises engagées à réduire leurs émissions et les gains économiques de la vente des crédits carbone pour les entreprises les moins polluantes.

Ces indicateurs économiques sont présentés dans le tableau 6.4.

Tableau 6.4 Les indicateurs retenus pour la mesure des retombées économiques de la symbiose industrielle (inspiré de : GRI, 2013; Su et autres, 2012, p. 219, CNI, 2015; Dain, 2010 et Territoires de Haute-Normandie, s. d.)

Critères	Sous-critères	Indicateurs retenus
S'engager dans une économie verte et soutenable	Performance économique	Bénéfices économiques annuels engendrés par : - les synergies de sous-produits - les synergies de mutualisations
	Gains de la réduction des émissions de GES	Bénéfices économiques des démarches de réduction de GES dans le cadre du SPEDE : - coûts évités pour la compensation des GES - bénéfices de la vente du crédit carbone

Les indicateurs de performance environnementale

Les retombées environnementales de SI sont mesurées selon quatre critères qui permettent de juger des impacts positifs de la circulation des flux et de leur fermeture en boucle. Ces critères sont présentés de façon à également refléter l'impact de chaque action et non pas uniquement l'impact de la démarche dans sa globalité (France. CGDD, 2014). Cette façon de faire est avantageuse, car elle permet ainsi de mieux juger de l'avancement de la mise en place des principes fondamentaux de l'ÉI et de l'ÉC.

Le premier critère, « Gérer les ressources et la biodiversité de façon responsable », mesure la performance environnementale, en accord avec le troisième objectif de la stratégie gouvernementale et est subdivisé à son tour en deux sous-critères. Les impacts liés à l'extraction et au transport de nouvelles ressources vierges sont importants; l'objectif primaire d'une démarche d'ÉI et d'ÉC est alors d'adopter une gestion plus efficace de ces ressources. Cela passe en premier plan par la réduction à la source de l'utilisation des ressources primaires non renouvelables aux dépens de ressources renouvelables. Un indicateur doit donc permettre de mesurer le taux de chacune de ces matières consommées par les industriels. Ces matières devant provenir d'un environnement proche, un indicateur mesurera la démarche d'approvisionnement responsable des industriels. Enfin, la réduction passe également par la mutualisation; les infrastructures et les compétences professionnelles (employés) partagées par les acteurs seront alors mesurées.

Dans un modèle circulaire, les ressources primaires non consommées sont remplacées par l'emploi en continu des ressources secondaires qui circulent déjà en boucle fermée dans la chaîne de production et de consommation. La quantité de déchets produits, mais réintégrant le circuit industriel, après une récupération ou une synergie, doit donc être mesurée. Cette quantité de déchets générés, supposée moins importante que dans un système BAU, sera mesurée par la quantité et le taux de déchets

détournés de l'élimination ainsi que le taux de valorisation par rapport à la quantité de déchets produits sur le site.

La prévention est la meilleure stratégie pouvant être abordée par un territoire. Cette approche est importante dans la mesure du second critère environnemental, « Dématérialiser l'économie ». Dans ce sens, les industriels doivent dans une première étape et, à l'amont de leur chaîne de production, concevoir le produit de façon à optimiser son emploi en boucle fermée et l'efficacité des matières.

Cela passe en premier lieu par l'évaluation de la mise en place de l'écoconception de la production exprimée, d'une part, par la mesure de l'efficacité matière et, d'autre part, par la mesure du pourcentage de produits écoconçus mis sur le marché. En seconde étape, dans un contexte de raréfaction des ressources, il est important que les entreprises conservent les stocks de matières en leur possession. La conception des produits doit alors viser le retour des produits en fin de vie de leur utilisation dans le circuit industriel en vendant notamment l'usage du produit plutôt que possession du produit. Dans ce sens, il sera important de mesurer le nombre de démarches sur le site qui ont intégré cette vision d'économie de fonctionnalité dans leur modèle d'affaires. Les entreprises concernées par la responsabilité élargie des producteurs (RÉP), ou ayant engagé une démarche de logistique inverse (démarche de *reverse supply chain*), auront à innover pour réemployer les matières. Leur démarche peut être mise en avant et mesurée. Enfin, l'objectif final de ces démarches et de cette dématérialisation est de maintenir la production matérielle, mais avec un objectif de tendre vers la production de zéro déchet. Ce dernier objectif sera alors mesuré par un indicateur simple qui mesurera la production de déchets sur le site.

Le modèle industriel actuel est fortement dépendant des énergies fossiles et mis en place dans une optique de leur disponibilité infinie, d'où le choix du troisième critère de mesure : « Décarboniser l'économie ». Des mesures doivent être prises pour limiter l'usage des énergies fossiles. Le recours aux énergies renouvelables est alors de première importance, d'où la nécessité d'en faire la mesure. L'impact de la consommation de ces énergies est également très important, contribuant fortement à la question des CC. Par la mise en place des procédés propres et la valorisation énergétique en interne ou par les synergies, les émissions de GES devraient diminuer. Un indicateur renseignant sur la totalité des émissions de GES évités grâce à la récupération ou aux synergies est donc nécessaire. Cependant, cet indicateur ne tient pas compte de la part des émissions provenant du transport de marchandises et de produits. Comme l'étude de ces émissions peut s'avérer longue et fastidieuse, les efforts des entreprises pour mesurer leur démarche vers une économie bas carbone se fera par la mesure des démarches dans la promotion d'un transport durable. La mutualisation des transports routiers et le recours aux autres moyens de transport plus durable sont employés comme indicateurs de décarbonisation.

Enfin, le quatrième et dernier critère à mesurer, « Responsabilité environnementale », est en lien avec les contraintes réglementaires ou environnementales auxquelles est soumis le parc. La participation des entreprises et autres acteurs dans la symbiose n'est pas volontaire et complète.

Ces obligations de conformités sont les incitatifs majeurs de la contribution à une démarche d'ÉI, il sera alors important de mesurer les gains en matières de réduction des infractions et des dépassements aux normes environnementales. Cependant, pour la pérennité des démarches, il est important de voir apparaître au cours du temps une implication et un engagement des acteurs dans la continuité de la démarche et le DD du parc. Ainsi, il sera important d'évaluer ce dernier point en mesurant le nombre d'entreprises engagées dans des démarches de DD et ayant adopté des politiques ou plans en lien avec la question de l'environnement et du DD.

Le tableau 6.5 résume les indicateurs retenus pour la mesure des retombées environnementales de la SIB.

Tableau 6.5 Les indicateurs retenus pour la mesure des retombées environnementales (inspiré de : GRI, 2013; Su et autres, 2012, p. 219, CNI, 2015; Dain, 2010 et Territoires de Haute-Normandie, s. d.)

Critères	Sous-critères	Indicateurs retenus
Gérer les ressources et la biodiversité de façon responsable	Réduire la consommation des ressources primaires et promouvoir les approvisionnements locaux	Pourcentage des achats locaux (%)
		Taux des matières premières non renouvelables et renouvelables consommées (%)
		Réduction de la consommation en eau suite à une synergie ou une réutilisation interne de la ressource hydrique (m ³ évités et %)
		Réduction de la consommation en matières premières suite à une synergie (t et %)
		Biens mutualisés : - nombre de locaux mutualisés (m ³) - nombre de véhicules mutualisés - nombre d'employés - autres infrastructures
	Valoriser les déchets comme ressources	Taux et volume total d'eau (traitée et non traitée) recyclée et réutilisée (m ³ évités et %)
		Quantité de matières (coproduits) réintégrées dans le flux industriel (t)
		Quantité de matières détournées de l'enfouissement (t)
Dématérialiser l'économie	Viser l'efficacité matière et l'innovation	Efficacité des ressources hydriques
		Taux d'incorporation de matières premières recyclées dans les produits
		Efficacité matière ⁽¹⁾ : - Quantité de produits fabriqués / Quantité de MP utilisées - Quantité de déchets produits / Quantité de MP utilisées
		Nombre d'entreprises concernées par un changement dans la chaîne de production suite à une synergie de sous-produit
		Nombre d'entreprises adoptant l'écoconception de produits en vue de leur réutilisation, récupération ou recyclage
		Taux d'écoconception des produits
		Nombre d'entreprises et organismes bénéficiant d'un programme d'économie de fonctionnalité
		Nombre d'entreprises concernées par l'approche RÉP ou ayant engagé une démarche de reverse supply chain/Closed-loop supply chain
Décarboniser l'économie	Réduire les émissions de GES et contrôler la pollution	Part des investissements consacrée à la mise en place de technologie de dépollution et aux CC
		Réduction de l'émission de CO ₂ et autres gaz suite à une synergie ou une réutilisation interne (t eq CO ₂ évité)
		Réduction de l'intensité énergétique consommée
	Favoriser les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique : réduire les émissions de gaz à effet de serre et lutter contre les CC	Taux d'indépendance énergétique
		Part des énergies renouvelables dans la consommation finale brute d'énergie
		Investissements antipollution dans l'industrie
		Taux d'émissions indirectes de GES liées à l'énergie
	Soutenir la mobilité durable	Nombre de synergies pour un transport commun de ressources et marchandises
		Taux de réduction des émissions indirectes de GES liées au transport
		Part modale des transports de marchandises non routiers dans le transport intérieur terrestre de marchandises
Réduction des émissions indirectes de GES grâce au recyclage		
Responsabilité environnementale	Conformité environnementale	Nombre d'amendes en moins depuis la mise en place de la SI
	Engagement pour un développement durable	Investissement dédié au financement de projet de recherches et développement lié à la gestion de l'environnement et de DD
		Nombre d'entreprises de la SIB à disposer de politiques environnementales (politique DD, politique achat responsable)

¹ : CNI, 2015

Les indicateurs de performance sociale

Un projet d'ÉI est avantageux sur plusieurs plans pour les entreprises engagées dans la démarche. Toutefois, il doit également assurer un gain pour le territoire pour ce qui est de l'attractivité du territoire et de la création des emplois. L'attractivité du territoire devrait alors justifier un taux plus important de création d'entreprises sur le territoire comparativement au reste de la région administrative. De plus, un indicateur plus simple permettrait de mesurer la délocalisation des entreprises par le suivi de la variation des nombres d'ouvertures et de fermetures d'entreprises à l'ensemble du territoire.

Avec l'arrivée de nouvelles entreprises, le taux d'employabilité devrait également être en progression. Ainsi, il sera important de mesurer la variation du taux de chômage du territoire. Au sein de la SI, il sera question de mesurer la variation dans le nombre d'emplois. Un intérêt est porté à déterminer ceux qui auront été employés localement et ceux engagés pour des fonctions en lien avec l'environnement et le DD comme preuve d'engagement supplémentaire des acteurs dans leur démarche d'ÉI et de développement territorial. Au-delà de l'employabilité et de la création de valeurs économiques sur le territoire, l'aspect bien-être doit également être évalué.

Le tableau 6.6 énumère les indicateurs retenus pour la mesure de la performance sociale de la SIB.

Tableau 6.6 Les indicateurs de performance sociale retenus pour la mesure des retombées sociales sur le territoire de la symbiose industrielle (inspiré de : GRI, 2013; Su et autres, 2012, p. 219; CNI, 2015; Dain, 2010 et Territoires de Haute-Normandie, s. d.)

Critères	Sous-critères	Indicateurs retenus
Bien-être et développement territorial durable	Augmenter l'attractivité du territoire	Taux d'entreprises sur le territoire par rapport à la moyenne du reste de la région administrative
		Évolution du nombre d'entreprises sur le territoire à la suite de la mise en place de la symbiose : - nombre d'entreprises présentes - nombre d'entreprises créées - nombre d'entreprises fermées
		Évolution du nombre de postes depuis la création de la SI : - nombre d'emplois créés - nombre d'emplois maintenus - nombre d'emplois créés en matière d'environnement et développement durable
		Taux de chômage sur le territoire
		Proportion des cadres et des employés embauchés localement
	Améliorer la prévention et la santé de la population	Nombre de rencontres et d'actions communes en matière de lutte contre CC avec les municipalités avoisinantes
		Mutualisation de programmes d'adaptation aux CC sur site/Plan d'urgence en situation extrême
	Renforcer la complémentarité des initiatives de DD et de lutte contre les CC	Investissements dans les communautés
		Nombre d'entreprises ayant engagé des ateliers de sensibilisation et formation de leurs employés

6.4 Tableau de bord et mesure des retombées de la symbiose industrielle de Bécancour

Dans la mesure du possible, dépendamment des informations disponibles, l'objectif souhaité était de mesurer les retombées du parc éco-industriel de Bécancour selon la grille présentée en annexe 14.

Toutefois, si un référentiel d'indicateurs est ici proposé, son emploi reste encore limité. En effet, les valeurs et les informations recherchées font défaut, du moins pour la plupart. D'autres informations telles que celles sur les bénéfices économiques de la SI sont connues, mais uniquement pour quelques entreprises participantes. Il est alors impossible de juger de l'impact du projet de la SIB sur la performance des entreprises participantes et celui du territoire selon ce tableau de mesure. Le rôle de la SI dans l'élaboration d'un modèle d'ÉC est également complexe.

Cependant, certains gains ont été observés depuis la création du projet conformément aux résultats escomptés par une telle démarche d'ÉI. L'évaluation du projet, qui arrive à sa troisième phase d'expérience, rend compte de certains avancements de la démarche. Au niveau de la gouvernance, il est noté que le nombre de participants au projet a su rester le même depuis le lancement de la SIB, la plupart étant des acteurs du PIPB; seul un acteur est situé en dehors des limites du parc. Le nombre de participants pourrait néanmoins être plus important si des synergies dépassaient les frontières géographiques du parc, 50 synergies en dehors de la limite géographique du parc ayant déjà été relevées (Verville, 2015b). Par le futur, ce nombre pourrait être plus important, étant donné la promotion de la SI via des actions de réseautage et de visibilité en cours.

Pour les indicateurs relatifs à la dimension environnementale, les données sont non disponibles. Bien que les effets positifs d'une démarche d'ÉI sur l'environnement ne soient plus à prouver, il est difficile dans ce cas de les quantifier. Ce manque d'informations est notamment dû à l'absence de mesures obligeant les industriels à divulguer publiquement leurs impacts sur l'environnement. Toutes les démarches de visibilité des entreprises sont à leurs initiatives personnelles. De plus, d'autres informations recherchées sont plus compliquées à collecter et sont inconnues des industriels eux même; c'est le cas par exemple des informations liées au transport de marchandises et à son impact. Enfin, certains indicateurs ici notés en vue de mesurer l'ÉC à Bécancour sont pour le moment non applicables au site ou le sont difficilement. Il s'agit des indicateurs visant à mesurer la dématérialisation de l'économie, plus exactement la dématérialisation par la mise en place de nouveaux modèles d'affaires autres que les SI tels que l'écoconception et l'économie de fonctionnalité. En effet, ces modèles d'affaires sont, actuellement, peu applicables aux catégories d'entreprises déjà installées sur le site. Toutefois, dans la recherche de nouvelles synergies ou de nouvelles entreprises pour s'installer sur le parc, ces deux façons de faire dans le système de fabrication pourraient être envisagées.

La rétrospection sur les résultats de la phase 3 du projet de SIB a permis de mettre en avant certains bénéfices économiques pour certaines entreprises. Des gains de 40 000 dollars et de 550 dollars ont ainsi été mesurés pour deux entreprises du parc bénéficiant de plusieurs synergies (Verville, 2015c). Pour le reste, les valeurs sont des estimations et ne peuvent donc être employées dans la grille. Ces bénéfices économiques ont une influence positive dans la promotion du développement de nouvelles synergies, mais le projet ne peut être pérenne que s'il renforce la durabilité du parc en entier ainsi que celle du territoire. Cette observation peut être cependant assez lente à observer. Dans le cas de Kalundborg, les avantages économiques et environnementaux n'ont été mis en avant et reconnus qu'après plus d'une décennie.

En résumé, la présente grille n'a pas permis de prouver les retombées de la symbiose, mais le travail ici réalisé contribue à élaborer un cadre qui devrait guider les prochaines évaluations du projet. Cet outil d'évaluation peut être critiqué. Par exemple, il peut être jugé comme trop complexe ou nécessitant des informations difficilement mesurables. Toutefois, les enjeux abordés sont orientés sur les impacts recherchés, à court et long terme, qui devront être pris en considération par les entreprises. De plus, cet outil a pour avantage de mesurer la participation des acteurs dans le développement, à plus grande échelle, d'une économie plus responsable et durable. Autre remarque, l'aspect social, faisant généralement défaut, est ici mis en avant. Pour finir, contrairement, à plusieurs autres grilles existantes, celle-ci a pour avantage de présenter la symbiose sous l'angle du DD et d'une ÉC.

À défaut d'utiliser cette grille d'analyse, une évaluation qualitative de ces indicateurs peut être envisagée. Cette appréciation peut prendre la forme d'une boussole d'impacts calquée sur la boussole bernoise de DD. Elle est proposée comme un outil complémentaire dans la mesure des retombées des SI pour dresser les forces et faiblesses d'un point de vue DD, et ce même en l'absence de données quantitatives disponibles. Cette boussole d'impacts des projets de SI permet d'examiner, sur une base semi-quantitative, les externalités des projets d'ÉC et d'ÉI et de juger de l'impact global du projet de la SIB. Comme la réussite d'une symbiose est également dépendante du réseau d'acteurs, le critère « Gestion de la SI » a été incorporé à cette boussole afin de déterminer l'impact de la gestion actuelle sur la réussite des synergies et du projet dans son ensemble.

Cette boussole d'impacts devra être remplie par l'animateur de la SI après consultation des résultats du tableau de mesure des projets de SI. Son analyse repose sur le résultat du tableau de mesure, mais également sur ses connaissances et son appréciation personnelle de la SI et des impacts du projet à l'échelle des entreprises et du territoire.

La boussole d'impacts se présente sous la forme d'un tableau, identique à celui du tableau de mesure. Les sous-critères sont évalués selon une échelle de notation suivante :

- 2 Impact très négatif
- 1 Impact négatif
- 0 Aucun impact ou élément non applicable
- 1 Impact positif
- 2 Impact très positif

Chaque sous-critère est ainsi évalué; il est à noter que lorsqu'un élément n'est pas applicable au projet ou qu'il est considéré comme peu important une note de zéro lui est attribuée. Par la suite, la moyenne de ces sous-critères est calculée et donne une valeur à chaque critère. La moyenne de l'ensemble des critères permet alors de mesurer les dimensions du projet selon les piliers du DD et de gestion du projet de SI. Le résultat de l'évaluation globale peut ensuite être schématisé. (Centre de compétences pour le développement durable dans le canton de Berne, 2008)

Un exemple hypothétique d'une boussole est présenté dans le tableau 6.7 afin de mieux en comprendre le fonctionnement.

Tableau 6.7 Boussole d'impacts des projets d'écologie industrielle et d'économie circulaire (inspiré de : Suisse. Centre de compétences pour le développement durable dans le canton de Berne, 2008, p. 8)

Critères	Sous critères	-2	-1	0	1	2
Gestion de la SI -0,33						
Gouvernance	Acteurs					
	Coordination					
	Promouvoir la popularité de la symbiose					
	Moyenne -0,33					
Environnement 0,83						
Gérer les ressources et la biodiversité de façon responsable	Réduire la consommation des ressources et valoriser les approvisionnements locaux					
	Valoriser les déchets comme ressources					
	Moyenne 1					
Dématérialiser l'économie	Viser l'efficacité matière et l'innovation					
	Moyenne 0					
Décarboniser l'économie	Réduire les émissions de GES et contrôler la pollution					
	Favoriser les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique : réduire les émissions de gaz à effet de serre et lutter contre les CC					
	Soutenir la mobilité durable					
	Moyenne -0,33					
Responsabilité environnementale	Conformité environnementale					
	Engagement pour un développement durable					
	Moyenne 1,5					
Économie 1						
S'engager dans une économie verte et soutenable	Performance économique					
	Gains de la réduction des émissions de GES					
	Moyenne 1					
Social 1						
Augmenter l'attractivité du territoire	Augmenter l'attractivité du territoire					
	Améliorer la prévention et la santé de la population					
	Renforcer la complémentarité des initiatives de DD et de lutte contre les CC					
	Moyenne 1					

6.5 Contribution de la symbiose industrielle de Bécancour à l'économie circulaire?

La vision de l'ÉI au CTTÉI repose sur trois piliers : la production propre, la pensée cycle de vie et la création de SI (ramifier le tissu et faire des circuits courts) (Pinna, 2015). Que l'ÉI soit employée comme synonyme ou bien un modèle de l'ÉC, selon l'objectif voulu et les moyens à disposition, les SI sont respectivement soit un outil parmi d'autres permettant la réduction de l'exploitation des ressources, soit une condition *sinequanone* d'une telle démarche.

Le PIPB est le plus grand projet de synergies de sous-produits sur le territoire québécois. Mais participe-t-il par la même occasion à la mise en œuvre du concept d'ÉC et à quel degré? Pour y répondre, une analyse basée sur le modèle de notation à l'échelle de Likert est menée auprès de deux acteurs/employés du projet de la SIB, soit l'animateur du site et la chargée de projet SI du CTTÉI.

La grille d'analyse est présentée en annexe 15, tandis que la position générale sur la question est schématisée dans la figure 6.1. Les paramètres d'analyse sont un brassage des concepts fondamentaux d'ÉC tels que définis par la Fondation Ellen MacArthur et l'ADEME, confrontés ainsi à ceux mis en œuvre dans le cadre du projet de la SIB. Le résultat de cette évaluation est présenté dans la figure 6.1.

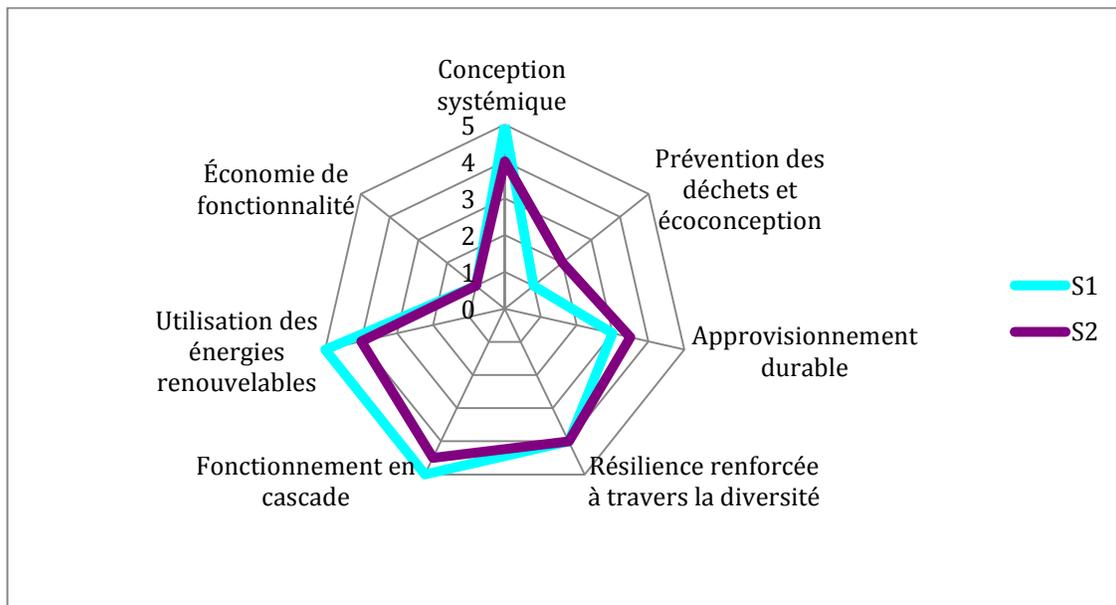


Figure 6.1 Résultat de l'appréciation de la démarche d'économie circulaire sur le site de Bécancour

À partir des réponses des deux sondeurs, l'animateur du site et la chargée de projet SI du CTTÉI (Verville, 2015d; Pinna, 2015), il est observable que les principes d'ÉC, dans la globalité, sont déjà mis en œuvre sur le site grâce à la mise en place du projet de SI. La conception systémique, le

fonctionnement en cascade font partie des actions déjà implantées. En effet, les flux de matières et d'énergie sur le parc ont déjà été analysés dans leur ensemble, selon une approche systémique.

L'étude du métabolisme a été réalisée pour évaluer, en fonction des intrants et des extrants, les entreprises à développer afin d'assurer un fonctionnement en cascade des acteurs du parc. L'objectif de cette démarche est de développer à l'échelle du site des boucles locales où les flux de matières résiduelles d'une entreprise peuvent être mis en valeur par une autre, et ce en attirant dans le territoire de nouvelles entreprises qui seraient ainsi complémentaires à celles déjà installées. Dans une approche toujours systémique, certaines entreprises ont intégré une approche préventive et de dialogue avec la population en effectuant des études d'impacts et des consultations publiques afin de jumeler à leurs actions bénéfiques économiques et préoccupations environnementales et sociales.

Actuellement, trois synergies fonctionnent en boucle fermée. Par exemple, un flux de vapeur est échangé entre la centrale de cogénération de Transcanada Énergie qui fournit l'entreprise Olin qui, à son tour, fournit sa vapeur résiduelle à Arkema. Olin participe également à un échange de flux d'hydrogène dont elle transmet la partie résiduelle à Hydrogénal qui, après conditionnement, le transfère à Arkema et à d'autres entreprises. Hydrogénal agit de plus comme intermédiaire entre les deux dernières entreprises en régulant le flux d'hydrogène, puisqu'elle est en mesure également de produire de l'hydrogène si le flux entre les deux entreprises s'avère insuffisant. Ce fonctionnement en cascade n'est toutefois possible que grâce à la diversité des acteurs engagés dans les échanges synergiques. En effet, le projet industriel regroupe un réseau d'acteurs diversifié œuvrant dans différents secteurs tels que l'électrometallurgie, la chimie industrielle et l'agro-industrie; c'est notamment ce maillage dense et varié qui a permis à la symbiose de s'adapter à la fermeture de l'entreprise Norsk Hydro face à la compétition du marché chinois.

Le recours aux énergies renouvelables est également pratique courante sur le site de Bécancour : l'électricité consommée par certaines entreprises est d'origine hydroélectrique et l'entreprise Cepsa Chimie Bécancour valorise la chaleur résiduelle de son procédé pour produire à l'interne son électricité. L'application de ces différents principes d'ÉC permet au parc éco-industriel d'adopter une gestion plus responsable des ressources, bien que le principe d'approvisionnement responsable n'ait pas été évalué comme tel. En effet, des efforts visant à restreindre l'emploi de MP à la source ne semblent pas être suivis par les industriels du parc. Toutefois, les efforts de mise en valeur des résidus, de production interne d'électricité et de consommation d'énergie renouvelable s'accordent avec celui de diminuer l'impact industriel en amont de la chaîne de fabrication et les pressions imposées sur les ressources.

Cependant, deux principes d'ÉC ne sont pas mis en place par les pratiques des industriels du parc de Bécancour : écoconception et économie de fonctionnalité. En effet, il est difficile de faire correspondre

ces concepts avec les principales activités du parc (la production primaire d'aluminium, la production d'huile végétale et la production de produits chimiques industriels intermédiaires). Toutefois, l'écoconception n'est pas complètement inexistante du site. À défaut de concevoir les produits en amont de la chaîne de production, les industriels participants à la SIB ont engagé à l'interne, au niveau microéconomique, d'autres stratégies circulaires.

L'approche préventive du modèle d'ÉC passe par la mise en application, au niveau de chaque industrie, de deux stratégies soit l'écoconception et la production propre. Or, ces deux manœuvres sont indissociables. En effet, la production propre comprend trois pratiques interdépendantes : prévention de la pollution, réduction de l'utilisation toxique et conception pour l'environnement (DfE) (Van Berkel et autres, 1997). Ainsi, l'écoconception sur le site de Bécancour, et de façon générale dans les projets du CTTÉI, passe par la conception et l'adaptation des chaînes de production dans un souci de production propre. De plus, ce principe est également mis en place lorsque certains flux de MR sont mis en valeur dans la conception de nouveaux produits et de nouvelles chaînes de fabrication.

En conclusion, il est possible d'affirmer le rôle joué par la SIB dans la participation d'une démarche d'ÉC par la mise en place des piliers de l'ÉI du CTTÉI (production propre, création de boucles locales et mise en valeur des résidus), ainsi que l'approche cycle de vie. Cette évaluation semi-quantitative complète la grille élaborée à la section précédente quant à l'avancement de la mise en place des principes de l'ÉC sur le territoire de Bécancour. Malgré l'absence de valeurs chiffrées, il est tout de même possible d'affirmer que la SIB participe à un développement durable de son territoire et est actrice dans le changement de paradigme qu'impose l'ÉC. Ce ne sont pas l'ensemble des piliers de l'ÉC qui peuvent être appliqués sur le même territoire; l'économie de fonctionnalité, l'écoconception, ne peuvent être mises en application compte tenu de la nature des entreprises qui y sont implantées. Toutefois, grâce à la production propre, à la création de SI qui permettent la valorisation des résidus, la SIB assure un fonctionnement circulaire de ses flux de matières et d'énergie.

Cette analyse présente quelques limites. Bien qu'elle permette de situer l'implication du parc de Bécancour et les impacts du projet de la SI sur le développement de l'ÉC, les conclusions restent plus ou moins subjectives car elles sont l'expression d'un avis personnel à chaque sondeur.

L'étude permet néanmoins de positionner le rôle de l'expérience du centre dans la participation au développement d'une société plus circulaire. La création des SI, la conception d'une chaîne de production propre ainsi que l'application d'une approche ACV dans la mise en valeurs des résidus assurent sur le site un transfert des flux de matières et d'énergie en boucle fermée et selon un cycle court et met ainsi en place l'ÉC.

L'application, présente et future, de l'ÉC par les projets d'ÉI menés par le centre peut être résumée et traduite par la figure 6.2.

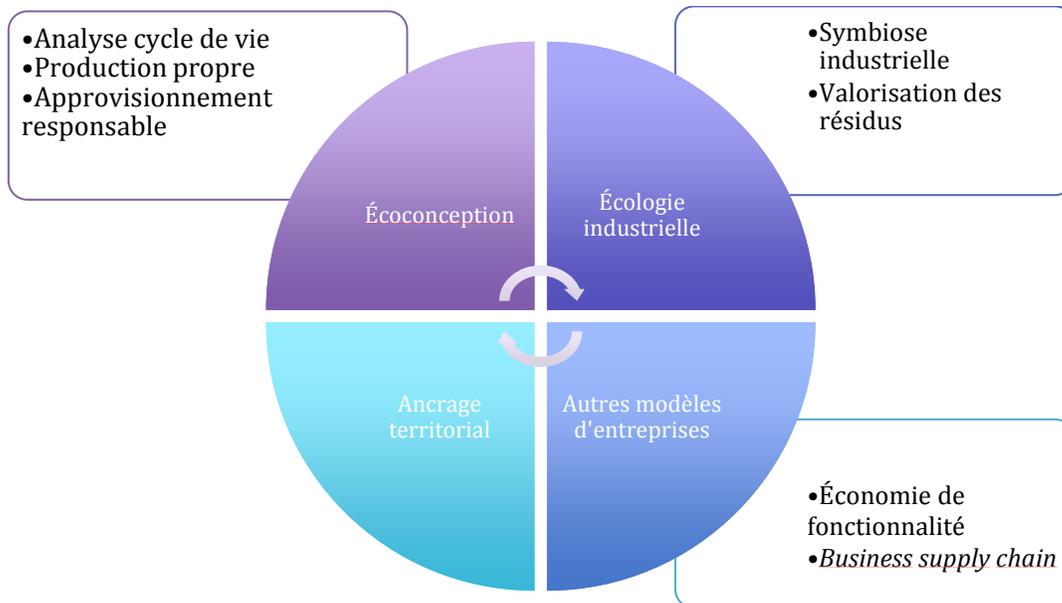


Figure 6.2 Schéma de l'écologie industrielle et de l'économie circulaire proposée au CTTÉI

7 ANALYSE CRITIQUE ET RECOMMANDATIONS

Cette section traite de l'arrimage entre la théorie de l'ÉI et de l'ÉC au moyen d'une analyse critique, avant de se terminer par la formulation de recommandations adressées au CTTÉI et au gouvernement québécois pour promouvoir et soutenir les deux démarches.

7.1 Analyse critique : une comparaison de point de vue conceptuelle de l'écologie industrielle et de l'économie circulaire

Comme précédemment exposé, il est difficile de lier deux concepts, l'ÉC et l'ÉI, alors que des définitions standardisées font encore défaut, notamment pour l'ÉC. Le tableau 7.1 résume brièvement certains éléments de comparaison entre les deux concepts.

L'une des limites de ce travail réside dans la subjectivité de l'analyse qui est le résultat d'interprétations de l'auteur de l'essai.

❖ ÉC et ÉI, des parallèles

ÉI et ÉC : deux concepts distincts ou un même concept sous deux appellations différentes? Plusieurs auteurs (Yuan et autres, 2006) avancent que l'ÉC et l'ÉI sont deux concepts assimilés, le premier prenant ses origines dans le second. Une cartographie menée par le CIRAIG (2015) afin de déterminer les concepts qui fondent l'ÉC démontre que ce modèle circulaire est en majorité inspiré du concept C2C suivi par celui de l'ÉI. Selon cette analyse, l'ÉC et l'ÉI sont toutes deux basées sur l'interdépendance et la cocréation entre acteurs (*systems thinking*), membres d'un réseau diversifié (*diversity is strength*), et qui collaborent par un échange de matières de façon à ce que le déchet de l'un serve de ressources pour le second (*waste is food*). L'écoconception (*design out waste*) et la promotion de l'énergie renouvelable de l'ÉC sont moins communes à l'ÉI (CIRAIG, 2015). Cependant, il s'agit de deux applications promues par les principes de la théorie de l'ÉI, telle que déjà exposé en sous-section 2.1, même si elles ne font pas partie des premières actions engagées dans un projet de SI.

D'un point de vue conceptuel, les modèles d'ÉI et d'ÉC révèlent plusieurs points communs. Tous deux ont émergé avec le constat que le modèle économique actuel, qui repose sur la consommation illimitée de ressources limitées, ne peut être soutenable. ÉI et ÉC sont alors une mise en application du concept de DD puisqu'ils proposent un nouveau système industriel et un nouveau mode de consommation et de production qui assure à la fois le développement des générations actuelles et futures. L'enjeu commun est alors de remplacer l'économie de fabrication en place depuis la révolution industrielle par un nouveau modèle industriel dans lequel les flux de matières et d'énergie sont en boucle fermée.

L'objectif principal de ce changement de paradigme est la dématérialisation, autrement dit, le découplage croissance économique et consommation de ressources. Plusieurs sous-objectifs secondaires

sont également recherchés : gestion optimale des déchets, décarbonisation, et éco-efficacité du système industriel. Pour ce qui est de la mise en œuvre, l'échelle d'application de ces deux concepts est également identique et peut concerner une entreprise, un réseau d'entreprises ou être plus globale et s'étendre à un niveau régional/national. Selon l'échelle à laquelle ces deux concepts sont appliqués, les outils proposés sont également communs : écoconception, ACV, analyse des flux de matière et d'énergie, symbiose industrielle, synergie industrielle, approvisionnement et consommation durable, production propre, économie de fonctionnalité et recours aux énergies renouvelables.

Autre similitude, la mesure de la performance des projets d'ÉC et d'ÉI repose sur la même méthodologie et des indicateurs communs. Actuellement, les indicateurs existants en ÉC sont identiques à ceux de l'ÉI, mais tendront, à l'avenir, à être davantage employés comme indicateurs complémentaires au détriment d'indicateurs de circularité spécifiquement conçus pour mesurer la circularité et l'engagement des entreprises dans ce nouveau modèle économique (CIRAIG, 2015; *Ellen MacArthur Foundation*, 2015c).

❖ ... mais aussi des différences

La mise en pratique complexifie également la comparaison. En effet, bien que l'ÉI soit fondée sur des principes tels que l'écoconception, la consommation responsable, elle s'est limitée dans la pratique à la mise en place de boucles fermées de flux de matières sur un territoire où les déchets des industriels servent d'entrées à d'autres. ACV, DfE, économie de fonctionnalité sont apparus à la suite de l'émergence du concept d'ÉI pour soutenir ce dernier principe. Ainsi, de la théorie à la pratique, l'ÉI est passée d'une stratégie de maturation, visant l'efficacité matérielle et énergétique de l'ensemble du système économique, à une circulation des flux en boucles fermées à l'échelle d'un territoire.

Bien que fortement semblables, ÉI et ÉC se différencient à plusieurs niveaux. Tout d'abord, si tous deux sont des stratégies de dématérialisation, les deux concepts ont acquis des objectifs distincts, mais complémentaires. Ainsi, l'objectif principal de l'ÉC vise à faire plus avec moins, en d'autres termes, maintenir une production égale à celle actuelle, mais en priorisant la réduction à la source de la consommation des ressources. Cet objectif nécessite donc de concevoir dès le départ les produits et les services; l'ÉC traite le problème en amont de la chaîne de production contrairement à l'ÉI qui est une approche en aval axée sur la mise en valeur des résidus. Par la suite, l'intérêt des manufacturiers à adopter un concept par rapport à un autre est différent. L'objectif du modèle circulaire est l'éco-efficacité tandis qu'en ÉI prime l'éco-efficience et le gain économique (CIRAIG, 2015). Pour cela, le premier concept place la conception systémique (*systems thinking*) et le design comme les principaux fondements alors que l'ÉI repose sur la création des synergies les plus rentables.

Enfin, le succès des démarches s'observe à des échelons différents. Ainsi, l'ÉI trouve son application dans le domaine industriel alors que l'ÉC peut être plus généralisée et concerne un plus grand nombre de parties prenantes, tant les manufacturiers, les consommateurs, les pouvoirs publics que les chercheurs scientifiques.

❖ Et des liens avec le développement durable

L'ÉC est une école de pensée alors que l'ÉI est davantage une nouvelle « science » soutenue par un cadre scientifique. Ce modèle circulaire est plus une remise en question des modes de consommation et de production. L'ÉC est alors un système de pensée qui doit être guidé par les pouvoirs publics à destination des industriels et des consommateurs pour changer de paradigme sur les façons de produire et de consommer de la société actuelle et se tourner vers une société fondée sur une culture du recyclage. Pensée comme stratégie de dématérialisation, l'ÉC vise essentiellement la réduction de la consommation des ressources; cette particularité peut se faire en appliquant idéalement l'ensemble des concepts rattachés ou se limiter à l'application de certains aspects. Ainsi, menée par les industriels, l'ÉI n'est qu'une étape parmi d'autres dans la mise en place d'un modèle économique circulaire où le mot d'ordre est la valorisation de déchets en une nouvelle ressource. Cette initiative démontre, en plus de la participation des manufacturiers à promouvoir un développement durable sur leur territoire, un engagement profond à développer une société plus soutenable.

L'ÉC est alors un nouveau modèle économique optimal et plus soutenable vers lequel doivent tendre les générations actuelles et futures. Cet idéal économique invite à un changement de paradigme dans la façon de produire et de consommer afin d'assurer l'accessibilité des ressources et de limiter les externalités d'une économie de fabrication. Un peu comme le DD, l'ÉC est un modèle qui propose de jumeler croissance économique et protection de l'environnement.

L'ÉC et le DD ne doivent toutefois pas être confondus, car l'aspect social fait défaut en ÉC qui se concentre essentiellement sur la performance environnementale et économique d'une entreprise ou d'une société. Au niveau social, seul le gain en main d'œuvre est présenté, indépendamment de l'intérêt au bien-être de la société. Ce nouveau modèle économique adopte une approche plus anthropocentrique.

L'ÉC est, à l'image du DD, une vision d'un modèle économique idéal dont l'ÉI ne serait qu'un modèle d'affaires, un outil de mise en œuvre pratique (CIRAIG, 2015). Les SI, qui sont également une mise en pratique du concept d'ÉI, sont un outil important en ÉC car les différents autres sous-concepts (écoconception, consommation responsable, production propre, recyclage et valorisation des déchets) ne peuvent être mis en place en silos.

Enfin, l'échelle d'intervention du concept d'ÉC est davantage d'ordre national, portée par des programmes et des démarches gouvernementales, tandis que l'ÉI est limitée à l'utilisation efficace des ressources locales, à l'échelle d'un territoire industriel.

❖ Des applications à différentes échelles

Le modèle d'ÉC circulaire peut être porté à trois niveaux, sa mise en application diffère donc selon cette échelle; et il en est de même pour l'ÉI. Au niveau microéconomique d'une entreprise, elle passe par des démarches d'écoconception, de DfE, de production propre; penser le produit de façon à optimiser en premier lieu sa réutilisation, son recyclage, sa valorisation afin de le réintroduire, en cercle fermé, dans la chaîne de production. Au niveau mésoéconomique, l'ÉC revient à mettre en application l'ÉI dans sa définition de circulation des flux entre différents acteurs. Cette circulation peut aussi bien être interne, entre industriels et recycleurs ou à l'échelle interentreprise soit les SI. Les SI sont une forme particulière d'ÉI dont l'application est limitée à l'échelle interentreprise; elles sont ainsi une stratégie de développement de l'ÉC à l'intérieur d'un réseau d'acteur d'un parc éco-industriel. Le troisième niveau d'application de l'ÉC est plus global et met en avant les écovilles dont le concept est en pleine expansion notamment en Chine.

❖ Des pratiques différentes à l'international

De façon générale, l'ÉC semble limitée et axée sur la gestion des déchets, sur le recyclage plutôt que la réutilisation. Mais l'application du concept à l'international diffère d'une politique à une autre. De l'analyse des modèles d'ÉC à l'international, deux catégories de liens entre l'ÉC et l'ÉI peuvent être isolées. Dans la première catégorie, les deux peuvent s'apparenter à un concept unique et il s'agirait donc de deux termes employés pour décrire une même idéologie. En effet, l'ÉI est utilisée en Chine pour mettre en œuvre l'ÉC à différentes échelles territoriales, allant du simple parc écologique à l'échelle d'une ville. Le modèle circulaire chinois est ainsi axé sur le recyclage et la gestion des déchets, mais également l'efficacité énergétique. Un consensus est cependant partagé que l'ÉC ne doit pas être restreinte à la simple gestion des déchets industriels. Cette démarcation est de plus nettement observable dans le modèle promu par la Fondation Ellen MacArthur et le gouvernement français. Dans leurs approches, l'ÉC emploie l'ÉI comme un modèle parmi de nombreux autres complémentaires (Accenture, 2014). Dans ce sens, ÉC et ÉI ne peuvent alors être confondues ou employées comme synonymes, mais l'ÉI concourt à développer une société d'ÉC.

Là encore, des distinctions peuvent être observées, car aucun modèle de circularité ne peut être commun ou transposable. Par exemple, le modèle promu par la Fondation Ellen MacArthur met davantage l'accent sur le principe de précaution et de prévention en priorisant le concept d'écoconception et utilise pour cela l'ÉI, ou il serait plutôt plus juste de parler de SI, comme outils pour faire circuler les flux en boucle fermée. Son application est de plus restreinte au champ industriel.

Enfin, le modèle circulaire français se démarque des autres approches, car il va plus loin que la simple mise en œuvre de projet de SI et attribue à la démarche d'ÉC un aspect social. Le changement de paradigme qu'impose l'ÉC n'est plus uniquement soumis aux industriels, mais les recycleurs, les consommateurs, ainsi que les instances gouvernementales sont également acteurs à part entière de cette révolution économique. L'ÉC va alors au-delà de la simple efficacité des ressources, gestion des déchets et de la création des SI et introduit un modèle d'affaires basé sur l'économie de partage. L'ÉC devient alors davantage une philosophie de pensée qu'une mise en œuvre de SI et d'autres concepts écologiques.

❖ Un contexte québécois adapté

Dans la mise en place du modèle circulaire, la Chine adopte une stratégie de *top-down* porté par un cadre législatif de mise en œuvre de l'ÉC comme stratégie économique nationale. À l'opposé, plusieurs expériences européennes émanent d'initiatives d'industriels, d'organismes environnementaux, etc. trouvant dans certains pays, tel qu'en Allemagne, un cadre législatif facilitant ces démarches grâce à des lois qui restent toutefois orientées vers la gestion des déchets et encourageant le recyclage. En France, les démarches d'ÉC sont également des initiatives de *bottom-up* malgré un cadre législatif des déchets pénalisant, limitant la MR au statut de DU et empêchant ainsi sa mise en valeur. À l'opposé, le contexte québécois s'annonce plus opportun : le déchet dispose du statut de MR pouvant être mis en valeur selon la hiérarchie des 3R et les démarches d'ÉI et d'ÉC sont des initiatives de *bottom-up*.

❖ En résumé,

L'emploi actuel des concepts d'ÉC et d'ÉI est assez flou, la limite entre les deux étant difficilement établie. L'ÉC ou l'ÉI version 2.0? Fondée sur les mêmes idéologies, l'ÉC est une refonte du concept soutenu par l'avancement technologique qui a permis d'étendre le champ d'application de l'ÉI classique (Beulque, 2014). Le modèle circulaire est ainsi une stratégie de maturation du système industriel. Dans son application classique, l'ÉI a été limitée à l'échelle mésoscopique où il est question d'adapter sa production et ses produits afin de mieux gérer ses déchets. Dans une perspective plus globale et au niveau macroscopique, l'ÉI concourt à améliorer l'efficacité des matières et de l'énergie dans l'ensemble du système économique, et c'est cette vision qui est également aujourd'hui portée par l'ÉC.

Ainsi, il est possible de conclure que le modèle soutenu de l'ÉC est une mise en application du concept d'ÉI à une échelle macroscopique, permettant au système industriel de tendre vers un système plus mature, proche des modèles de l'écosystème naturel. Dans sa mise en œuvre, l'ÉC met en place l'ÉI dans son usage classique actuel, les SI, qu'il soutient par l'émergence d'autres concepts telles l'écoconception, l'économie de fonctionnalité. Ainsi, mettre en place un modèle d'affaires d'ÉC ou d'ÉI à l'échelle macroscopique revient au même. Toutefois, il est préférable d'éviter l'amalgame et

d'employer EC et EI au même niveau afin d'éviter toute confusion. Et pour cause, l'EC peut s'apparenter à un modèle d'EI instaurée à grande échelle territoriale, la nation, mais ce modèle circulaire introduit également de nouveaux modèles d'affaires spécifiques et encore émergents tels que l'économie sociale et l'économie de partage.

Tableau 7.1 Comparaison des différents concepts d'écologie industrielle et d'économie circulaire
(inspiré de : Seuring, 2004, p. 314; ADEME, 2015a et *Ellen MacArthur Foundation*, 2013a)

	Écologie industrielle	Symbiose industrielle	Économie circulaire (modèle de la Fondation Ellen MacArthur)	Économie circulaire (modèle français)
Principes fondamentaux	<ul style="list-style-type: none"> - Consommation d'énergie optimisée - Production de déchets minimale - Fermeture des cycles : les déchets d'un processus servent de matière première pour un autre processus. 	<ul style="list-style-type: none"> - Relation symbiotique entre industriels visant à réduire l'impact environnemental et à améliorer l'efficacité des procédés industriels 	<ul style="list-style-type: none"> - Prévention des déchets - Résilience renforcée à travers la diversité - Utilisation des énergies renouvelables - Conception systémique 	<ul style="list-style-type: none"> - Approvisionnement durable - Écoconception - Écologie industrielle et territoriale - Économie de la fonctionnalité - Consommation responsable - Allongement de la durée d'usage - Recyclage
Principes complémentaires	<ul style="list-style-type: none"> - Écoconception - Économie de fonctionnalité - Efficacité des ressources 	-	-	-
Particularité	Approche géographique et une application régionale	Approche géographique/territoriale	Approche globale	Approche globale
Réseau d'acteurs	Compagnies, municipalités organisées en un réseau de SI	Compagnies, municipalités organisées en un réseau de SI	Compagnies et recycleurs	Compagnies et consommateurs
Limites du concept	Application restreinte à la mise en place de SI pour une meilleure valorisation des déchets	Faisabilité humaine et technique	-	Difficulté à appliquer à toutes les échelles simultanément

7.2 Recommandations

Des recommandations sont adressées au CTTÉI et au gouvernement pour promouvoir la mise en place des deux concepts d'ÉC et d'ÉI.

7.2.1 Recommandations au CTTÉI

Un total de huit recommandations sont adressées au CTTÉI.

- ❖ Recommandation 1 : Promouvoir le rôle et la participation du CTTÉI dans la mise en place d'un modèle d'ÉC

L'ÉC est actuellement un thème « à la mode »! Il est employé par les économistes, les politiciens, les industriels et autres intervenants à outrance et sans discernement alors que les fondements de ce concept restent encore mal définis. Ainsi, il est primordial, avant de donner plus d'ampleur et de reconnaissance à ce concept, de s'entendre sur un contexte scientifique bien fondé et de parvenir à un consensus sur la définition, le lexique et les principes qui fondent l'ÉC. Bien entendu, l'économie est propre à chaque contexte, un seul modèle économique circulaire ne peut être transposable et efficace de la même manière. Cependant, d'une définition partagée et commune, les gouvernements et les acteurs pourront s'approprier le concept pour l'adapter au contexte dans lequel il est mis en place.

Comme il a été démontré, le CTTÉI est acteur dans la démarche d'ÉC grâce à la création de projets de SI. De plus, étant *leader* en ÉI au Québec et sous son statut de centre de recherche, il est recommandé au centre d'intégrer, publiquement, la démarche d'ÉC comme concept complémentaire à celui de l'ÉI. Loin d'être un terme visant à remplacer celui de l'ÉIT ou de la SI, l'ajout de la mention ÉC donnerait davantage de visibilité au CTTÉI et aux projets qu'il mène.

Pour faire valoir sa contribution dans le développement d'une société d'ÉC, différentes mesures peuvent être envisagées pour le CTTÉI.

Premièrement, le centre pourrait se munir d'une définition personnalisée d'ÉC qui lui est propre et qui positionne sa participation à la mise en place du modèle d'ÉC à l'échelle globale grâce à la mise en place de projets de SI. Tout d'abord, une proposition de définition du concept d'ÉC est ci-dessous proposée :

Dans sa perspective globale, l'écologie industrielle vise à concilier croissance économique et efficacité des ressources et ainsi promeut un développement durable alliant économie, préservation de l'environnement et bien-être social, à l'image d'un écosystème mature. L'économie circulaire est une application de cette définition de l'écologie industrielle. Au

niveau du système industriel, une croissance économique circulaire repose sur plusieurs stratégies qui s'appliquent tout au long du cycle de vie d'un produit ou d'un service et met donc en pratique l'écoconception, la circulation des flux de matières et d'énergie en boucle fermée grâce à la symbiose industrielle et aux synergies industrielles, l'économie de fonctionnalité, la consommation collaborative, le principe des 3R et la mise en valeur de MR. Guidé par les gouvernements, ce nouveau modèle de production et de consommation met à contribution tant les industriels et les manufacturiers que les consommateurs.

Deuxièmement, la contribution du CTTÉI à un modèle économique circulaire peut ainsi être formulée :

L'ÉC au CTTÉI est mise en place à travers des projets d'ÉIT selon une approche cycle de vie. En amont de la chaîne de production, la production propre implique de concevoir le système industriel de façon à réduire ses externalités négatives sur l'environnement. Par la suite, la création de symbioses industrielles contrôle les flux de matières et d'énergie d'un territoire en vue de leurs circulations en boucles fermées entre différents acteurs locaux de ce territoire. En fermant les cycles de flux de matières et d'énergie, les synergies de sous-produits, mais également les synergies de mutualisation permettent de limiter la consommation de ressources primaires et la valorisation des sous-produits, contribuant ainsi à développer une économie efficace en consommation de ressources, une économie circulaire.

Troisièmement, le CTTÉI pourrait envisager de concevoir une courte documentation consacrée à l'ÉC et l'ÉI. L'objectif de cette recommandation est de donner l'occasion au centre de s'approprier le concept d'ÉC tel qu'appliqué présentement sur ses projets de SI. Cela permettra de plus au centre de positionner son rôle dans la mise en place de ce nouveau modèle économique et de faire le lien entre la théorie du concept de circularité et sa mise en application à l'échelle industrielle. Cette documentation pourrait prendre la forme d'une rubrique internet du site web du centre ou de prospectus sur le site web. Cette brochure pourrait alors contenir la définition précédemment proposée permettant de lier ÉC et ÉI, l'énoncé de la contribution du centre au nouveau modèle ainsi que la figure 6.2 de l'ÉC au CTTÉI.

❖ **Recommandation 2 : Sensibiliser et accélérer le changement de comportement des industriels**

La réussite d'une SI dépend de l'aspect technique et de la faisabilité des synergies. Toutefois, sans une conception sociologique et une implication des acteurs industriels, les synergies peuvent très vite être abandonnées. Le réseau d'acteurs est le fondement dans la réussite d'un projet de synergie, et des efforts d'éducation et de sensibilisation doivent être menés auprès des industriels pour susciter leur intérêt et leur implication. La participation doit être le résultat d'un engagement volontaire dans la

démarche et non une réponse à une contrainte réglementaire ou autre. De plus, il est important de considérer l'industriel comme un consommateur à part entière. Il est en effet le premier consommateur de MP d'où l'importance de sensibiliser et d'inculquer des modes de consommation plus responsables.

Ainsi, des séances de présentation des démarches d'ÉC et d'ÉI, des démonstrations de cas de réussite à l'international, une rétrospective du contexte législatif dans d'autres pays, etc. pourraient être menées par le CTTÉI auprès des acteurs de la SIB et de tout autre SI où les acteurs sont encore réticents. L'objectif de cet exposé serait de présenter aux industriels la progression de cette nouvelle approche et sa mise en pratique et ainsi les inviter à se lancer également dans une telle démarche de façon proactive, en anticipation d'une même évolution au Québec qui viendrait soutenir l'ÉC et l'ÉI par un cadre réglementaire.

❖ Recommandation 3 : Établir une veille stratégique sur les expériences d'ÉC à l'international

ÉI et ÉC sont encore des concepts naissants. Si le premier a connu une progression et une mise en pratique assez rapide, le second est encore au début de la phase d'expérimentation. De même, contrairement à l'ÉI qui dispose aujourd'hui d'une base scientifique et de revues spécialisées, l'ÉC n'est soutenue par aucun cadre scientifique et les travaux de recherches en la matière sont encore peu nombreux. Les démarches d'ÉC sont, pour la plupart, mises en avant par des organismes et des institutions environnementales à l'image de la Fondation Ellen MacArthur. De ce fait, le CTTÉI doit faire un effort supplémentaire de veille stratégique en matière d'ÉC et se tourner davantage vers la coopération avec les organismes de recherche en France qui sont plus avancés que le Québec en la matière.

❖ Recommandation 4 : Établir un cadre de mesure des retombées des projets sous un angle de développement durable

Un projet de SI n'a pas pour seule finalité la performance économique des entreprises. La création de SI sur un territoire donné est une stratégie de DD qui permet au territoire de promouvoir son développement tout en assurant une efficacité de ses ressources et une meilleure gestion des déchets. Les impacts d'une symbiose doivent à la fois être internes à l'entreprise, mais également portés à l'échelle d'un territoire.

Pour cela, la grille proposée dans le cadre de cet essai combine une approche de TBL et une mesure des retombées territoriales selon les trois échelles du DD. L'aspect social, généralement manquant, est alors ici pris en considération et la démarche n'est plus uniquement centrée sur l'intérêt économique des entreprises. Toutefois, l'absence de données quantitatives, ainsi que le secret de confidentialité, sont des freins à l'utilisation de cette grille pour l'évaluation et la promotion des démarches de SI.

Pour pallier cette lacune, il a été suggéré de compléter la grille d'analyse des démarches d'ÉIT et d'ÉC par une boussole d'impacts, inspirée de la boussole bernoise de DD. Cette boussole est un outil complémentaire dans la mesure des retombées des SI, car elle permet de dresser les forces et faiblesses d'un point de vue DD, et ce même en absence de données quantitatives disponibles. De plus, la boussole d'impacts peut être accompagnée d'un graphique pour une visualisation plus facile des résultats. (Suisse. Office fédéral du développement territorial, 2004) Ce graphique peut alors être employé par le CTTÉI, ainsi que les porteurs de projet de SI, dans le cadre d'un *reporting* environnemental et comme outil de communication et de promotion de réussite du projet.

Toutefois, cette boussole d'impacts reste limitée dans la représentation du succès de la démarche. En effet, la boussole est un outil d'appréciation, selon une échelle semi-quantitative. Il est important, et suggéré au CTTÉI, d'établir un historique des avancements et des retombées des SI. Ainsi, un contrat de divulgation d'informations socio-environnementales permettant un *reporting* environnemental des entreprises participantes devrait être signé entre le centre et les industriels

- ❖ Recommandation 5 : Incrire l'ÉI et l'ÉC dans une logique de coopération territoriale, au-delà des limites du parc éco-industriel

L'objectif de la SIB est de promouvoir un développement durable en bouclant les flux de matières et d'énergies selon une boucle courte, à portée locale. Pour ce faire, les acteurs des synergies sont soit les industriels déjà implantés sur le site de Bécancour soit ceux qui pourraient potentiellement s'implanter sur le site et qui ont des activités complémentaires avec les industriels déjà en place. Cependant, cette vision est restrictive du concept d'ÉI. De ce fait, il est suggéré d'étendre les échanges de sous-produits à un territoire plus large que les limites de l'écoparc. Plus un territoire est vaste, plus le nombre potentiel d'acteurs et de synergies est grand. Cette notion de territoire est donc garante d'une plus grande variabilité d'acteurs. La vision au sein de la SPIPB doit donc être portée par un intérêt plus général que celui de se restreindre aux limites géographiques de son parc et du réseau d'acteurs en son sein. Les types de synergies sur le site doivent donc tendre à évoluer de leur catégorie actuelle soit de type 3 vers le type 4 et 5 en adoptant pour cela des divisions territoriales plus larges.

- ❖ Recommandation 6 : Promouvoir l'ÉI comme un objectif du *Plan d'action de développement durable* de la SPIB

Dans le *Plan d'action de développement durable 2009-2013* de la SPIPB, la SI a été présentée comme une des actions de mise en œuvre à l'objectif d'accompagnement des industriels dans une démarche de DD. Aujourd'hui, il est recommandé d'inciter les acteurs à revoir le positionnement et l'importance de la SI en plaçant les synergies comme un objectif à part entière du futur plan d'action. Cette recommandation s'arrime avec la nouvelle *Stratégie québécoise de développement durable 2015-2020*.

En effet, cette stratégie prévoit comme action d'investir dans les projets de développement d'une économie verte et responsable sous forme d'une économie circulaire et d'écologie industrielle.

Le projet de SIB est de ce fait précurseur de la démarche et doit faire valoir sa proactivité dans cette initiative, sans crainte d'un phénomène *Nimby* de la population avoisinante, puisque sa démarche est ainsi soutenue par la stratégie gouvernementale.

- ❖ Recommandation 7 : Implanter l'ÉC et l'ÉI comme moyen de réponse aux différentes stratégies gouvernementales

La *Stratégie gouvernementale de développement durable 2015-2020*, la *Stratégie maritime à l'horizon 2030* ainsi que le *Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques* présentent plusieurs objectifs communs. La lutte contre les CC est l'axe indispensable et l'engagement principal du gouvernement québécois. L'ÉC et l'ÉI participent à réduire ces émissions de polluants, de GES et contribuent de plus à réduire l'empreinte des actions des industriels. De ce fait, l'implantation de projets de SI est un moyen préventif de lutte contre les CC : les SI favorisent, d'une part, le recours aux énergies renouvelables et, d'autres part, la dématérialisation et l'instauration des pratiques de production propre. Ainsi, la SIB mais aussi tout projet du CTTÉI sont déjà, de part la nature des activités en ÉI, une stratégie de lutte contre les CC et autres problématiques environnementales et répondent de ce fait aux objectifs des différentes stratégies et plans gouvernementaux.

- ❖ Recommandation 8 : Établir un arrimage entre SI et écoconception pour l'intégration de cette dernière approche aux projets de SI

Dans le cadre de cet essai, la SIB a été le sujet d'étude pour mettre en avant le lien entre ÉC et ÉI. S'il en est ressorti que l'ÉI, dans son application restrictive de bouclage de flux, est une stratégie d'ÉC, le lien entre ce dernier concept et d'autres fondements de l'ÉI n'a pu être davantage approfondi. En effet, à cause de la nature des industries du parc de Bécancour, certains aspects de l'ÉI et de l'ÉC ne peuvent être appliqués; le lien ici étudié n'est que partiel. Par exemple, l'écoconception et l'économie de fonctionnalité sont deux modèles d'affaires qui ne s'appliquent pas au cas de Bécancour. D'autres symbioses du CTTÉI peuvent alors être de meilleurs champs d'études pour prolonger la réflexion quant au lien ÉC/ÉI et l'importance de jumeler différentes stratégies d'ÉC entre elles telles que la SI, l'écoconception, etc.

Enfin, pour tendre vers un modèle complètement circulaire, l'ÉI à elle seule est insuffisante et doit être corrélée à d'autres concepts clés tels que l'écoconception afin d'assurer une plus grande circularité des flux de matières et d'énergie. Il est recommandé au CTTÉI de revoir certains projets en y intégrant ce dernier, écoconception et ÉI pouvant facilement s'arrimer. En effet, écoconception et ÉI sont deux champs complémentaires; le premier est facilitateur de la mise en place de synergies grâce à

la connaissance préalable des flux générés, tandis que le second peut également être un incitatif à revoir la conception des produits.

7.2.2 Recommandations adressées au gouvernement

Cinq recommandations sont adressées au gouvernement.

❖ **Recommandation 1 : Soutenir par un cadre réglementaire les démarches d'ÉI et d'ÉC**

L'ÉI et l'ÉC commencent à être intégrées dans différentes stratégies gouvernementales. Elles apparaissent par exemple dans la dernière *Stratégie gouvernementale de développement durable 2015-2020*. Par cette stratégie, l'état s'engage à contribuer à mettre en œuvre des démarches d'ÉI et un système économique circulaire (Québec. MDDELCC, 2015). Ainsi, la loi et la stratégie québécoise de DD sont deux cadres pouvant inciter au déploiement de ces nouveaux concepts; toutefois, la démarche n'est qu'incitative et la mobilisation n'est que vivement recommandée. En soi, l'ÉI ou l'ÉC ne sont pas une finalité clairement exprimée par les autorités. Or, les entreprises n'adopteront pas toutes l'ÉC et la pensée de l'ÉI si elles n'y sont pas contraintes d'une façon ou d'une autre. Face à l'urgence de changer l'économie actuelle, il est donc suggéré au gouvernement d'adopter une position plus claire et de développer des leviers d'actions imposant aux organismes gouvernementaux, aux professionnels du secteur industrie, commerce et institution (ICI), lorsqu'applicable, de procéder à l'étude du métabolisme industriel et la création de synergies. Au delà de la démarche incitative, par le soutien aux projets d'ÉI/ÉC qui commence à émerger, le gouvernement pourrait développer un cadre réglementaire, fiscal et normatif encadrant les démarches d'ÉI/ÉC dans le système productif. L'ÉI et l'ÉC pourraient être soutenues par des mesures politiques efficaces telles que des normes, une augmentation des taxes environnementales pénalisant la consommation de ressources primaires, de ressources et d'énergie non renouvelables et l'émission de polluants.

Au delà de la simple gestion des MR, l'ÉC pourrait devenir une stratégie économique à l'échelle de la province. Dans la *Loi sur le développement durable*, le gouvernement pourrait inscrire clairement l'ÉI comme stratégie d'action gouvernementale et l'ÉC comme modèle économique. Ces engagements pourraient être appuyés par des modifications dans la LQE et dans la *Loi sur la société québécoise de récupération et de recyclage* qui proposerait des actions pour soutenir et encadrer la mise en place des projets de SI. En effet, pour atteindre un haut niveau de circularité de l'ensemble de l'économie, les impacts de l'application de l'ÉI seule sont insuffisants et la démarche doit être accompagnée d'autres modèles d'affaires. De même, ces démarches peuvent également être soutenues par un engagement des acteurs municipaux par l'intégration de l'ÉI et de l'ÉC dans les plans et schémas d'aménagement du fait que ces projets représentent une opportunité de développement économique territoriale.

Ainsi, l'ÉC implique une révision de différents cadres réglementaires et une coordination du cadre législatif dans plusieurs domaines jumelant économie et environnement.

Corrélées à cette initiative réglementaire, des mesures éducatives doivent être entreprises par le gouvernement à l'interne, au sein des ministères et organismes, auprès des acteurs économiques du secteur des ICI, ainsi que de la population dans son ensemble afin de développer des modes de consommation responsable qui soient complémentaires au mode de fabrication circulaire que le gouvernement tente de mettre en place. Les consommateurs doivent alors être informés et mobilisés pour soutenir les transformations du système de production selon la nouvelle ÉC.

❖ Recommandation 2 : Intégrer l'ÉI et l'ÉC comme stratégie de gestion des MR

L'ÉI est un moyen de gérer efficacement les résidus d'un territoire. En effet, tel qu'exposé, ÉI et ÉC, en promouvant l'efficacité des ressources et le bouclage des flux, permettent de concevoir des modèles de production qui sont moins producteurs de résidus. Ces deux concepts incitent donc à la réutilisation et la mise en valeur des MR; tous deux doivent pour cela être intégrés dans la future *Politique québécoise de gestion des matières résiduelles* comme un moyen de réduction à la source de la production des MR et une alternative à l'enfouissement. Instaurer l'ÉC et l'ÉI à l'échelle des territoires devrait être un objectif de la future politique québécoise des MR. Ainsi, il est recommandé au gouvernement d'intégrer ces deux approches dans la future *Politique québécoise de gestion des matières résiduelles* ainsi que le plan d'action associé et de soutenir ces démarches par des incitatifs économiques et un cadre réglementaire strict.

De même, l'ÉI comme moyen de promouvoir une ÉC d'un territoire devrait être intégrée dans les plans de gestion de MR (PGMR). L'ÉI s'inscrirait comme moyen à mettre en œuvre pour assurer une gestion territoriale des MR et pour les industries, les commerces et les institutions un moyen de réduire leurs productions de résidus industriels en appliquant, grâce aux synergies, les 3RV (réduire, réutiliser, recycler, valoriser) évitant ainsi l'élimination et inscrivant ainsi la démarche vers une économie circulaire pour le territoire.

❖ Recommandation 3 : Soutenir à l'échelle nationale une expérimentation des projets d'ÉC et d'ÉI en territoires portuaires

Le meilleur apprentissage étant l'exemplarité, le gouvernement pourrait envisager, afin de promouvoir le changement de paradigme nécessaire à la société, de mener une expérimentation, à l'échelle locale et nationale, d'ÉI et d'ÉC. Les territoires portuaires, à l'image de Kalundborg, représentent des terrains d'expérimentation adéquats pour cela. De plus, cette expérimentation viendrait soutenir la démarche québécoise actuelle de promotion du fleuve Saint-Laurent et la promotion de la *Stratégie maritime* promue par le gouvernement. Bécancour représente un lieu d'expérimentation adapté : d'une part, la

participation des industriels et autres acteurs est déjà bien introduite et plusieurs synergies ont déjà fait leurs preuves et, d'autre part, le parc de Bécancour est le seul port maritime à être une société d'État du gouvernement québécois; ce qui donnerait plus de crédibilité à l'initiative de l'état.

❖ Recommandation 4 : Soutenir les projets d'ÉI et d'ÉC comme outil de lutte contre les CC

Les approches d'ÉI et d'ÉC imposent de revoir la consommation à la source avec un objectif de réduction de l'approvisionnement en MP. De plus, la circulation des flux en boucle fermée grâce aux SI permet la conception de chaînes de fabrication moins consommatrices d'énergie, de ressources et moins polluantes et productrices de déchets. De ce fait, l'ÉI permet un découplage réel entre consommation des ressources primaires et activité économique et contribue ainsi à réduire l'empreinte écologique des chaînes de fabrication tout au long du cycle de vie et les émissions de GES.

L'ÉI et l'ÉC sont ainsi des moyens de réduire à la source la production des GES qui doivent être promus et employés simultanément aux outils de compensations tels que le marché carbone.

Le fond vert pourrait ainsi servir au financement de projets d'implantation d'ÉIT et d'ÉC.

❖ Recommandation 5 : Soutenir par un cadre législatif le *reporting* socio-environnemental

En vertu de l'article 20 de la LQE, et du principe de la *Loi de développement durable du Québec*, toute personne a le droit de vivre dans un environnement sain et d'avoir accès aux informations relatives à cet environnement. Toutefois, le cadre législatif est composé de plusieurs exceptions qui s'opposent à ces droits acquis. De plus, si les organismes publics sont plus facilement obligés de communiquer leurs informations environnementales, les entreprises privées sont, elles, plus à l'abri d'une telle divulgation d'informations.

Les arguments économiques, le secret industriel sont autant d'obstacles à l'accès à l'information. Ainsi, aucun cadre législatif n'impose aux entreprises privées une obligation de *reporting* environnemental. En l'absence d'une telle loi, le suivi des impacts de la mise en œuvre de projets industriels s'avère impossible, comme ce fut observé dans le cadre de cet essai. Ainsi, il est recommandé au gouvernement de revoir les dispositifs des lois afin d'instaurer aux industriels une obligation de déclaration et de publication des informations relatives à l'environnement.

Potentiellement dans le cadre de la modernisation de la LQE, une réglementation par l'information pourrait être apportée à la nouvelle version de la loi. Cette réglementation imposerait l'obligation de divulguer les informations relatives aux opérations et à la performance environnementale et sociétale des entreprises œuvrant dans un domaine susceptible de causer de graves dommages à l'environnement, ou dépassant un certain nombre d'employés et de chiffre d'affaires. Ce sont essentiellement les

grandes et moyennes entreprises qui seraient donc visées par des démarches juridiques d'obligation de reddition plutôt que soumises à une approche volontaire de divulgation d'informations.

De même, il est suggéré au gouvernement de revoir la définition et l'étendue de la notion de « secret industriel », de limiter son usage et de rendre plus accessible au public et aux scientifiques les données environnementales essentiellement pour les questions touchant à la sécurité des populations et les biens communs tels que l'eau, l'air et la biodiversité naturelle.

CONCLUSION

Changement climatique, flambée des prix des MP, surabondance des MR et des DU, faible taux de réutilisation et de recyclage, etc. sont autant de problèmes et de signaux d'alarme de crises écologique, sociale et économique. Face à l'urgence d'agir, différentes approches ont vu le jour; parmi elles une en particulier retient particulièrement l'attention : l'ÉC.

L'ÉC a toutes ses chances d'être le futur modèle économique choisi par le Québec comme moyen de développer, selon la *Stratégie gouvernementale de développement durable 2015-2020*, une économie verte et responsable, une économie durable. La finalité de ce nouveau modèle est de réconcilier économie et environnement grâce à un découplage entre création de valeurs et consommation des ressources. Ainsi, à la croisée des chemins entre croissance économique et protection de l'environnement, l'ÉC combine l'utilisation optimisée des ressources et la circulation des flux en boucles fermées permettant la réutilisation et la mise en valeur des ressources de matières et d'énergie. Ce nouveau modèle économique s'oppose alors à l'économie actuelle de fabrication dite linéaire. Dans ce modèle linéaire, les ressources finies sont consommées comme si elles étaient infinies et le gaspillage est pratique courante tant les ressources semblent toujours disponibles.

Les politiques d'ÉC diffèrent à l'international, mais la mise en œuvre de ce modèle de circularité passe par l'application de différents concepts environnementaux similaires : écoconception, économie de fonctionnalité, ÉI, etc. En ce sens, l'ÉI représente une opportunité d'affaires dans la mise en place de ce nouveau modèle de fabrication et de consommation plus circulaire et responsable. Exposée comme la solution aux crises actuelles, l'ÉC est un nouveau concept dont les fondements et l'application font encore objets de nombreuses recherches. Parmi les questionnements posés, celui du lien entre ÉC et ÉI revient assez souvent. Cette recherche de corrélation est également l'objectif principal de cet essai.

Après une exposition en première section de la situation actuelle ayant conduit à cette urgence d'agir et aux enjeux d'une économie nouvelle, une revue de la littérature a permis d'introduire les deux concepts d'études de cet essai : l'ÉI et l'ÉC. La section 2 de ce livrable a donc présenté les origines et les fondements de chacun, à la recherche d'un lien entre les deux. De ce fait, l'objectif premier de cet essai a été atteint, car il a permis de réaliser un arrimage entre ces deux notions d'ÉI et d'ÉC, le second prenant ses sources dans le premier. Trois projets internationaux d'ÉC menés par l'ÉI ont ensuite été présentés comme exemples pour une éventuelle reproduction de la démarche sur le territoire québécois. Un cas de SI au Québec a été détaillé dans cet essai. La SIB a été choisie pour ce fait puisqu'elle est le projet de SI le plus avancé dans la province. La création de cette symbiose relève d'une démarche particulière, spécifiquement conçue au fur et à mesure de l'expérimentation. Elle diffère de la symbiose de Kalundborg, prise comme référence de SI. Les deux démarches de création de

SI, spontanée et planifiée, ont alors été présentées en section 5 exposant ainsi le cadre d'application créé par le CTTÉI pour les projets québécois d'ÉI.

Toutefois, la mesure des retombées de projets de synergies reste encore difficile. En section 6, l'objectif de mesure n'a donc été atteint qu'à moitié. En effet, s'il n'a pas été possible de quantifier la participation du projet de SIB aux impacts territoriaux d'un tel projet d'ÉI/ÉC, une grille d'indicateurs mesurant les impacts de la SI et évaluant l'avancement des fondements d'ÉC a toutefois été proposée. Ceci représente une étape tout de même importante en l'absence d'une méthodologie et de référentiels établis pour le suivi des projets de symbiose et d'ÉC. En effet, un consensus sur l'approche de quantification de ces projets fait encore défaut pour le moment. À défaut de valeurs chiffrées pour la mesure de l'expérience d'ÉC sur le site, et face à la complexité de leurs disponibilités, une approche semi-quantitative, davantage de l'ordre de l'appréciation et de jugement personnel, a été suggérée comme solution pour juger si le projet de SIB contribue au modèle d'ÉC. De la théorie à l'analyse critique de l'arrimage entre ÉI et ÉC à la section 7, il a été montré que l'ÉI est fondamentalement similaire à l'ÉC. Ainsi, la mise en pratique de ce modèle écologique contribue à développer une société d'ÉC. Le retour d'appréciation de l'animateur du site de la SI et de la chargée de projet de SI au CTTÉI témoigne de ce parallèle. Toutefois, même s'il apparaît que la SIB contribue au modèle circulaire, il est impossible, en l'absence de mesures quantitatives, d'en mesurer la contribution réelle. Face aux lacunes observées, des recommandations adressées au CTTÉI et au gouvernement québécois ont alors été adressées en sous-section 7.2. Elles ont pour objectif de promouvoir la mise en place d'un modèle circulaire, son arrimage avec l'ÉI ainsi que de répondre aux lacunes des SI par l'établissement d'un cadre plus strict de *reporting* environnemental.

En conclusion, l'ÉC prend racine dans les fondements de l'ÉI. Dans leur définition générale, les deux approches sont similaires, mais dans la pratique, et au sens restrictif de circulation des flux qu'est l'ÉI, ce dernier ne représente qu'un modèle parmi d'autres de mise en œuvre de l'ÉC.

Parce que le modèle actuel a atteint les limites de ce qu'il peut puiser dans les ressources naturelles, il devra alors mûrir vers un système plus cyclique et autonome. Parce qu'il ne faut pas s'attendre à ce que les politiciens et les décideurs prônent la décroissance, l'ÉC apparaît alors comme une alternative adéquate. Cette circularité a alors des chances de représenter le futur modèle économique qui viendra à terme remplacer l'économie actuelle. Cependant, face au changement de paradigme qu'elle entraîne, et au vu de certains avancements dans les pays voisins, la question est de savoir si l'ÉC restera ou non un concept abstrait.

RÉFÉRENCES

- Abraham, Y.M., Marion, L. et Philippe, H. (2011). *Décroissance versus développement durable : Débat pour la suite du monde*. Montréal, Les Éditions Écosociété, 237 p.
- Accenture (2014). Circular Advantage Innovative Business Models and Technologies to Create Value in a World without Limits to Growth. In Accenture. <https://www.accenture.com/us-en/insight-circular-advantage-innovative-business-models-value-growth.aspx> (Page consultée le 14 novembre 2015).
- Adoue, C. (2007). *Mettre en œuvre l'écologie industrielle*. Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes, 106 p.
- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise en Énergie (ADEME) (2012). Osons l'économie circulaire. In ADEME. *Médiathèque*. <http://www.ademe.fr/osons-leconomie-circulaire> (Page consultée le 23 juillet 2015).
- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise en Énergie (ADEME) (2015a). Économie circulaire. In ADEME. *Nos expertises*. <http://www.ademe.fr/expertises/economie-circulaire> (Page consultée le 1 juillet 2015).
- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise en Énergie (ADEME) (2015b). L'économie circulaire dans votre région? Comprendre pour décider. In ADEME. *Nos expertises, Économie circulaire*. <http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/synthese-guide-strategie-eco-circulaire-8359.pdf> (Page consultée le 5 juillet 2015).
- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise en Énergie (ADEME) (s. d.). Recyclage-Vers une économie circulaire. In ADEME. *Nos expertises*. http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/89988_7952-recyclage-economie-circulaire.pdf (Page consultée le 1 juillet 2015).
- Andersen, M.K. (2006). An introductory note on the environmental economics of the circular economy. *Sustainability Science*, vol. 2, n° 1, p. 133-140.
- Aurez, V. et Lévy, J.C. (2013). Économie circulaire, écologie et reconstruction industrielle? In Commission Nationale de la Coopération Décentralisée (CNCD). *Accueil, Politique étrangère de la France, Action extérieur des collectivités territoriales, Ressources et bibliothèques de la coopération décentralisée, Publications par thématique, Économie circulaire*. http://www.diplomatie.gouv.fr/fr/IMG/pdf/AUREZ_LEVY_Economie_circulaire_ecologie_et_reconstruction_industrielle_cle015d1b.pdf (Page consultée le 22 juin 2015).
- Baudet, S. (2013). *Écologie industrielle et territoriale : les collectivités actrices de la transition énergétique et électronique*. Paris, Éditions Etd, 134 p.
- Beaurain, C. et Brulot, S. (2011). L'écologie industrielle comme processus de développement territorial : une lecture par la proximité. *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, vol. 2, n° 0180-7307, p. 313-340.
- Beulque, R. (2014). Écologie industrielle, circularité et durabilité. In Canal-U. *Accueil, Canal-Uved*. https://www.canalu.tv/video/canal_uved/ecologie_industrielle_circularite_et_durabilite.15947 (Page consultée le 12 juillet 2015).
- Bruckner, M., Polzin, C. et Giljum, S. (2010). Counting CO₂ emission in a globalised world. In SERI. *Energy and climate*. http://seri.at/wp-content/uploads/2009/11/Bruckner-et-al-2010_Counting-CO2-emissions.pdf (Page consultée le 10 août 2015).

- Brullot, S., Maillefert, M. et Joubert, J. (2014). Stratégies d'acteurs et gouvernance des démarches d'écologie industrielle et territoriale. *Développement durable et territoires*, vol. 5, n° 1, p. 1-26. <http://developpementdurable.revues.org/10082> (Page consultée 26 juillet 2015).
- Buclet N. (2013). Chapitre 8— L'écologie industrielle et territoriale : vers une économie de la rareté. In Vivien, F-D., Lepart, J. et Marty, P., *L'évaluation de la durabilité*. Paris, Versailles Cedex, Editions Quæ.
- Cambridge Business English Dictionary (2015). Definition of the triple bottom line. In Cambridge Dictionary On Line. <http://dictionary.cambridge.org/fr/dictionnaire/anglais/the-triple-bottom-line> (Page consultée le 1 novembre 2015).
- Caron, E. (2008). *Perspectives d'utilisation de l'écologie industrielle au CLD de Québec pour un développement durable*. Essai de maîtrise en environnement, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, 89 p.
- Caymaris-Moulin, F. (26 août 2015). L'économie circulaire, une solution à l'obsolescence ?. In LesEchos.fr. *Idées - Débats. Le Cercle*. <http://www.lesechos.fr/idees-debats/cercle/cercle-137476-leconomie-circulaire-une-solution-a-l-obsolescence-1147931.php#xtor=CS1-33> (Page consultée le 26 août 2015).
- Centre de transfert technologique en écologie industrielle (CTTÉI) (s. d.a). Introduction à l'écologie industrielle. In CTTÉI. *Qu'est ce que l'écologie industrielle?*. http://www.cttei.qc.ca/ei_introduction.php (Page consultée le 23 août 2015).
- Centre de transfert technologique en écologie industrielle (CTTÉI) (s. d.b). Qui sommes nous. In CTTÉI. *Le CTTÉI*. http://www.cttei.qc.ca/cttei_historique.php (Page consultée le 25 juillet 2015).
- Centre de transfert technologique en écologie industrielle (CTTÉI) (s. d.c). Exemples-Bourse des résidus industriels et Synergie de sous-produits. In CTTÉI. *Qu'est ce que l'écologie industrielle?*. http://www.cttei.qc.ca/ei_exemple.php (Page consultée le 25 juillet 2015).
- Centre de transfert technologique en écologie industrielle (CTTÉI) (2013). Création d'une symbiose industrielle. In Synergie Québec, *Démarches*. <http://www.synergiequebec.ca/demarche> (Page consultée le 10 juillet 2015).
- Centre international de référence sur le cycle de vie des produits, procédés et services (CIRAIG) (2015). Circular economy : a critical literature review of concepts. In Institut EDDEC. *Actualités, Un livre blanc de l'économie circulaire produit au Québec*. <http://institutedec.org/un-livre-blanc-de-leconomie-circulaire-produit-au-quebec/> (Page consultée le 6 octobre 2015).
- Cerceau, J. (2013). *L'écologie industrielle comme processus de construction territoriale : application aux espaces portuaires*. Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, Saint-Etienne, 335 p.
- Chertow, M. (2000). Industrial symbiosis: literature and taxonomy. *Annual Review of Energy and the Environment*, vol. 25, p. 313-337.
- Chertow, M. (2007). "Uncovering" Industrial Symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, vol. 11, n° 1, p. 11-30.
- Chertow, M. et Ehrenfeld, J. (2012). Organizing Self-Organizing Systems Toward a Theory of Industrial Symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, vol.16, n° 1, p. 13-27.

- Chertow, M. et Lombardi, R. (2005). Quantifying economic and environmental benefits of co-located firms. *Environmental science & technology*, vol. 39, n° 17, p. 6535-6541.
- Club of Rome (s. d.). Limits to growth (1972). In Club of Rome. *Issues, Publications, Reports to the Club of Rome*. <http://www.clubofrome.org/?cat=45> (Page consultée le 10 juillet 2014).
- Combes, M. (21 décembre 2009). Trois leçons rapides de «Floopenhague». In Libération.fr. *Accueil, Blog, Copenhague*. <http://copenhague.blogs.liberation.fr/2009/12/21/trois-lecons-rapides-de-floopenhague/> (Page consultée le 10 décembre 2015).
- Commissariat général au développement durable (CGDD) et Délégation interministérielle à l'aménagement du territoire et à l'attractivité régionale (Datar) (2011). Études & documents : Indicateurs de développement durable pour les territoires. In MEDDE. *Salle de lecture, Des indicateurs de développement durable pour les territoires*. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Des-indicateurs-de-developpement,37452.html> (Page consultée le 28 décembre 2015).
- Commission Européenne (2011). Questions and answers on the Resource Efficiency Roadmap. In Commission Européenne. *Communiqués de presse, Détails, Communiqué de presse*. http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-11-614_en.htm?locale=FR (page consultée le 6 juillet 2015).
- Conception d'Outils Méthodologiques et d'Évaluation pour l'écologie industrielle (COMETHE) (2008a). Présentation du projet. In COMETHE. *Projet COMETHE*. http://www.comethe.org/index.php?option=com_content&view=article&id=48&Itemid=56 (Page consultée le 6 septembre 2015).
- Conception d'Outils Méthodologiques et d'Évaluation pour l'écologie industrielle (COMETHE) (2008 b). Module 4-Intégrer l'écologie industrielle dans une stratégie de durabilité pour la zone d'activité et le territoire. In COMETHE. *Méthodologie et outils, Fiche 25*. <http://www.comethe.org/dmdocuments/MOD4-FA-25.pdf> (Page consultée le 6 septembre 2015).
- Conseil national de l'industrie (CNI) (2015). Note de cadrage en vue de définir des indicateurs de suivi des projets économie circulaire du CNI. In CNI. *Thématiques transversales, Économie circulaire*. http://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/conseil-national-industrie/PDF/CNI_indicateurs_EC.pdf (Page consultée le 12 septembre 2015).
- Conseil national des déchets (CND) (2013). Table ronde n° 1-Économie circulaire. In MEDDE. *Développement durable, Transition écologique, La conférence environnementale, La conférence 2013, Les thèmes, Économie circulaire*. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Economie-circulaire,33986.html> (Page consultée le 2 juillet 2015).
- Costa, I. et Ferrao, P. (2010). A case study of industrial symbiosis development using a middle-out approach. *Journal of Cleaner Production*, vol. 18, n° 10-11, p. 984-992.
- Dain, A. (2010). *Analyse et évaluation de la pérennité des démarches d'écologie industrielle et territoriale*. Essai de maîtrise en environnement, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, 106 p.
- DeFries, R. et Pagiola S. (2005). Analytical Approaches for Assessing Ecosystem : Condition and Human Well-being. In The Millennium Ecosystem Assessment. *Reports, Global Assessments, Current State and Trends*. <http://www.millenniumassessment.org/en/Condition.html> (Page consultée le 10 juillet 2015).

- Diemer, A. et Labrune, S. (2007). L'écologie industrielle : quand l'écosystème industriel devient un vecteur du développement durable. *Développement durable et territoires*, Varia. <http://developpementdurable.revues.org/4121> (Page consultée le 22 juin 2015).
- Domenech, T. et Davies, M. (2011). Structure and morphology of industrial symbiosis networks: The case of Kalundborg. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, vol. 1, n° 10, p. 79-89.
- Donella Meadows Institute (s. d.). A Synopsis: Limits to Growth: The 30-Year Update. In Donella Meadows Institute. *Home, Archives, A Synopsis : Limits to Growth: The 30-Year Update*. <http://www.donellameadows.org/archives/a-synopsis-limits-to-growth-the-30-year-update/> (Page consultée le 13 janvier 2013).
- Dunn, B. et Steinemann, A. (1998). Industrial ecology for sustainable communities. *Journal of Environmental Planning and Management*, vol. 41, n° 6, p. 661-672.
- Duret, B., Valluis, C. et Blavot, C. (2014). Écologie industrielle et territoriale : le guide pour agir dans les territoires. In MEDDE. *Économie verte, Économie, L'écologie industrielle et territoriale*. http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Ref_-_Guide_EIT.pdf (Page consultée le 23 juillet 2015).
- Ehrenfeld, J. et Gertler, N. (1997). Industrial Ecology in Practice-The Evolution of Interdependence at Kalundborg. *Journal of Industrial Ecology*, vol. 1, n° 1, p. 67-79.
- Ehrenfeld, J.R. (1997). Industrial ecology: a framework and process design for product. *Journal of Cleaner Production*, vol. 5, n° 1-2, p. 87-95.
- Ellen MacArthur Foundation (2013a). *Towards the circular economy- Economic and business rationale for an accelerated transition-Volume 1*. In Ellen MacArthur Foundation. *Publications*. <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf> (Page consultée le 21 juin 2015).
- Ellen MacArthur Foundation (2013b). *Towards the circular economy- Economic and business rationale for an accelerated transition-Volume 2*. In Ellen MacArthur Foundation. *Publications*. http://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/TCE_Report-2013.pdf (Page consultée le 21 juin 2015).
- Ellen MacArthur Foundation (2015a). La Fondation Ellen MacArthur. In Ellen MacArthur Foundation. *La fondation*. <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/fr/la-fondation> (Page consultée le 16 juillet 2015).
- Ellen MacArthur Foundation (2015b). La Fondation Ellen MacArthur travaille en coopération avec le monde de l'Éducation et de l'Entreprise afin d'accélérer la transition vers l'économie circulaire. In *Ellen MacArthur Foundation*. <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/fr> (Page consultée le 1 juillet 2015).
- Ellen MacArthur Foundation (2015c). Circularity indicators : an approach to measuring circularity-Methodology. In *Ellen MacArthur Foundation. Circular economy, Circularity indicators*. <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/metrics> (Page consulté le 10 août 2015).
- Ellen MacArthur Foundation (2015d). Circularity indicators : an approach to measuring circularity-Over view. In *Ellen MacArthur Foundation. Circular economy, Circularity indicators*. <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/metrics> (Page consulté le 10 août 2015).

- Ellen MacArthur Foundation (2015e). Kalundborg symbiosis. In Ellen MacArthur Foundation. *Case studies*. http://www.ellenmacarthurfoundation.org/case_studies/kalundborg-symbiosis (Page consultée le 22 octobre 2015).
- Enorth (2004). An overview about Tianjin Economic-Technological Development Area. In Enorth. *News, Tianjin content*. <http://english.enorth.com.cn/system/2004/10/15/000881952.shtml> (Page consultée le 3 septembre 2015).
- Erkman, S. (1997). Industrial ecology : an historical view. *Journal of Cleaner Production*, vol. 5, n° 1-2, p. 1-10.
- Erkman, S. (2004). *Vers une écologie industrielle : comment mettre ne pratique le développement durable dans une société hyper-industrielle*. 2^e édition, Paris, Éditions Charles Léopold Mayer, 251 p.
- Fan, X., Bourg, D. et Erkman, S. (2006). L'économie circulaire en Chine. *Futuribles*, n° 324, p. 21-41.
- Finlayson, A. (2014). *Développement d'un outil de quantification des gains liés aux symbioses industrielles*. Projet de maîtrise en ingénierie, Université de Montréal, Montréal, Québec, 187 p.
- France. Commissariat général au développement durable (CGDD) (2014). Écologie industrielle et territoriale : le guide pour agir dans les territoires. In MEDDE. *Développement durable, Économie verte, Économie, L'écologie industrielle et territoriale, Écologie industrielle territoriale : le guide pour agir dans les territoires*. http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Ref_-_Guide_EIT.pdf (Page consultée le 25 septembre 2015).
- France. Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL) du Nord-Pas de Calais (2014). Économie circulaire et écologie industrielle des territoires : un nouveau modèle de développement dans le Nord-Pas de Calais. In DREAL Nord-Pas de Calais. *Les thématiques, Promotion du développement durable, Économie Verte*. <http://www.nord-pas-de-calais.developpement-durable.gouv.fr/?Economie-circulaire-et-ecologie-industrielle-des-territoires-un-nouveau-modele-de-developpement-dans-le-Nord-Pas-de-Calais#> (Page consultée le 5 septembre 2015).
- France. Ministère français de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE) (2013). Vers une loi pour développer l'économie circulaire. In MDDE. *Développement durable, Actualités, « Vers une loi pour développer l'économie circulaire »*. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Vers-une-loi-pour-developper-l.html> (Page consultée le 20 août 2015).
- France. Ministère français de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE) (2014). L'économie circulaire. In MEDDE. *Développement durable, Économie verte, Économie, L'économie circulaire*. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-enjeux-de-l-economie.html> (Page consultée le 20 août 2015).
- Frosch, R-A. et Gallopoulos, N-E. (1989). Strategies for Manufacturing. *Scientific American*, vol. 261, n° 3, p. 144-152.
- Geldron, A. (2014). Économie circulaire : notions. In ADEME. *Nos expertises, Économie circulaire*. <http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/fiche-technique-economie-circulaire-oct-2014.pdf> (Page consultée le 6 juillet 2015).
- Geneva Network of Industrial Ecology (Genie) (2015). Petit lexique de l'écologie industrielle. In Genie. *À propos, L'écologie industrielle à Genève, Petit lexique de l'écologie industrielle*.

<http://www.genie.ch/static/petit-lexique-de-lecologie-industrielle.html> (Page consultée le 27 août 2015).

Geng, Y., Zhang, P., Cote, R.P. et Fujita, T. (2008a). Assessment of the national ecoindustrial park standard for promoting industrial symbiosis in China. *Journal of Industrial Ecology*, vol. 13, n° 1, p. 15-26.

Geng, Y., Zhang, P., Cote, R.P. et Qi, Y. (2008 b). Evaluating the applicability of the Chinese eco-industrial park standard in two industrial zones. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, vol.15, p. 543-552.

Geng, Y., Fu, J., Sarkis, J. et Xue, B. (2012). Towards a national circular economy indicator system in China: an evaluation and critical analysis. *Journal of Cleaner Production*, vol. 23, n° 1, p. 216-224.

Global Reporting Initiative (GRI) (2013). Guide de mise en œuvre. In GRI. *Standards, G4 Downloads, G4 sustainability reporting guidelines*.
<https://www.globalreporting.org/standards/g4/Pages/default.aspx> (Page consultée le 28 octobre 2015).

Graedel, T.E. (1996). On the concept of industrial ecology. *Annual Review of Energy and the Environment*, vol. 21, p. 69-98.

Green Alliance et WRAP (2015). Employment and the circular economy job creation in a more resource efficient Britain. In Green Alliance. *Publications*. <http://www.green-alliance.org.uk/employment-and-the-circular-economy.php> (Page consultée le 10 août 2015).

Haggar, S.M. (2007). *Sustainable industrial design and waste management cradle-to-cradle for sustainable development*. London, Elsevier Academic Press, 401 p.

HAROPA-Ports de Paris (s. d.). Projet Stratégique 2015 - 2020. In HAROPA. *Paris, Projet stratégique*.
<http://fr.calameo.com/read/00134416550222bc5417e> (Page consultée le 24 novembre 2015).

Hond, F. (2000). Industrial ecology: a review. *Regional Environmental Change*, vol. 1, n° 2, p. 60-69.

Hoornweg, D., Bhada, P-T. and Kennedy, C. (2013). Environment : Waste production must peak this century. *Nature*, vol. 502, n° 7473, p. 615-617.

Institut d'environnement, du développement durable et de l'économie circulaire (Institut EDDEC) (2015a). L'économie de partage ou collaborative. In Institut EDDEC, *E-DD-ÉC, Qu'est-ce que l'économie circulaire?, L'économie de partage ou collaborative*.
<http://instituteddec.org/linstitut/quest-ce-que-leconomie-circulaire/> (Page consultée le 1 janvier 2016).

Institut d'environnement, du développement durable et de l'économie circulaire (Institut EDDEC) (2015b). L'économie circulaire. In Institut EDDEC. *E-DD-ÉC, Qu'est-ce que l'économie circulaire?*. <http://instituteddec.org/linstitut/quest-ce-que-leconomie-circulaire/> (Page consultée le 10 novembre 2015).

Institut de l'économie circulaire (2013). L'économie circulaire en Chine : cas d'étude. In Institut de l'économie circulaire. *Accueil, Actualités Economie Circulaire*. http://www.institut-economie-circulaire.fr/L-economie-circulaire-en-Chine-cas-d-etude_a354.html (Page consultée le 3 septembre 2015).

- Institution of Mechanical Engineers (2015). Feeding the 9 Billion: The tragedy of waste. In Institution of Mechanical Engineers. *Knowledge, Environment, Global food waste not, want not*. <http://www.imeche.org/knowledge/themes/environment/global-food>. (Page consultée le 24 juillet 2015).
- Jacobsen, N. (2006). Industrial symbiosis in Kalundborg, Denmark : a quantitative assessment of economic and environmental aspects. *Journal of Industrial Ecology*, vol. 10, n° 1-2, p 239-255p.
- Jacobsen, N., Anderberg, S. (2004). Understanding the evolution of industrial symbiotic networks: the case of Kalundborg. In Van den Bergh, J. et Janssen, M., *Economics of Industrial Ecology- Materials, Structural Change, and Spatial scales*. MIT Press, Cambridge, p. 313-336.
- Kalundborg Symbiosis (s. d.a). Kalundborg Symbiosis wasn't invented, but has developed organically over the course of five decades. In Kalundborg Symbiosis. *Partners*. <http://www.symbiosis.dk/en/partnere> (Page consultée le 15 octobre 2015).
- Kalundborg Symbiosis (s. d.b). A circular ecosystem of economy. In Kalundborg Symbiosis. *System*. <http://www.symbiosis.dk/en/system> (Page consultée le 3 septembre 2015).
- Kalundborg Symbiosis (s. d.c). Kalundborg Symbiosis is the world's first working industrial symbiosis. In Kalundborg Symbiosis. <http://www.symbiosis.dk/en> (Page consultée le 22 août 2015).
- Korhonen, J. (2000). *Industrial ecosystem. Using the material and energy flow model of an ecosystem in an industrial system*. Thèse de doctorat, Université de Jyväskylä, Jyväskylä, 133 p.
- Korhonen, J., Baumgartner, R.J. (2009). The industrial ecosystem balanced scorecard. *International Journal Innovation and Sustainable Development*, vol. 4, n° 1, p. 24-42.
- Korhonen, J., Okkonen, L. et Niutanen, V. (2004). Industrial ecosystem indicators - direct and indirect effects of integrated waste- and by-product management and energy production. *Clean Technologies and Environmental Policy*, vol. 6, n° 3, p. 162-173.
- Kurup, B. (2007). *Methodology for capturing environmental, social and economic implications of industrial symbiosis in heavy industrial areas*. Thèse de doctorat, Curtin University of Technology, Perth, Australia, 184 p.
- Kurup, B., Altham, W. et Berkel, R. (2005). Triple bottom line accounting applied for industrial symbiosis. In ALCAS. Events, Conferences. http://conference.alcas.asn.au/2005/powerpoints/kurup_altham_vanberkel.pdf (Page consultée le 20 octobre 2015).
- Laboratoire de Génie de l'Environnement Industriel (LGEI) (2013). Les territoires portuaires à l'heure de l'écologie industrielle. In LGEI-Mines d'Alès. *Accueil, Événements*. <https://www.youtube.com/watch?v=sKZAFPYGRjE> (Page consultée le 6 décembre 2015).
- Le Goff, A. (2012). *L'écologie industrielle et territoriale comme outil pour l'atteinte des objectifs fixés par le plan d'action 2011-2015 québécois pour la gestion des matières résiduelles*. Essai de maîtrise en environnement, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, 96 p.
- Le Moigne, R. (2014). *L'Économie circulaire-Comment la mettre en œuvre dans l'entreprise grâce à la reverse supply chain?*. Paris, Dunod, 214 p.
- Lévy, J.C. (2009). *L'économie circulaire : l'urgence écologique? Monde en transe, Chine en transit*. France, Presse de l'école nationale des Ponts et chaussées, 179 p.

- Lifset, R. et Graedel, T.E. (2002). Industrial ecology: Goals and definitions. In Ayres U.R and Ayres, L.W., *A Handbook of Industrial Ecology* (Part I, p. 3-16). Cornwall, Edward Elgar Publishing Limited.
- Liu, X. (2014). Research on Circular Economy and Industrial Clusters. *Management & Engineering*, n° 15, p. 26-28.
- Lowe, E-A. et Evans, L-K. (1995). Industrial ecology and industrial ecosystems. *Journal of Cleaner Production*, vol. 3, n° 1-2, p. 47-53.
- Markewitz, K. (2009). *Synergie des sous-produits : Application au parc industriel et portuaire de Bécancour* (Rapport final de recherche appliquée-rapport interne). Sorel-Tracy, CTTÉI, 63 p.
- Markewitz, K. (2013). Pour le déploiement des symbioses industrielles : le développement d'une démarche transférable s'appuyant sur le projet pilote de Bécancour (Rapport interne). Sorel-Tracy, CTTÉI, 167 p.
- Markewitz, K., Pinna, J. et Verville, D. (2012). Intégration d'un animateur de symbiose industrielle. In *Conférence Interdisciplinaire sur l'Ecologie Industrielle et Territoriale*, Troyes, 17-18 octobre 2012.
- Markewitz, K., Verville, D. et Maheux-Picard, C. (2014). Processus de création d'une symbiose industrielle dirigée : cas des synergies invalidées. In *Conférence Interdisciplinaire sur l'Ecologie Industrielle et Territoriale*, Troyes, 9-10 octobre 2014)
- Massard, G. (2015). Écologie industrielle et économie circulaire : des concepts à la réalité. In Geneva Network of Industrial Ecology (Genie). *Fond documentaire*. <http://www.genie.ch/library/h/ecologie-industrielle-et-economie-circulaire-des-concepts-a-la-realite.html> (Page consultée le 20 juillet 2015).
- Massard, G. et Erkman, S. (2007). Introduction à l'écologie industrielle. In Institut pour la communication et l'analyse des sciences et des technologies (ICAST). *Enseignements et conférences*. http://www.icast.org/fichiers/DIP_2007/1_EI_DIP_201107.pdf (Page consultée le 2 juillet 2015).
- Mat, N., Junqua, G. et Cerceau, J. (2014). Écologie industrielle dans les territoires portuaires – Pratiques internationales et expériences françaises. In *Techniques de l'Ingénieur. Ressources documentaires, Transports, Transports et technologies, Infrastructures, environnement et transport par voie d'eau*. <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/transports-th14/infrastructures-environnement-et-transport-par-voie-d-eau-42617210/ecologie-industrielle-dans-les-territoires-portuaires-trp5010/> (Page consultée le 23 octobre 2015).
- Mathews, J.A et Tan, H. (2011). Progress Toward a Circular Economy in China : The Drivers (and Inhibitors) of Eco-industrial Initiative. *Journal of of Industrial Ecology*, vol. 15, n° 3, p. 435-457.
- McKinsey Global Institute (2013). Resource revolution: Tracking global commodity markets. In McKinsey Global Institute. *Insights & Publication, Energy, resources and materials*. http://www.mckinsey.com/insights/energy_resources_materials/resource_revolution_tracking_global_commodity_markets (Page consultée le 10 juillet 215).
- Meadows, D.H., Randers, J., Behrens, W et Meadows, D.L. (1972). *Halte à la croissance? : Enquête sur le Club de Rome, et Rapport sur les limites à la croissance*. Paris, Fayard, 314 p. (Collection Ecologie).

- Meadows, D.H., Randers, J. and Meadows, D. (2004). *The limits to growth : the 30-year update*. White River Junction, Chelsea Green Publishing, 338 p.
- Merly, C. (2008). *Étude bibliographique sur les indicateurs de l'écologie industrielle-Étude réalisée dans le cadre de l'atelier D du groupe de travail ARPEGE (Rapport final)*. BRGM-/RP édition, Orléans, BRGM, 62 p.
- Murray, A., Skene, K. et Haynes, K. (2015). The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. *Journal of Business Ethics*, p. 1-12.
- O'Rourke, D., Connelly, L. et Koshland, K. (1996). Industrial ecology : a critical review. *International Journal of Environment and Pollution*, vol. 6, n° 2-3, p. 89-112.
- Office québécois de la langue française (OQLF) (2013). Vocabulaire du développement durable. In OQLF. *Ressources, Bibliothèque virtuelle, Vocabulaire du développement durable*. http://www.oqlf.gouv.qc.ca/ressources/bibliotheque/dictionnaires/terminologie_deve_durable/fiches/ (Page consultée le 10 décembre 2015).
- Orée (2008). *Mettre en œuvre une démarche d'écologie industrielle sur un parc d'activités*. Lyon, Société alpine de publications, 252 p. (Collection Orée).
- Orée (2009a). Écologie industrielle. In Orée. <http://www.oree.org/ecologie-industrielle.html> (Page consultée le 22 août 2015).
- Orée (2009b). L'économie circulaire qu'est-ce que c'est ?. In Orée. *Économie circulaire, Contexte et enjeux*. <http://www.oree.org/3priorites/economie-circulaire/contexte-et-enjeux.html> (Page consultée le 1 juillet 2015).
- Orée (2009c). Économie circulaire. In Orée. *Économie circulaire, Sommaire*. <http://www.oree.org/3priorites/economie-circulaire.html> (Page consultée le 28 juin 2015).
- Orée (2015). Recueil cartographique des initiatives franciliennes en économie circulaire. In Orée. *Économie circulaire, Ressources*. <http://www.oree.org/3priorites/economie-circulaire/ressources.html> (Page consultée le 28 novembre 2015).
- Orée (s. d.). Vers une Économie circulaire globale, systémique et intégrée ». In Orée. *Site et publications, Flyers*. <http://www.oree.org/flyers.html> (page consultée le 27 juin 2015).
- Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) (2011). Sustainable manufacturing toolkit: seven steps to environmental excellence. In OCDE. *Confédération Suisse Portail PME du Secrétariat d'Etat à l'économie SECO, Savoir pratique, Développement durable, Mesurer la durabilité, Guide de l'OCDE sur la production durable*. <http://www.oecd.org/innovation/green/toolkit/> (Page consulté le 22 octobre 2015).
- Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) (2015). Productivité des ressources dans les pays du G8 et de l'OCDE. In OCDE. *Direction de l'environnement, La productivité des ressources et des déchets*. <http://www.oecd.org/env/waste/resourceproductivityintheg8andtheoecd.htm> (Page consultée le 6 juillet 2015).
- Pinna, J. (2015). Appréciation de la démarche d'économie circulaire sur le site de la symbiose de Bécancour. *Entrevue téléphonique menée par Linda Esseghaier avec Jennifer Pinna, chargée de projet au CTTÉI*, 21 décembre 2015, Sherbrooke.

- Potočník J. (2014). Économie circulaire : les enjeux économiques d'une transition écologique. *Annales des Mines-Responsabilité et environnement*, vol. 4, n° 76, p. 7-12.
- Projet de loi relatif à la transition énergétique pour la croissance verte, PLTE 2015, c. 19.
- Québec. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) (2012). Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques. In MDDEP. *Plans d'action sur les changements climatiques*.
http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/changements/plan_action/pacc2020.pdf (Page consultée le 28 septembre 2015).
- Québec. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDELCC) (2015). Stratégie gouvernementale de développement durable 2015-2020. In MDELCC. *Développement durable, Stratégie gouvernementale de développement durable 2015-2020*.
http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/developpement/strategie_gouvernementale/ (Page consultée le 25 novembre 2015).
- Québec. Secrétariat aux affaires maritimes (2015). La stratégie maritime à l'horizon 2030. In Ministère du Conseil exécutif. *Stratégie maritime Vision 2030, Publications*.
<https://strategiemaritime.gouv.qc.ca/app/uploads/2015/11/strategie-maritime-plan-action-2015-2020-web.pdf> (Page consultée le 28 août 2015).
- Rouquet, R. et Nicklaus, D. (2014). Comparaison internationale des politiques publiques en matière d'économie circulaire. In MEDDE. *Salle de lectures*. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Comparaison-internationale-des.html> (Page consultée le 10 juillet 2015).
- Seuring, S. (2004). Industrial ecology, life cycles, supply chains : differences and interrelations. *Business Strategy and the environment*, vol. 13, n° 5, p. 306-319.
- Shi, H. (2010). *Industrial symbiosis from the perspectives of transaction cost economics and institutional theory*. Thèse de doctorat, Yale University, New Haven, Connecticut, 262 p.
- Sidiropoulos, M., Mouzakitis, Y. et Adamides, E.D. (2010). Performance measurement in the context of industrial ecology : a critical review of existing approaches. In The Kadoorie Institute.
http://www.kadinst.hku.hk/sdconf10/Papers_PDF/p568.pdf (Page consultée le 17 septembre 2015).
- Smith, A. (1776). Du principe qui donne lieu à la division du travail. In Smith, A., *Recherche sur la nature et les causes de la richesse des nations* (Chapitre II, p. 23), Chicoutimi, Tremblay, J.M.
- Société du parc industriel et portuaire de Bécancour (SPIPB) (2007a). Infrastructures industrielles. In SPIPB. *Choisir Bécancour*. <http://www.spipb.com/choisir/> (Page consultée le 20 septembre 2015).
- Société du parc industriel et portuaire de Bécancour (SPIPB) (2007b). Infrastructures industrielles. In SPIPB. *Le parc et ses installations, Infrastructures industrielles*.
http://www.spipb.com/parc/infrastructures_industrielles/ (Page consultée le 20 septembre 2015).
- Société du parc industriel et portuaire de Bécancour (SPIPB) (2013). Plan d'action développement durable 2013_2015. In SPIPB. *Politiques et règlements, Plan d'action développement durable*.
<http://www.spipb.com/documents/File/Plan%20action%20developpement%20durable%202013%202015.pdf> (Page consultée le 20 septembre 2015).

- Sokka, L., Melanen, M., Nissinen, A. (2008). How can the sustainability of industrial symbioses be measured? Progress in Industrial Ecology. *An International Journal*, vol. 5, n° 5-6, p. 518-535.
- Su, S., Heshmati, A., Geng, Y. et Yu, X. (2012). A review of the circular economy in China: moving from rhetoric to implementation. *Journal of Cleaner Production*, vol. 42, p. 215-227.
- Suisse. Centre de compétences pour le développement durable dans le canton de Berne (2008). Boussole bernoise du développement durable. In Direction de travaux publics, des transports et de l'énergie. *Portrait de la direction, Développement durable, Évaluation de la durabilité*. http://www.bve.be.ch/bve/fr/index/direktion/ueber-die-direktion/dossiers/nachhaltige_entwicklungne/nachhaltigkeitsbeurteilung/ne_berner_kompass.assetref/dam/documents/BVE/AUE/fr/aue_ne_nhb_excel_ne_kompass_leitfaden_f.PDF (Page consultée le 28 octobre 2015).
- Suisse. Office fédéral du développement territorial (2004). Guide des outils d'évaluation de projets selon le développement durable. In Canton de Berne-Direction des travaux publics, des transports et de l'énergie. *La Boussole bernoise du développement durable, Guide*. http://www.bve.be.ch/bve/fr/index/direktion/ueber-die-direktion/dossiers/nachhaltige_entwicklungne/nachhaltigkeitsbeurteilung/ne_berner_kompass.assetref/dam/documents/BVE/AUE/fr/aue_ne_nhb_excel_ne_kompass_leitfaden_f.PDF (Page consultée le 15 septembre 2015).
- Synergie Québec (2013). Historique. In Synergie Québec. *Projets, Bécancour*. <http://www.synergiequebec.ca/projets/becancour> (Page consultée le 12 septembre 2015).
- TEDA (s. d.). Key Industries Brief. In TEDA. *About TEDA, Key Industries Brief*. <http://en.teda.gov.cn/html/ewwz/aboutteda/keyindustriesbrief/default.htm> (Page consultée le 2 septembre 2015).
- Territoires de Haute-Normandie (s. d.). Indicateurs. In Territoires de Haute-Normandie. *Espace informations, Les dossiers thématiques, Développement durable, Les Indicateurs de développement durable territoriaux*. <http://www.territoires-haute-normandie.net/pageLibre00011738.asp#I0002d16b> (Page consultée le 29 septembre 2015).
- Tibbs, H (1991). Industrial ecology : an environmental agenda for industry. In Hardin Tibbs. *Industrial ecology*. http://www.hardintibbs.com/wp-content/uploads/2009/05/tibbs_indecology.pdf (Page consultée le 10 juillet 2015).
- Van Berkel, R. (2008). Quantifying sustainability benefits of industrial symbioses. *Journal of Industrial Ecology*, vol. 14, n° 3, p. 371-373.
- Van Berkel, R., Willems, E. et Lafleur, M. (1997). The relationship between cleaner production and industrial ecology. *Journal of Industrial Ecology*, vol. 1, n° 1, p. 51-65.
- Vecteur environnement (2011). L'écologie industrielle au Québec - Concilier rentabilité et environnement. In CTTÉI. *Communications, Articles techniques, Publications*. <http://www.cttei.qc.ca/documents/VecteurNovembre2011.pdf> (Page consultée le 5 juillet 2015).
- Vendette, N. et Côté, V. (2008). L'écologie industrielle en 42 mots. In Centre de transfert technologique en écologie industrielle (CTTÉI). *Qu'est ce que l'écologie industrielle*. http://www.cttei.qc.ca/ei_lexique.php (Page consultée le 23 juin 2015).

- Venne, J.F. (15 juin 2013). L'économie circulaire, une voie payante. *In* Les affaires. <https://www.lesaffaires.com/archives/generale/l-economie-circulaire-une-voie-payante/558712> (Page consultée le 24 novembre 2015).
- Verville, D. (2015a). Mise en contexte : l'écologie industrielle et l'économie circulaire à la symbiose industrielle de Bécancour. Communication orale. *Entrevue menée par Linda Esseghaier avec David Verville, animateur de la symbiose industrielle de Bécancour*, 12 juillet 2015, bureau du CTTÉI, Sorel-Tracy.
- Verville, D. (2015b). *Symbiose industrielle au Parc industriel et portuaire de Bécancour (PIPB)* (présentation interne). Sorel-Tracy, CTTÉI, 24 p.
- Verville, D. (2015c). *Symbiose industrielle au Parc industriel et portuaire de Bécancour-Bilan de la phase 3 (2013-2015)* (document interne). Sorel-Tracy, CTTÉI, 8 p.
- Verville, D. (2015d). Appréciation de la démarche d'économie circulaire sur le site de la symbiose de Bécancour. *Entrevue téléphonique menée par Linda Esseghaier avec David Verville, animateur de la symbiose industrielle de Bécancour*, 10 décembre 2015, Sherbrooke.
- Vivien, F.D. (2003). Rencontre du troisième type... D'écosystème ou quand l'écologie devient industrielle. *Innovations*, vol. 2, n° 18, p. 43-57.
- Wijkman, A. et Skanberg, K. (s. d.). L'économie circulaire et ses bénéfices sociétaux des avancées réelles pour l'emploi et le climat dans une économie basée sur les énergies renouvelables et l'efficacité des ressources. *In* Institut de l'économie circulaire. *Accueil, Actualités, Economie circulaire : 500 000 emplois, +2,5 % de PIB et 66 % de réduction de GES pour la France*. [file:///Users/lindaesseghaier/Downloads/traduction_francaise_the_circular_economy_and_benefits_for_society%20\(1\).pdf](file:///Users/lindaesseghaier/Downloads/traduction_francaise_the_circular_economy_and_benefits_for_society%20(1).pdf) (Page consultée le 20 décembre 2015).
- Wijkman, A. et Skanberg, K. (2014). The Circular Economy and Benefits for Society Swedish Case Study Shows Jobs and Climate as Clear Winners. *In* The Club of Rome. *Activities, The Circular Economy and Benefits for Society*. <http://www.clubofrome.org/?p=8260> (Page consultée le 1 juillet 2015).
- World Wide Fund (WWF) (2012). Living planet report 2012. *In* Global Footprint Network. *Resources, Annual report 2014, Biodiversity is for Sale*. http://www.footprintnetwork.org/fr/index.php/GFN/page/biodiversity_is_for_sale/ (Page consultée le 10 août 2015).
- Yuan, Z., Bi, J. et Moriguchi, Y. (2006). The Circular Economy A New Development Strategy in China. *Journal of Industrial Ecology*, vol. 10, n° 1-2, p. 4-8.

BIBLIOGRAPHIE

- Arguin, G. (2014). *Proposition d'un outil d'évaluation de symbiose industrielle : le cas de la symbiose industrielle de Bécancour*. Essai de maîtrise en environnement, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, 138 p. Bourg, D. (2013). Économie circulaire et durabilité forte. In Institut Hydro-Québec en environnement, développement et société (Institut EDS). *Institut EDS, Portail vidéo*. <http://www.ihqeds.ulaval.ca/liste-video/ulyoutube/toutes/dominique-bourg-economie-circulaire-et-durabilite-forte/> (Page consultée le 20 novembre 2015).
- Centre québécois du droit de l'environnement (CQDE) (2015). Consultation sur le Livre vert intitulé : moderniser le régime d'autorisation environnementale de la Loi sur la qualité de l'environnement. In CQDE. *Publications et nouvelles, Mémoires déposés ou présentés en commission parlementaire*. <http://www.cqde.org/wp-content/uploads/2015/08/M%C3%A9moire-CQDE-R%C3%A9forme-LQE-2015.pdf> (Page consultée le 24 novembre 2015).
- Chambres de Commerce et d'Industrie (CCI) de France (2014a). Économie circulaire : 100 actions des CCI. In CCI. *Développement durable, Économie circulaire*. <http://www.cci.fr/documents/11000/7f115bb6-9288-4892-a316-774465b243ff> (Page consultée le 10 décembre 2015).
- Chambres de Commerce et d'Industrie (CCI) de France (2014b). Feuille de route des CCI sur l'économie circulaire. In CCI. *Développement durable, Économie circulaire*. http://www.cci.fr/documents/11000/1027382/feuille_route_CCI_economie_circulaire_18nov2014.pdf (Page consultée le 10 décembre 2015).
- Chambres de Commerce et d'Industrie (CCI) Marseille Provence (2015). L'économie circulaire restera-t-elle une notion abstraite? In CCI Marseille Provence. *Accueil, Votre CCI, Suivre l'actualité économique*. <http://www.ccimp.com/actualite/territoire/30962-leconomie-circulaire-restera-t-elle-une-notion-abstraite> (Page consultée le 2 décembre 2015).
- Conseil général de l'Environnement et du Développement durable (CGEDD) (2014). L'économie circulaire, état des lieux et perspectives. In CGEDD. *Rapports et documentation, Les rapports, La base de données du CGEDD*. http://www.cgedd.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/009548-06__rapport_cle534131.pdf (Page consultée le 24 décembre 2015).
- France. Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) de Poitou-Charentes (2015). L'économie circulaire en Poitou-Charentes : état des lieux, orientations et programme d'actions. In DREAL Poitou-Charentes. *Développement durable, Économie verte, Stratégie régionale d'économie circulaire Poitou-Charentes*. http://www.poitou-charentes.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/EC_Doc_Orientations_Programme_VF_cle7f31d3.pdf (Page consultée le 15 décembre 2015).
- Fréro, A. (2014). Économie circulaire et efficacité dans l'emploi des ressources : un moteur de croissance économique pour l'Europe. In La Fondation Robert Schuman-Le Centre de recherches et d'études sur l'Europe. *Publications, Question d'Europe n° 331*. <http://www.robert-schuman.eu/fr/questions-d-europe/0331-economie-circulaire-et-efficacite-dans-l-emploi-des-ressources-un-moteur-de-croissance> (Page consultée le 18 décembre 2015).
- Ghisellin, P., Cialani, C. et Ulgiati, S. (sous presse). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, p. 1-22.

- Institut d'aménagement et d'urbanisme (IAU) - Ile-De-France (2013). Économie circulaire, écologie industrielle - Éléments de réflexion à l'échelle de l'Île-de-France. *In* IAU. http://www.iau-idf.fr/fileadmin/NewEtudes/Etude_1036/Economie_circulaire_Ecologie_industrielle_IdF.pdf (Page consultée le 22 juillet 2015).
- Leprince, J.M. (9 décembre 2015). L'économie circulaire, ou comment recycler de A à Z. *In* Ici Radio Canada.ca. *Actualités, Environnement*. <http://ici.radio-canada.ca/nouvelles/environnement/2015/12/09/001-economie-circulaire-recyclage-entreprise-production-consommation.shtml> (Page consultée le 11 décembre 2015).
- Mat, N. et Cerceau, J. (2015). Économie circulaire et stratégies portuaires : Note stratégique et prospective. *In* Sefacil. *Accueil, Plus de téléchargement*. <http://sefacil.com/sites/sefacil.com/files/NoteStrategique-R%C3%A9sum%C3%A9.pdf> (Page consultée le 22 octobre 2015).
- Orée (sous presse). Création d'un référentiel national pour les démarches d'écologie industrielle et territoriales (document interne). France, Orée.
- Rochette, M. (2014). Le Parc de Bécancour est un modèle de symbiose industrielle. *In* Lapresse.ca, Le Nouvelliste, Vie régionale, Centre-du-Québec. <http://www.lapresse.ca/le-nouvelliste/vie-regionale/centre-du-quebec/201405/23/01-4769259-le-parc-de-becancour-est-un-modele-de-symbiose-industrielle.php> (Page consultée le 10 décembre 2015).
- Roussel, F. (5 janvier 2016). Economie circulaire : premières applications de la loi sur la transition énergétique. *In* Actu Environnement.com. *Actualités, Déchets / recyclage*. <http://www.actu-environnement.com/ae/news/economie-circulaire-premieres-applications-loi-transition-energetique-navires-comptabilite-25977.php4> (Page consultée le 5 janvier 2016).
- Vallée, E. (24 octobre 2006). Fermeture de Norsk Hydro : « C'est un jour très sombre ». *In* Le Courrier Sud, *Actualités, Économie*. <http://www.lecourriersud.com/Actualites/Economie/2006-10-24/article-565083/Fermeture-de-Norsk-Hydro:-«C&rsquoest-un-jour-tres-sombre»/1> (Page consultée le 10 décembre 2015).

ANNEXE 1 - RÉSULTATS DES SCÉNARIOS DE DÉCOUPLAGE POUR LA RÉALISATION D'UNE ÉCONOMIE CIRCULAIRE EN SUÈDE D'ICI 2030 (tiré de : Wijkman et Skanberg, 2014, p. 27)

	Renewable Case	Energy-efficiency	Material-efficiency	All Three Combined
Emission Reduction	-50 %	Almost -30 %	-10 %	Almost -70 %
Additional Jobs	Over + 5 000	+ 20 000	Over + 50 000	Over + 100 000
Trade Balance Effects	+ 1 % of GDP	+ 0,3 % of GDP	Over +2 % of GDP	Over + 3 % of GDP

ANNEXE 2 - CHRONOLOGIE DE L'ÉMERGENCE DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE (inspiré de : CIRAI, 2015, p. 21-26)

Date	Concepts clés et faits associés à l'émergence de l'économie circulaire
1890	District industriel : réseau d'inter-entreprises regroupées sur un territoire délimité pouvant conduire ainsi à la création d'une SI
1947	Écologie industrielle : les entreprises peuvent échanger les matières résiduelles et les employer comme matières premières
1972	Les limites de la croissance : publication du rapport « Halte à la croissance? »
	Symbiose de Kalundborg
1976	Économie en boucle fermée : étude des impacts d'un éventuel modèle d'économie en boucle fermée
1987	Développement durable : définition du concept du DD grâce au rapport Brundtland
1989	Écologie industrielle et écosystème industriel : introduction et généralisation du concept d'ÉI grâce à la publication de Frosch et Gallopoulos
1990	Économie circulaire : invention du terme employé alors pour la première fois dans le livre « <i>The circular economy</i> »
	Responsabilité élargie des producteurs
1997	Biomimétisme
2002	Production et consommation durable
	Du berceau au berceau ou <i>Cradle-to-cradle</i> (C2C)
2008	Adoption en Chine de la Loi sur l'ÉC
	Économie verte : initiative du Programme des Nations Unies pour l'environnement pour une économie verte
2010	Création de la Fondation Ellen MacArthur

ANNEXE 3 - CYCLE DE TRANSFORMATION DES PRODUITS DANS UNE ÉCONOMIE CIRCULAIRE (tiré de :
Le Moigne, 2014, p. 33-34)

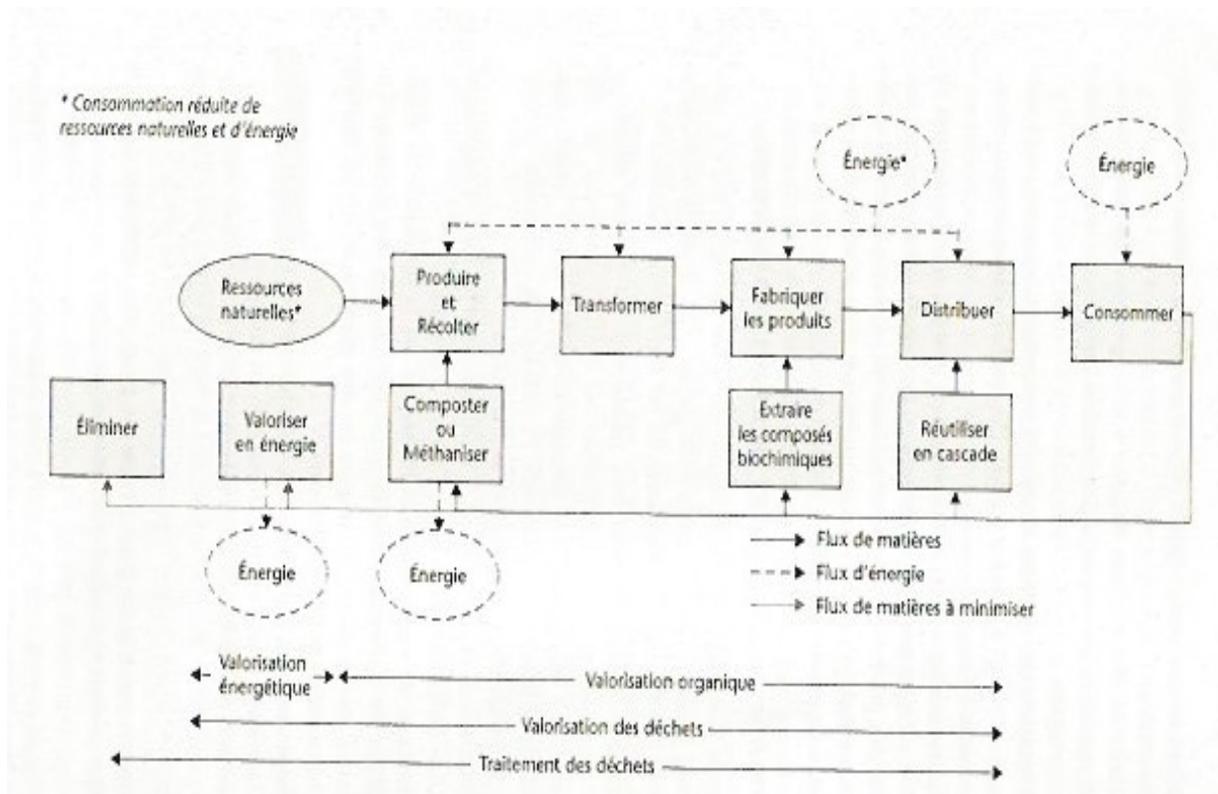


Figure A.1 Cycle de transformation des produits biologiques

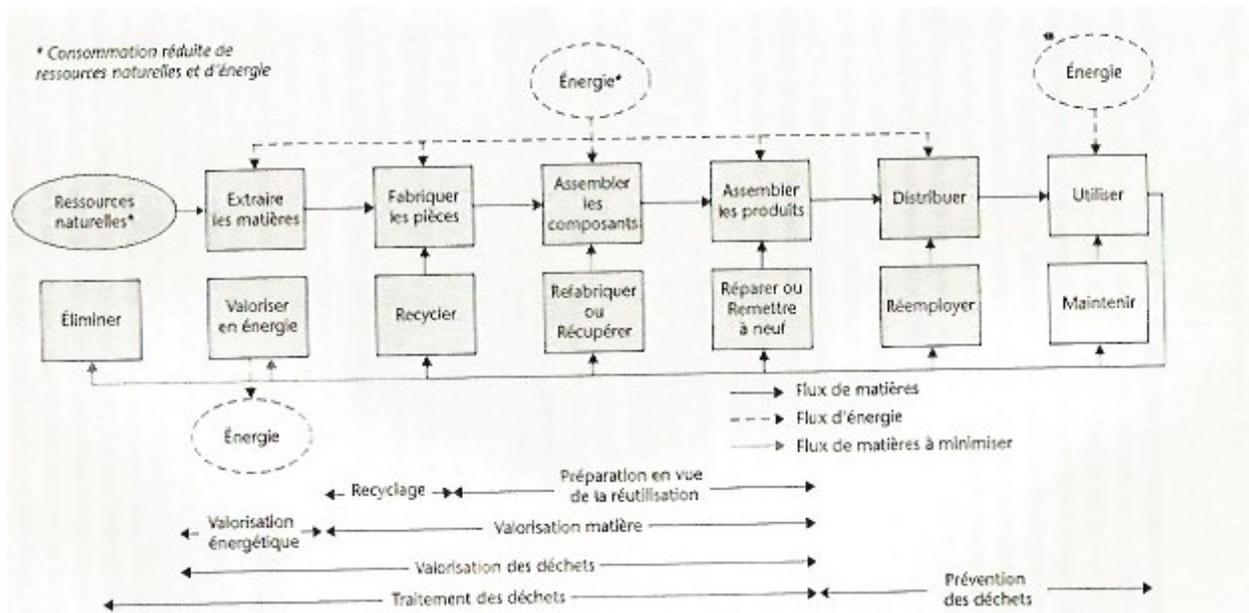


Figure A.2 Cycle de transformation des produits physiques

ANNEXE 4 - SEPT AXES POUR UN CERCLE VERTUEUX : L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE DANS LE DOMAINE AUTOMOBILE (tiré de : ADEME, 2012, p. 13)

1– L'écoconception : hausse de la durée de vie tout en réduisant la masse du pneu

2– L'écologie industrielle : les déchets des usines peuvent être valorisés comme combustibles alternatifs

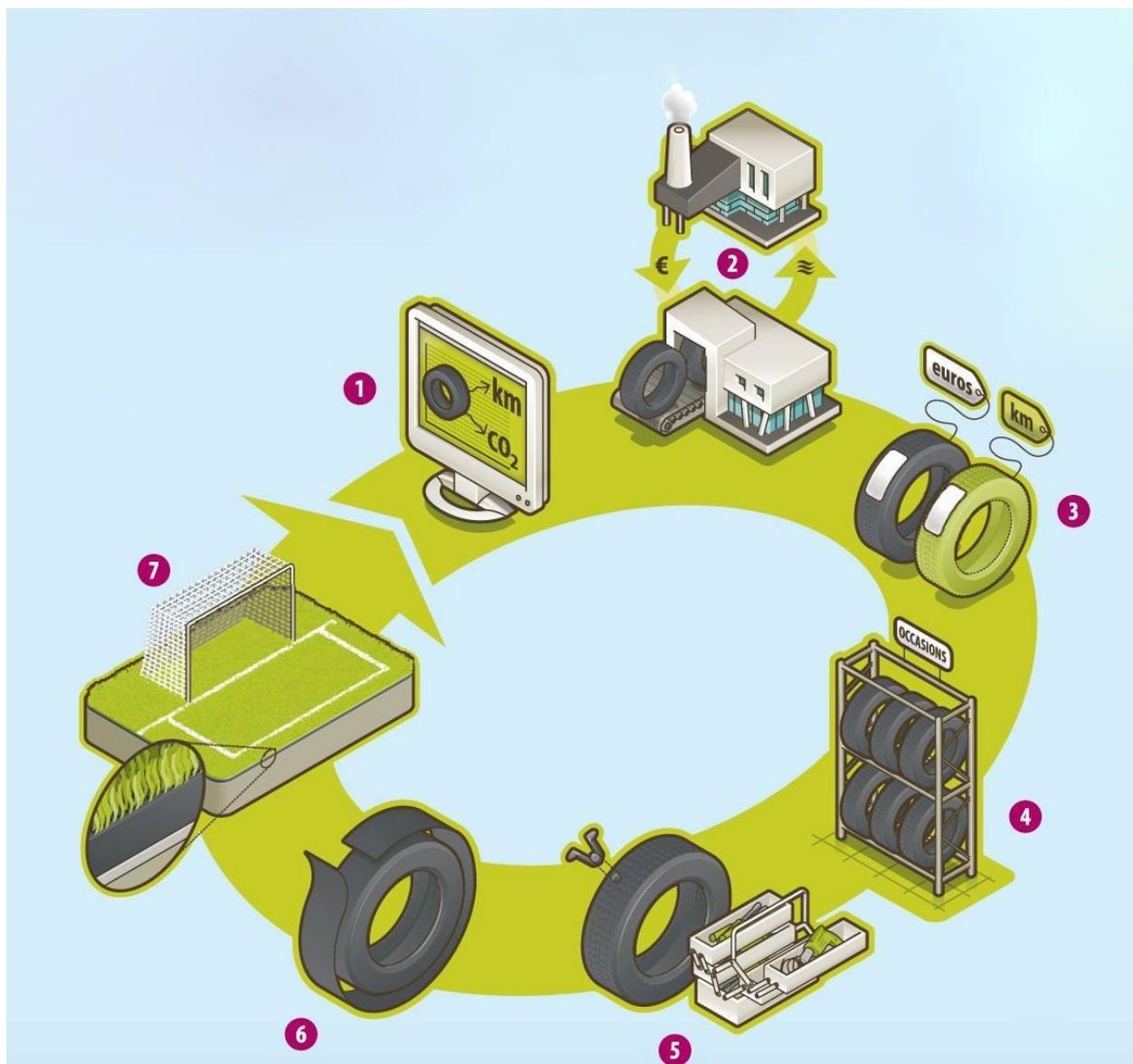
3– L'économie de fonctionnalité : location des pneus avec garantie de distance parcourue plutôt que la vente du pneu

4– Le réemploi : vente de pneus d'occasion

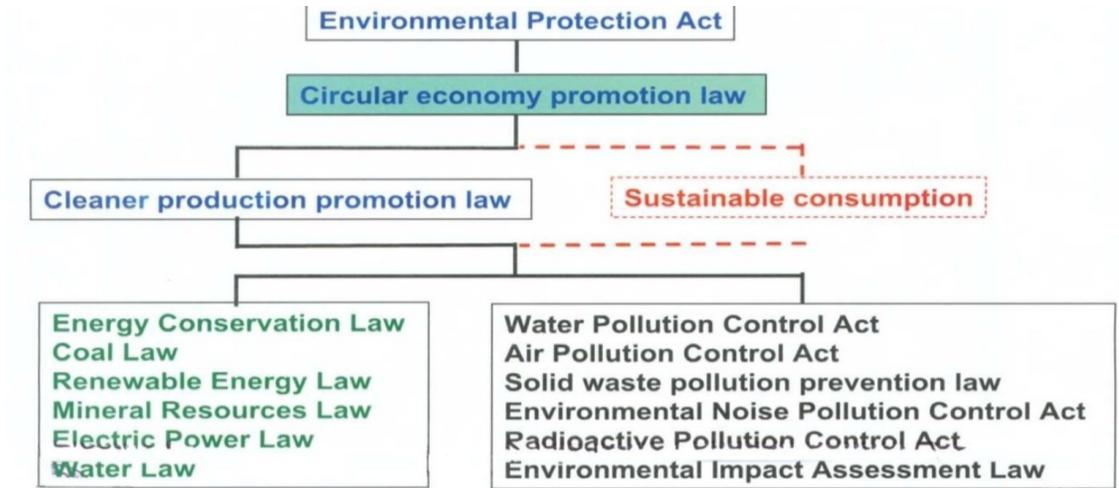
5– La réparation

6– La réutilisation : le rechapage des pneus augmente la durée de vie du pneu

7– Le recyclage : la fabrication des terrains de sport à partir de pneus recyclés



ANNEXE 5 - CADRE LÉGISLATIF CHINOIS POUR LA PROMOTION DE L'ÉCONOMIE CIRCUALIRE (tiré de :
Rouquet, et Nicklaus, 2014, p. 46)



ANNEXE 6 - COMPARAISON DES DIFFÉRENTES APPROCHES DE MESURE DE LA PERFORMANCE DES PROJETS D'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE (tiré de : Sidiropoulos et autres, 2010, p. 9)

Approach (references)	Purpose of the system	Context	Tools and others aids	Dimensions of measurement	Steps of design	Specific indicators	Application
Sustainable Development (SD) (Korhonen et autres, 2004)	Measurement of direct & indirect effects of waste management	Regional [waste management]	MFA, software tools, what-if analysis	Social, economic, environmental		✓	Satakunta regionet Pielinen Karelia (Finland)
Balanced Scorecard (BSC) (Korhonen, et Baumgartner, 2009)	Performance measurement	Industrial ecosystem	BSC, IE principles	Roundput, symbiosis, diversity, locality]			✗
The Natural Step (TNS) (Sokka et autres, 2008)	Sustainability performance measurement of industrial symbiosis	Local/ regional/ global	TNS, EF, LCA, LCC, MFA, MIPS, RA, SIA, SLCA, FX	Spatial dimension (local, regional, global) System condition	✓		Forest-industry-based industrial symbiosis (Finland)
Eco-Industrial Park (EIP) (Geng et autres, 2008a) / (Geng et autres, 2008b)	Monitor & measure the performance of existing EIP projects	Industrial park	✗	Economic development:, material reduction /recycling, pollution control, administration & management		✓	Tianjin Economic Development Area (TEDA) and Dalian Economic Development Zone (DEDZ) (China)
Six Capital Model (SCM) approach.	Assess the wider benefits of industrial symbiosis	Regional :	TBL, SCM,	Natural capital, ecosystem capital, human capital, community capital, manufactured capital, financial capital		✓	Kwinana Industrial Area (Australia)

: Absence d'indications concernant l'outil de conception de l'approche ou d'indicateurs spécifiques

✓: Présence d'indications concernant l'outil de conception de l'approche ou d'indicateurs spécifiques

* Material Flows Analysis (MFA), Balanced Scorecard (BSC), The Natural Step (TNS), Ecological Footprinting (EF), Life Cycle Analysis (LCA), Life Cycle Costing (LCC), Material Intensity per Service Unit (MIPS), Risk Assessment (RA), Social Impact Assessment (SIA), Social Life Cycle Assesment (SLCA), Factor X (FX), Triple Bottom Line (TBL), Six Capital Model (SCM)

ANNEXE 7 - LES INDICATEURS CHINOIS D'ÉCONOMIE CIRCULAIRE À L'ÉCHELLE MÉSOÉCONOMIQUE

(traduction libre de : Su et autres, 2012, p. 219)

Tableau A.1 Indicateurs d'économie circulaire selon la hiérarchie de 3R

Dimensions	Indicateurs
Taux de sortie de ressources	Taux de sortie des principales ressources minérales
	Taux de sortie de terre
	Taux de sortie d'énergie
	Débit de sortie en eau
Taux de consommation de ressources	La consommation d'énergie par unité de valeur de la production
	La consommation d'énergie par unité de production dans le secteur industriel
	La consommation d'eau par unité de valeur de la production
	La consommation d'eau par unité de production dans le secteur industriel
Utilisation intégrée des ressources	Taux d'utilisation des déchets solides industriels
	Taux de réutilisation des eaux industrielles
	Taux de recyclage des eaux usées industrielles
Réduction de déchets générés	Diminution du taux de génération des déchets solides industriels
	Diminution du taux de production des eaux usées industrielles

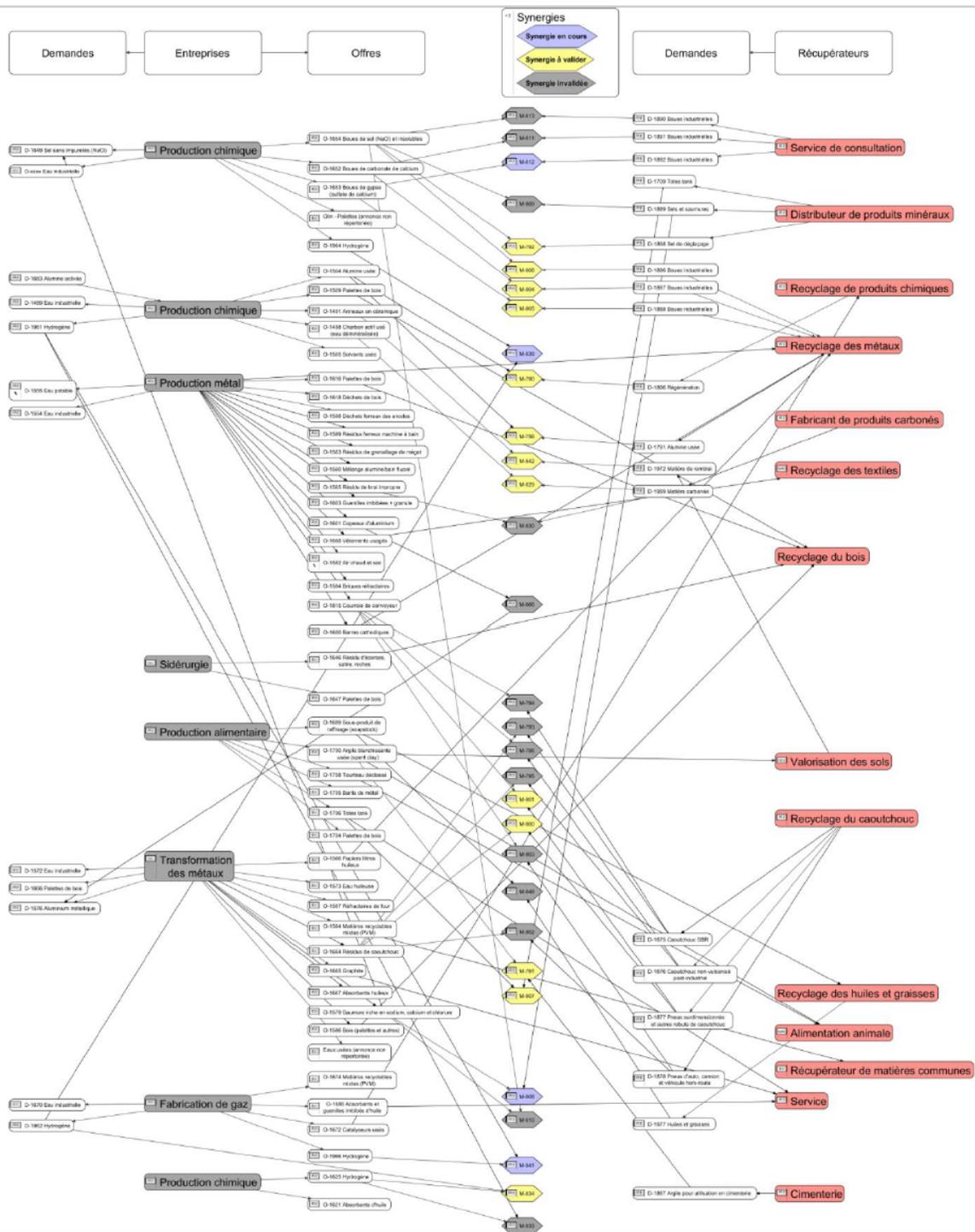
Tableau A.2 Indicateurs d'économie circulaire mesurant les impacts du modèle circulaire

Dimensions	Indicateurs
Développement économique	Valeur industrielle ajoutée par habitant
	Taux de croissance de la valeur industrielle ajoutée
Matériau de réduction et recyclage	Consommation d'énergie par unité de valeur industrielle ajoutée
	Consommation d'eau douce par unité de valeur industrielle ajoutée
	Production d'eaux usées industrielles par unité de valeur industrielle ajoutée
	Production de déchets solides par unité de valeur industrielle ajoutée
	Rapport de réutilisation des eaux industrielles
	Taux d'utilisation des déchets solides industriels
	Rapport de réutilisation des eaux
Lutte contre la pollution	Charge de la demande chimique en oxygène par unité de valeur industrielle ajoutée
	Émissions de SO ₂ par unité de valeur industrielle ajoutée
	Taux d'épuration de déchets solides dangereux
	Taux de traitement prévu des eaux usées domestiques
	Taux de traitement des ordures ménagères
	Système de collecte des déchets
	Installations fournies pour le traitement et l'élimination des déchets
	Système de gestion de l'environnement
Administration et gestion	Étendue de la mise en place de la plateforme d'information
	Publication de rapport environnemental
	Taux de satisfaction du public à la qualité environnementale locale
	Mesure de degré de sensibilisation du public au développement éco-industriel

ANNEXE 8 - MÉTHODOLOGIE ET ÉTAPES D'IMPLANTATION D'UNE SYMBIOSE INDUSTRIELLE (tiré de :
CTTÉI, 2013, p. 18)

<p>1. Élaboration du projet</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Délimiter le territoire où aura lieu la symbiose. • Identifier, solliciter et mobiliser les partenaires. • Faire le montage financier du projet. • Lancer et diffuser le projet.
<p>2. Diagnostic territorial</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Identifier les parties prenantes et analyser les enjeux locaux. • Comprendre les caractéristiques industrielles du milieu. • Identifier les filières existantes de mise en valeur. • Sélectionner les organisations à solliciter.
<p>3. Recrutement des participants et collecte de données</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Contacter les organisations sélectionnées. • Collecter des données sur les flux de matières des organisations participantes afin d'en dresser une cartographie (intrants/demandes et extrants/offres). • Compiler les informations recueillies.
<p>4. Identification des synergies potentielles</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Identifier et analyser les opportunités de synergies à partir des offres et demandes formulées par les organisations à l'étape 3. • Évaluer et prioriser les synergies les plus porteuses en fonction des critères des organisations participantes, de leur faisabilité technique et des gains qu'elles peuvent apporter.
<p>5. Mise en place et suivi</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Communiquer les synergies potentielles aux organisations concernées. • Assister les organisations dans leur processus de décision. • Accompagner les organisations dans la mise en œuvre des recommandations. • Tester et évaluer la faisabilité économique, technique, logistique, etc. Au besoin, réaliser des essais préliminaires en laboratoire, en industrie, sur site ou en consultant des experts. • Définir les modalités d'échange. Au besoin, servir d'intermédiaire neutre dans les négociations et les discussions entre les intervenants impliqués dans la synergie. • Faire le suivi de l'avancement des échanges, recueillir des informations sur les retours d'expérience et diffuser les résultats.

ANNEXE 9 - SCHÉMA DE LA SYMBIOSE DE BÉCANCOUR EN SEPTEMBRE 2012 (tiré de : Markewitz et autres, 2013, p. 8)



**ANNEXE 10 - RÉSULTAT DU CALCUL DE GAINS À LA SYMBIOSE INDUSTRIELLE DE BÉCANCOUR DES
28 SYNERGIES CONCRÉTISÉES (tiré de : Finlayson, 2014, p. 74)**

No. de synergie	Gain économique (\$)	Quantité de matière mise en valeur (tonnes)	Impact environnemental évité : santé humaine (10 ⁻³ DALY)	Impact environnemental évité : qualité des écosystèmes (PDF*m ² *an)	Impact environnemental évité : changement climatique (tonnes CO ₂ éq)	Impact environnemental évité : ressources non renouvelables (GJ)
S1	0	8	5,53	979,09	6,78	456
S2	0	1,52	1,6	192,4	1,11	96,87
S3		0.37	0,39	47,03	0,27	23,68
S4	0	1681,25	8005	439 448,15	7257,59	153 587,19
S5		7,45	7,81	940,56	5,42	473,55
S6	20 000	70				
S7	0	0,72	0,5	88,12	0,61	41,04
S8	0	15	12,1	825,61	16,02	293,18
S9	0	30	3,45	3457,91	3,05	41,74
S10	0	0,5	1,44	202,6	1,03	15,55
S11	0	0,8	0,55	97,91	0,68	45,6
S12	0	7,5	5,19	917,9	6,36	427,5
S13	0	10	6,92	1223,86	8,48	570
S14	0	0,14	0,09	16,68	0,12	7,77
S15	0	0,37	0,39	47,03	0,27	23,68
S16	0	2,2	1,51	1821,69	1,05	19,59
S17	0	1,52	1,6	192,4	1,11	96,87
S18	0	250	28,79	28 815,91	25,44	347,81
S19	0	1,52	1,6	192,4	1,11	96,87
S20	0	86 000	7980	1 819 705,98	20 810,41	341 045,63
S21	0	1,3	2,17	1492,43	2,01	59,06
S22	0	100	69,16	12 238,61	84,81	5700,04
S23	20 000	40	183,71	66 475,58	157,52	3144,65
S24	0	15	12,1	825,61	16,02	293,18
S25	863 0	11	1,27	1267,9	1,12	15,3
S26	9000	100	288,87	40 519,36	205,12	3109,89
S27	30 000	250				
S28						
28 synergies	79 000	88 606	16 622	2 422 033	28 614	510 032

ANNEXE 11 - INDICATEURS DES LIGNES DIRECTRICES POUR LE REPORTING DÉVELOPPEMENT DURABLE

(tiré de : GRI, 2013, p. 64)

Catégorie	Économie	Environnement			
Aspects ^{IV}	<ul style="list-style-type: none"> • Performance économique • Présence sur le marché • Impacts économiques indirects • Pratiques d'achat 	<ul style="list-style-type: none"> • Matières • Énergie • Eau • Biodiversité • Émissions • Effluents et déchets ▸ Produits et services • Conformité • Transport • Généralités • Évaluation environnementale des fournisseurs • Mécanismes de règlement des griefs environnementaux 			
Catégorie	Social				
Sous-catégories	Pratiques en matière d'emploi et travail décent	Droits de l'homme	Société	Responsabilité liée aux produits	
Aspects ^{IV}	<ul style="list-style-type: none"> • Emploi • Relations employeur/ employés • Santé et sécurité au travail • Formation et éducation • Diversité et égalité des chances • Égalité de rémunération entre les femmes et les hommes • Évaluation des pratiques en matière d'emploi chez les fournisseurs • Mécanismes de règlement des griefs relatifs aux pratiques en matière d'emploi 	<ul style="list-style-type: none"> • Investissement • Non-discrimination • Liberté syndicale et droit de négociation collective • Travail des enfants • Travail forcé ou obligatoire • Pratiques en matière de sécurité • Droits des peuples autochtones • Évaluation • Évaluation du respect des droits de l'homme chez les fournisseurs • Mécanismes de règlement des griefs relatifs aux droits de l'homme 	<ul style="list-style-type: none"> • Communautés locales • Lutte contre la corruption • Politiques publiques • Comportement anticoncurrentiel • Conformité • Évaluation des impacts des fournisseurs sur la société • Mécanismes de règlement des griefs relatifs à l'impact sur la société 	<ul style="list-style-type: none"> • Santé et sécurité des consommateurs • Étiquetage des produits et services • Communication marketing • Vie privée des clients • Conformité 	

ANNEXE 12 - INDICATEURS TERRITORIAUX DE DÉVELOPPEMENT DURABLE DES TERRITOIRES DE LA HAUTE-NORMANDIE (tiré de : Territoires Haute-Normandie, s. d.)

Thème	Orientation	Indicateur
Changement climatique et maîtrise de l'énergie	Maîtriser la consommation d'énergie et développer les énergies renouvelables	Évolution de la consommation d'énergie finale ramenée au PIB régional
		Production d'électricité issue des énergies renouvelables
	Réduire les émissions de GES et anticiper les effets du changement climatique	Émissions de gaz à effet de serre hors puits Indice de température saisonnier
Transport durable	Rendre soutenable le transport de biens	Part du transport de marchandises par voies ferrées ou fluviales
	Faire évoluer les pratiques de mobilité	Évolution des parts modales des déplacements domicile-travail
	Gérer et limiter les impacts négatifs du transport	Évolution du nombre d'accidentés graves de la route
		Densité d'habitants exposés au bruit routier Émissions dans l'air dues au transport
Consommation et production durables	Privilégier des procédés de production et des comportements de consommation responsables	Prélèvements en eau par usages
		Production de granulats par habitant
		Part de l'agriculture biologique dans la surface agricole utilisée
	Limiter et valoriser les déchets	Évolution de la quantité de déchets ménagers collectés par habitant Taux de valorisation des déchets ménagers et assimilés
Conservation et gestion des ressources naturelles	Préserver la biodiversité	Part de superficie en sites Natura 2000
		Fragmentation des milieux naturels
		État des peuplements piscicoles des rivières
	Veiller au bon état des ressources naturelles : air – eau – sol	Évolution des espaces artificialisés
		Indice atmo de la qualité de l'air
		Qualité de l'eau des rivières (concentration en nitrates et en pesticides)
Santé publique et prévention des risques	Prévenir et gérer les risques majeurs et chroniques technologiques et naturels	Logements non raccordés à un système d'assainissement des eaux usées
		Évolution de la population dans les communes déclarées à risque naturel majeur
		Population exposée à un risque d'inondation Nombre d'arrêtés de catastrophes naturelles parus au JO

ANNEXE 12 - INDICATEURS TERRITORIAUX DE DÉVELOPPEMENT DURABLE DES TERRITOIRES DE LA HAUTE-NORMANDIE (suite)

Thème	Orientation	Indicateur
	Garantir l'accès aux soins et promouvoir une attitude favorable à la santé	Taux de mortalité prématurée
		Accessibilité aux soins de proximité
		Espérance de vie à la naissance
Cohésion sociale et territoriale	Favoriser l'inclusion sociale des populations (équité et mixité sociales)	Taux de pauvreté
		Chômage de longue durée
		Occupation des résidences principales
		Taux de sortie sans diplôme
	Développer les solidarités intergénérationnelles sur le territoire	Disparités de niveaux de vie par unité de consommation
		Taux de dépendance économique projeté
Organiser des pôles de vie accessibles à tous Temps moyen de déplacements domicile-travail	Part des jeunes non insérés (ni en emploi, ni scolarisés)	
	Accessibilité aux services	
Société de la connaissance et développement économique et social	Encourager des formes de compétitivité pour une croissance durable	Temps moyen de déplacements domicile-travail
		Potentiel de développement
		Taux de croissance du PIB réel régional par habitant
	S'adapter aux changements structurels de l'économie et répondre aux défis de la mondialisation	Effort de recherche : dépenses de R&D rapportées au PIB
		Ouverture à l'international : part des emplois appartenant à des établissements ou des entreprises dépendant de l'étranger
		Taux de création et de survie à 5 ans des entreprises
	Favoriser le développement du capital humain et valoriser le potentiel d'emploi	Evolution du niveau de qualification des jeunes (15-29 ans)
		Taux d'emploi
	Bonne gouvernance	Favoriser une stratégie et un pilotage partagés pour un développement territorial durable
Participation aux élections législatives au premier tour		
Renforcer la coopération et la solidarité entre territoires		Budget de la coopération décentralisée (de l'ensemble des collectivités territoriales)
		Coopération intercommunale : part des dépenses des groupements de communes dans le secteur communal

ANNEXE 13 - INDICATEURS D'ÉCONOMIE CIRCULAIRE DU CONSEIL NATIONAL DE L'INDUSTRIE (tiré de : CNI, 2015)

Indicateurs environnementaux	
INDICATEURS DÉCHETS	
Taux de recyclage des déchets	Quantité de déchets recyclés/quantité de déchets collectés
Taux de valorisation matière des déchets	Quantité de déchets valorisés sous forme matières/quantité de déchets collectés
Taux de valorisation des déchets	Quantité de déchets valorisés/Quantité de déchets collectés ou traités
Taux d'utilisation de matières premières de recyclage	Quantité de MPR utilisées/Quantité de MP produites
INDICATEURS EFFICACITÉ DE PRODUCTION	
Efficacité énergétique	Quantité d'énergie consommée/Quantité de MP produites
Taux d'émission de CO2	Quantité de CO2 émis/Quantité de produits ou matières fabriqué(e)s ou extrait(e)s
Efficacité matière	Quantité de MP produites/Quantité de ressources extraites
	Quantité de produits fabriqués/Quantité de MP utilisées
	Quantité de déchets produits/Quantité de MP utilisées
Efficacité eau	Quantité d'eau consommée/Quantité de produits fabriqués
Indicateurs de performances industrielles	
Nombre de démarches d'écologie industrielle	
Nombre d'entreprises impliquées dans des synergies d'écologie industrielle	
Taux d'installations certifiées (ISO 50001)	Nombre d'installations certifiées/nombre d'installations totales
INDICATEURS PRODUITS	
Quantité de produits réemployés ou réutilisés	
Quantité de produits bénéficiant d'un programme d'économie de fonctionnalité	
Durée de vie des produits	
Durée d'usage des produits	
Consommation énergétique des produits	
Taux de collecte	Quantité de déchets collectés/Quantité de produits mis sur le marché
Taux de recyclage des produits	Quantité de produits recyclés/Quantité de produits mis sur le marché
Taux de réparabilité	Nombre de produits pouvant être réparés/nombre de produits mis sur le marché
Taux d'affichage environnemental des produits	Nombre de produits possédant un affichage environnemental/nombre de produits fabriqués
Taux d'écoconception des produits	Nombre de produits éco-conçus/nombre de produits fabriqués
Taux de remanufacturing	Nombre de produits remanufacturés/nombre de produits fabriqués

ANNEXE 13 - INDICATEURS D'ÉCONOMIE CIRCULAIRE DU CONSEIL NATIONAL DE L'INDUSTRIE (suite)

Taux de produits éco-labellisés	Nombre de produits éco-labellisés/nombre de produits fabriqués
Taux d'incorporation de MPR dans les produits	Quantité de MPR contenues/Quantité de MP totales
Indicateurs économiques	
Nombre d'entreprises créées ou impliquées	
Potentiel de reproductibilité du projet	
Nombre de filières/acteurs engagés dans l'action	
Nombres d'emplois créés ou associés	
Chiffres d'affaires créés ou associés	
Montant des investissements	
Économie réalisée	
Part du CA consacré (pour les investissements, pour la R&D, pour le projet, etc.)	
Nombre de filières concernées	
Indicateurs sociétaux	
Nombre de clients concernés/sensibilisés	
Nombre de salariés impliqués/sensibilisés	
Nombre d'habitants concernés	
Surface du territoire concernée	
Surface de territoire économisée	
Nombre de programmes de promotion	
Nombre d'acteurs territoriaux impliqués	
Surface/quantité de patrimoine restauré	
Nombre d'emplois en réinsertion	

ANNEXE 14 - GRILLE D'INDICATEURS POUR LA MESURE DE LA SYMBIOSE INDUSTRIELLE DE BÉCANCOUR (inspiré de : GRI, 2013; Su et autres, 2012, p. 219; CNI, 2015; Dain, 2010 et Territoires de Haute-Normandie, s. d.)

Critères	Sous-critères	Indicateurs retenus	Valeurs
Gestion de la symbiose industrielle			
Gouvernance	Acteurs	Nombres d'acteurs participant au projet selon leurs catégories, en phase 1, 2 et 3 : - entreprises - collectivités et institutions - établissements de recherches	
		Pourcentage d'acteurs participant au projet par rapport au nombre total d'acteurs sur le site (%)	
		Nombre d'acteurs situés au-delà des frontières du parc (>50Km)	
	Coordination	Nombre d'acteurs participant dans la gouvernance et la prise de décisions	
		Nombre de rencontres annuelles et de suivi entre acteurs	
		Qualité des relations entre acteurs (bonne ou mauvaise)	
	Promouvoir la popularité de la symbiose	Nombre d'actions de réseautage et de visibilité	
		Degré de sensibilisation de la population à la symbiose (%)	
Dimension environnementale			
Gérer les ressources et la biodiversité de façon responsable	Réduire la consommation des ressources primaires et promouvoir les approvisionnements locaux	Pourcentage des achats locaux (%)	
		Taux des matières premières non renouvelables et renouvelables consommées (%)	
		Réduction de la consommation en eau suite à une synergie ou une réutilisation interne de la ressource hydrique (m ³ évités et %)	
		Réduction de la consommation en matières premières suite à une synergie (t et %)	
		Biens mutualisés : - nombre de locaux mutualisés (m ³) - nombre de véhicules mutualisés - nombre d'employés - autres infrastructures	
	Valoriser les déchets comme ressources	Taux et volume total d'eau (traitée et non traitée) recyclée et réutilisée (m ³ évités et %)	
		Quantité de matières (coproduits) réintégrées dans le flux industriel (t)	
		Quantité de matières détournées de l'enfouissement (t)	

ANNEXE 14 - GRILLE D'INDICATEURS POUR LA MESURE DE LA SYMBIOSE INDUSTRIELLE DE BÉCANCOUR (suite)

Critères	Sous-critères	Indicateurs	Valeurs
Dématérialiser l'économie	Viser l'efficacité matière et l'innovation	Efficacité des ressources hydriques	
		Taux d'incorporation de matières premières recyclées dans les produits	
		Efficacité matière ⁽¹⁾ : - Quantité de produits fabriqués / Quantité de MP utilisées - Quantité de déchets produits / Quantité de MP utilisées	
		Nombre d'entreprises concernées par un changement dans la chaîne de production suite à une synergie de sous-produit	
		Nombre d'entreprises adoptant l'écoconception de produits en vue de leur réutilisation, récupération ou recyclage	
		Taux d'écoconception des produits	
		Nombre d'entreprises et organismes bénéficiant d'un programme d'économie de fonctionnalité	
		Nombre d'entreprises concernées par l'approche RÉP ou ayant engagé une démarche de reverse supply chain/Closed-loop supply chain	
Décarboniser l'économie	Réduire les émissions de GES et contrôler la pollution	Part des investissements consacrée à la mise en place de technologie de dépollution et aux CC	
		Réduction de l'émission de CO ₂ et autres gaz suite à une synergie ou une réutilisation interne (t eq CO ₂ évité)	
	Favoriser les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique : réduire les émissions de gaz à effet de serre et lutter contre les CC	Réduction de l'intensité énergétique consommée	
		Taux d'indépendance énergétique	
		Part des énergies renouvelables dans la consommation finale brute d'énergie	
		Investissements antipollution dans l'industrie	
	Soutenir la mobilité durable	Taux d'émissions indirectes de GES liées à l'énergie	
		Nombre de synergies pour un transport commun de ressources et marchandises	
		Taux de réduction des émissions indirectes de GES liées au transport	
		Part modale des transports de marchandises non routiers dans le transport intérieur terrestre de marchandises	
Responsabilité environnementale	Conformité environnementale	Réduction des émissions indirectes de GES grâce au recyclage	
		Nombre d'amendes en moins depuis la mise en place de la SI	
	Engagement pour un développement durable	Investissement dédié au financement de projet de recherches et développement lié à la gestion de l'environnement et de DD	
		Nombre d'entreprises de la SIB à disposer de politiques environnementales (politique DD, politique achat responsable)	

¹: CNI, 2015

ANNEXE 14 - GRILLE D'INDICATEURS POUR LA MESURE DE LA SYMBIOSE INDUSTRIELLE DE BÉCANCOUR (suite)

Critères	Sous-critères	Indicateurs retenus	Valeurs
Dimension sociale			
Bien-être et développement territorial durable	Augmenter l'attractivité du territoire	Taux d'entreprises sur le territoire par rapport à la moyenne du reste de la région administrative	
		Évolution du nombre d'entreprises sur le territoire à la suite de la mise en place de la symbiose : - nombre d'entreprises présentes - nombre d'entreprises créées - nombre d'entreprises fermées	
		Évolution du nombre de postes depuis la création de la SI : - nombre d'emplois créés - nombre d'emplois maintenus - nombre d'emplois créés en matière d'environnement et développement durable	
		Taux de chômage sur le territoire	
		Proportion des cadres et des employés embauchés localement	
	Améliorer la prévention et la santé de la population	Nombre de rencontres et d'actions communes en matière de lutte contre CC avec les municipalités avoisinantes	
		Mutualisation de programmes d'adaptation aux CC sur site/Plan d'urgence en situation extrême	
	Renforcer la complémentarité des initiatives de DD et de lutte contre les CC	Investissements dans les communautés	
		Nombre d'entreprises ayant engagé des ateliers de sensibilisation et formation de leurs employés	
	Dimension économique		
S'engager dans une économie verte et soutenable	Performance économique	Bénéfices économiques annuels engendrés par (dollars canadiens par an) : - les synergies de sous-produits - les synergies de mutualisations	
	Gains de la réduction des émissions de GES	Bénéfices économiques des démarches de réduction de GES dans le cadre du SPEDE (dollars canadiens par an) : - coûts évités pour la compensation des GES - bénéfices de la vente du crédit carbone	

ANNEXE 15 - FICHE D'APPRÉCIATION SUR LE DEGRÉ D'APPLICATION DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE SUR LE SITE DE BÉCANCOUR (inspiré de : *Ellen MacArthur Foundation*, 2013a; ADEME, 2015a)

Jusqu'à quel point la mise en place de la symbiose industrielle a permis au site de Bécancour de mettre en pratique, par la même occasion, les principes du modèle d'économie circulaire.

Pour y répondre, la grille d'analyse permet d'exprimer l'appréciation du sondeur sur la potentielle démarche circulaire sur le site de Bécancour.

Après compréhension et maîtrise des concepts fondamentaux de l'économie circulaire retenus pour la mesure de la démarche d'économie circulaire sur le site de Bécancour, le sondeur tente de donner à chaque critère d'évaluation une note relative qui permet d'évaluer si le concept et ses fondements sont déjà appliqués ou non sur le site.

L'échelle de numérotation est une appréciation graduée selon une échelle de 1 à 5 :

- 1 Pas du tout d'accord avec les énoncés du principe
- 2 Pas d'accord avec les énoncés du principe
- 3 Ni en désaccord ni d'accord avec les énoncés du principe
- 4 D'accord avec les énoncés du principe
- 5 Tout à fait d'accord avec les énoncés du principe

LES CONCEPTS FONDAMENTAUX DE L'ECONOMIE CIRCULAIRE

1 Conception systémique

Les écosystèmes sont formés d'ensembles dynamiques interreliés et complexes et doivent donc être analysés dans leur globalité. L'approche en silos et de spécialisation ne peuvent être envisagées. Ainsi, l'écosystème industriel est analysé dans son ensemble sans négliger ses impacts sur le contexte social et environnemental qui l'entoure. De l'étude du métabolisme industriel, des stratégies flexibles et adaptatives sont ainsi conçues.

- ❖ Fondements du principe à mettre en place en économie circulaire :
 - Analyse des flux de matières et d'énergie
 - Métabolisme industriel

2 Prévention des déchets par l'écoconception

Le déchet le plus facile à éliminer est celui qui n'a pas été produit! Les produits doivent pour cela être conçus dès le départ afin que leurs composants biologiques ou techniques soient réintroduits dans le

même procédé duquel ils sont issus ou dans un nouveau processus industriel servant à un autre usage. Ce principe appelle donc à une approche de cycle de vie et à mettre en pratique l'écoconception afin de retarder la fin de vie d'un produit et de permettre son utilisation en cascade.

- ❖ Fondements du principe à mettre en place en économie circulaire :
 - Approche cycle de vie
 - Écoconception et approche Cradle to cradle

3 Approvisionnement durable

L'approvisionnement en ressources (eau, sol, matières premières, énergie) doit être réfléchi de façon à ce qu'il soit responsable. Ainsi, tout gaspillage doit dès le départ être pensé et évité, les extractions de matières premières sont donc limitées et dans le respect de la capacité de charge de l'environnement. L'approvisionnement durable doit de plus favoriser les énergies renouvelables et utiliser des technologies respectueuses de l'environnement pour leurs extractions. Enfin, dans la mesure du possible, l'extraction de matières premières est remplacée par l'utilisation de matières recyclées comme ressources aux processus de fabrication

- ❖ Fondements du principe à mettre en place en économie circulaire :
 - Utilisation de procédés technologiques à faibles impacts environnementaux
 - Utilisation efficace des ressources
 - Utilisation des ressources issues du recyclage et d'origine renouvelable

4 Résilience renforcée à travers la diversité

La diversité d'un écosystème naturel crée sa stabilité et son équilibre. Il en est de même pour un écosystème industriel. Ainsi, les systèmes industriels les plus résilients et adaptatifs aux variations des conditions externes sont ceux qui ont un maillage dense et formé d'acteurs variés. La soutenabilité et l'adaptativité des réseaux sont alors plus importantes que les seuls objectifs d'efficacité et de maximisation des rendements

- ❖ Fondements du principe à mettre en place en économie circulaire :
 - Connaissance du métabolisme industriel et des réseaux d'acteurs
 - Maillage entre différents acteurs et création de symbioses industrielles au-delà du simple territoire d'un écoparc
 - Arrimage territorial

5 Fonctionnement en cascade

Un déchet est une matière résiduelle qui peut encore créer de la valeur jusqu'à devenir un déchet ultime dont la seule finalité est alors l'enfouissement. Les flux de matières doivent être organisés en boucles fermées et les extrants d'un cycle de production et de transformation peuvent alors être utilisés comme ressources pour une nouvelle boucle. Les matières résiduelles peuvent alors être utilisées dans une cascade de transformations permettant leur mise en valeur.

- ❖ Fondements du principe à mettre en place en économie circulaire :
 - Hiérarchie des 3R
 - Les rejets des uns sont les ressources des autres
 - Mise en place de synergies de sous-produits et de mutualisation

6 Utilisation des énergies renouvelables

Un écosystème industriel mature doit, à l'image des écosystèmes naturels, concourir à l'utilisation de simples sources d'énergies renouvelables. Un projet d'économie circulaire doit donc tendre vers l'efficacité énergétique. De ce fait, les énergies fossiles doivent être réduites dans la mesure du possible et remplacées par des énergies renouvelables, pour lesquelles un fonds de recherche doit être consacré par les porteurs de projet. De même, le potentiel énergétique des sous-produits et des déchets industriels doivent être valorisés.

- ❖ Fondements du principe à mettre en place en économie circulaire :
 - Promotion des énergies et des ressources renouvelables

7 Économie de fonctionnalité comme modèle d'affaires

Dans un monde où les ressources tendent à se raréfier, l'économie de fonctionnalité peut être une alternative pour garder les matières à l'intérieur de la chaîne de production. Ainsi, au lieu de produire un bien et de le vendre, le manufacturier remplace la vente du bien matériel par la vente du service offert par ce bien. Le produit reste ainsi toujours la propriété de l'industriel qui, à en fin d'usage du produit, le récupère et le réintroduit, après les transformations nécessaires, dans la chaîne manufacturière.

- ❖ Fondements du principe à mettre en place en économie circulaire :
 - Substitution de la vente du produit par la vente de son usage

Paramètres d'analyses en ÉC	Est-ce que Bécancour met en pratique les fondements de l'ÉC?						Commentaires
	0	1	2	3	4	5	
Conception systémique							
Prévention des déchets et écoconception							
Approvisionnement durable							
Résilience renforcée à travers la diversité							
Fonctionnement en cascade							
Utilisation des énergies renouvelables							
Économie de fonctionnalité							

1 Pas du tout d'accord 3 Ni en désaccord ni d'accord 5 Tout à fait d'accord
2 Pas d'accord 4 D'accord