

L'écologie industrielle et territoriale peut-elle s'affirmer comme un véritable modèle de développement durable pour les pays du Sud ? Illustration par le cas de la symbiose industrielle de Tampico au Mexique²⁰

Arnaud Diemer, Manuel Eduardo MORALES RUBIO

Université Clermont Auvergne, OR2D, ADAPTECON II - CONACYT

Résumé

Le champ de l'écologie industrielle et territoriale, longtemps associé aux expériences menées dans les pays développés, ouvre de nouvelles perspectives d'industrialisation pour les pays du Sud. Nous insistons plus précisément sur une forme particulière d'écologie industrielle et territoriale (EIT), la symbiose industrielle. Les symbioses industrielles sont porteuses de bénéfices environnementaux, économiques et sociaux pour les entreprises impliquées dans une relation de collaboration. Selon nous, elles illustrent d'une part, la nécessaire interdépendance entre plusieurs processus de production de différentes firmes et le bouclage des flux d'énergie et de matière à mettre en œuvre à l'intérieur d'une zone d'activité industrielle territorialisée et d'autre part, l'avènement d'un modèle de durabilité forte en termes de développement socioéconomique.

Mots clés

Coopération, Développement industriel, Résilience, Symbiose, Tampico

Il est généralement admis que l'acte fondateur de l'écologie industrielle revient à deux employés de General Motors, Robert Frosch, vice-président de la recherche et Nicholas Gallopoulos (1989), responsable de la recherche sur les moteurs (Erkman, 1997). Tous deux ont émis l'idée selon laquelle il était nécessaire de passer d'une économie linéaire où les ressources sont extraites d'un écosystème, exploitées par des activités humaines et renvoyées à l'écosystème sous forme dégradée, à une économie circulaire puisant de façon marginale dans le stock de ressources naturelles, recyclant les biens usagés et limitant les déchets (Dannequin, Diemer, Petit, Vivien, 2000). Les stratégies menant à cette transition, prirent ainsi quatre directions : la valorisation

²⁰ Ce texte s'inscrit dans un travail de recherche associé au programme Franco-mexicain (CONACYT) et au programme européen Marie Curie - ADAPTECON II. Cette recherche vise à proposer une méthodologie (la dynamique des systèmes) pour appréhender les symbioses industrielles, trois études de cas sont proposées : Kalundborg (Danemark), Dunkerque (France) et Tampico (Mexique). Nous remercions les deux rapporteurs anonymes pour leurs remarques et commentaires.

des déchets sous la forme de ressources ; le bouclage des cycles de matière et la minimisation des émissions dissipatives ; la dématérialisation des produits et des activités économiques ; la décarbonisation de l'énergie. Les sciences de l'ingénieur, les sciences économiques et sociales, les sciences de gestion furent ainsi mobilisées pour établir une étude de faisabilité et analyser les facteurs de pérennité de l'écosystème industriel ainsi créé (Diemer, Labruno, 2007).

Par la suite, les géographes se sont emparés de l'objet « écologie industrielle » afin de lui donner une dimension territoriale (Buclet, 2011). La recherche de synergies entre acteurs fût présentée comme un des moyens de réduire l'impact des activités humaines sur l'écosystème. Cette recherche de synergies présupposait des formes de coopération entre entreprises et collectivités territoriales, notamment au niveau de territoires au périmètre non déterminable. L'intérêt de l'écologie industrielle porta ainsi sur la création d'interactions entre acteurs relativement proches géographiquement, mais n'ayant pas toujours l'occasion d'échanger, faute d'intérêts communs (Diemer, 2013). Le champ de l'écologie industrielle et territoriale était ainsi définie, et avec lui, l'importance dévolue aux acteurs territoriaux (collectivités locales) et aux flux d'interactions (écologie urbaine et métabolisme).

Dans le papier que nous proposons, nous suggérons de partir du modèle d'écologie industrielle et territoriale, non pas pour en tirer les quelques enseignements issus des expériences menées dans les pays développés et industrialisés, mais pour en faire une réelle opportunité en matière de développement des pays du Sud. Nous insisterons plus précisément sur une forme particulière d'écologie industrielle et territoriale (EIT), la symbiose industrielle. Chertow a défini la symbiose industrielle comme " *engaging traditionally separate industries in a collective approach to competitive advantage involving physical exchanges of materials, energy, water and/or by products. The keys to industrial symbiosis are collaboration and the synergistic possibilities offered by geographic proximity*" (2004, p. 2; 2007, p. 12). Les symbioses industrielles sont porteuses de bénéfices environnementaux, économiques et sociaux pour les entreprises impliquées dans une relation de collaboration (Brullot, Junqua, 2015; Brullot, Buclet, 2011). Selon nous, elles illustrent d'une part, la nécessaire interdépendance entre plusieurs processus de production de différentes firmes et le bouclage des flux d'énergie et de matière à mettre en œuvre à l'intérieur d'une zone d'activité industrielle territorialisée (Diemer, 2015, 2016), et d'autre part, l'avènement d'un modèle de durabilité forte en termes de développement socioéconomique. Afin d'étayer cette thèse, notre article sera structuré en deux parties.

La première partie s'attachera à présenter le cadre méthodologique de l'étude d'une symbiose. Il s'agit de partir d'un ensemble d'hypothèses visant à délimiter les contours d'un modèle de durabilité forte. La durabilité forte entend limiter la croissance économique et l'usage de la technique à ce que le milieu biophysique est capable d'assimiler. Elle renvoie au courant de pensée d'économie écologique

« *Ecological Economics* », dont les racines sont profondément ancrées dans la bioéconomie de Nicholas Georgescu Roegen (1971, 1978, 1979) et le concept de *Steady State* de Herman Daly (1977, 1991). Les origines du paradigme bioéconomique de Georgescu-Roegen se situent au carrefour de la vision thermodynamique du monde présentée par Sadi Carnot et des travaux du biologiste Alfred Lotka (Dannequin, Diemer, 1998): « *La thermodynamique et la biologie sont les flambeaux indispensables pour éclairer le processus économique et découvrir ainsi ses propres articulations, la thermodynamique parce qu'elle nous démontre que les ressources naturelles s'épuisent irrévocablement, la Biologie parce qu'elle nous révèle la vraie nature du processus économique* » (1978, p. 353). De son côté, Herman Daly définit the *Steady State Economy* comme « *an economy with constant stocks of people and artifacts, maintained at some desired, sufficient levels by low rates of maintenance "throughput", that is, by the lowest feasible flows of matter and energy from the first stage of production to the last stage of consumption* » (1991, p. 17). Il s'agit d'une part, de revenir aux limites biophysiques et écologiques de la planète (ressources naturelles, populations humaines...) et d'autre part, de prôner une stabilité du stock de capital naturel (le capital naturel et le capital artificiel seraient ainsi deux facteurs complémentaires et non substituables de la fonction de production). Au début des années 90 (après l'institutionnalisation de l'ISEE – *International Society for Ecological Economics* – en 1988 et le lancement de la revue *Ecological Economics* en 1989), le courant de pensée d'économie écologique se présentait ainsi comme une volonté d'établir des relations entre les écosystèmes et les systèmes économiques (Constanza, 1989). Les activités humaines pouvaient être décrites en termes de flux d'énergie et de matière, les systèmes écologiques pouvaient intégrer des questions économiques (Ropke, 2005). Si le courant de pensée *Ecological Economics* trouve ses fondements dans une approche de la durabilité forte, nous pensons qu'il est possible d'étendre ces perspectives à l'écologie industrielle et territoriale, et plus précisément aux symbioses industrielles. Le modèle de durabilité forte que nous entendons présenter ici, s'appuie sur quatre piliers: *l'éco-efficacité* associée au métabolisme industriel, *la collaboration* apposée aux relations marchandes, *la proximité* comme principe de synergie territoriale et *la résilience* comme la capacité de la symbiose à résister aux chocs externes et internes.

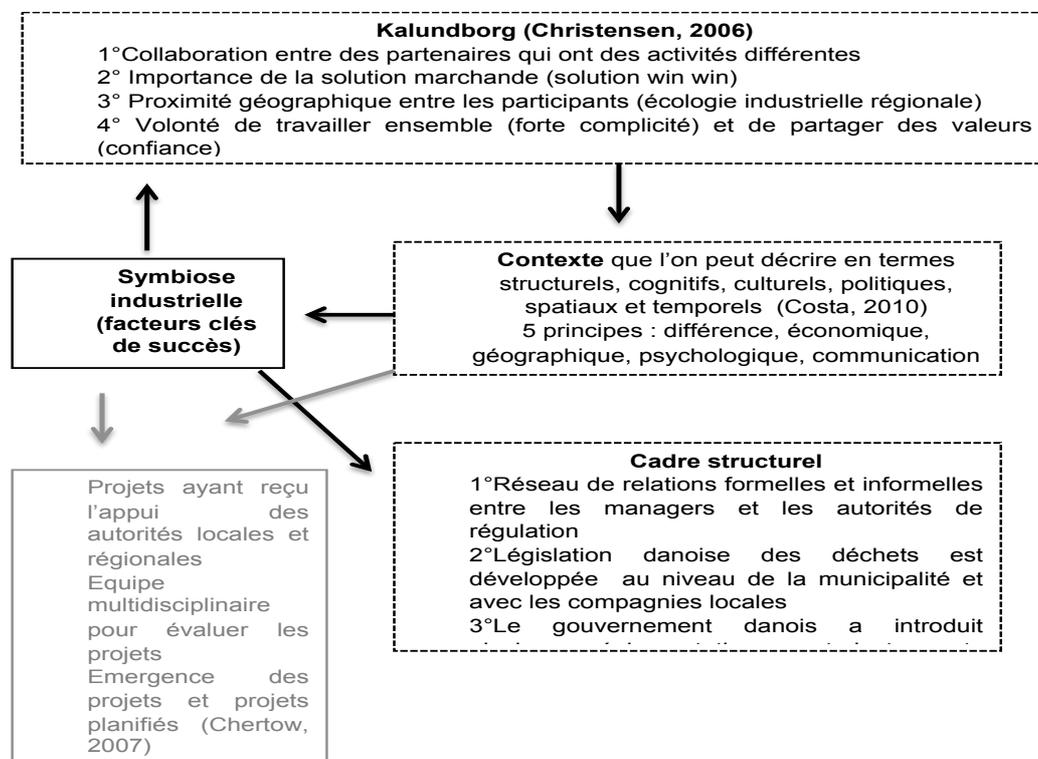
La deuxième partie sera consacrée à l'étude de la symbiose de Tampico au Mexique. Si le mythe de la symbiose de Kalundborg continue à alimenter les débats (Chertow, Ehrenfeld, 2012), le cas tampico mérite qu'on s'y attarde quelque peu (Macchiavelli, 2008). C'est en effet l'une des premières expérimentations d'écologie industrielle (Duret, 2007). Elle a été initiée sur la zone industrielle de Tampico par la branche régionale du *Business Council for Sustainable Development* (Gulf of Mexico). Par la suite, ce projet a servi de modèle à de nombreuses autres expériences aux Etats Unis et au Canada. La symbiose industrielle de Tampico prendrait ainsi les traits d'un modèle de durabilité forte, ancré sur un territoire et donc, propice au développement local (et non national). Son succès pourrait « *tordre le coup* » aux

politiques de libéralisation de l'économie préconisées par les grandes institutions internationales afin d'assurer le développement économique des pays du Sud. La symbiose serait en quelque sorte une forme de coopération (économique) décentralisée, dans laquelle les relations entre les différents acteurs d'un territoire s'appuient sur les synergies potentielles.

La symbiose industrielle, un modèle de durabilité forte

Il existe une importante littérature sur les symbioses industrielles (Chertow, 2007, Zhu, Lowe, Wei, Barnes, 2007), si la plupart des travaux ont focalisé leur attention sur le modèle de Kalundborg (Domenech, Davies, 2010), certains ont cherché à définir les facteurs clés de cette *success story* (Buclet, 2011 ; Diemer, Figuière et Pradel, 2013). Cinq facteurs seraient à l'origine du succès de Kalundborg: (i) la collaboration entre des participants opérant sur des secteurs d'activité différents, (ii) l'importance de la solution marchande, (iii) une proximité géographique entre les participants (écologie industrielle régionale; (iv) la volonté de travailler ensemble et de partager des valeurs, (v) la bonne communication entre les partenaires. Plus récemment, Diemer (2013, 2016, 2017) est revenu sur ce qu'il appelle les cinq principes susceptibles de produire une symbiose industrielle, à savoir le *principe de différence*, le *principe économique*, le *principe géographique*, le *principe psychologique* et le *principe de communication*.

Figure 1 : Les facteurs de succès de la symbiose industrielle de Kalundborg.



Source : Diemer (2013, p. 145)

Dans ce qui suit, nous souhaiterions focaliser notre attention sur ce que nous appellerons les quatre postulats de la durabilité forte d'une symbiose.

Le premier ces postulats, *l'éco-efficacité*, renvoie aux travaux sur le *métabolisme industriel*, cher aux ingénieurs (Esquissaud, 1990). Il s'agit plus précisément de mesurer quantitativement et qualitativement la dimension physique des activités économiques, à savoir les flux et les stocks de matières et d'énergies inhérents à toute activité industrielle (Ayres 1989). Dans un ouvrage intitulé *Changer de Cap : Réconcilier le développement de l'entreprise et la protection de l'environnement*²¹, Stephan Schmidheiny et le BCSD (Business Council for Sustainable Development) associaient la méthodologie du métabolisme industriel au *principe d'éco-efficience*. Selon Erkman, cette méthodologie consiste « à établir des bilans de masse, à estimer les flux et les stocks de matière, à retracer leurs itinéraires et leur dynamique complexes, mais également à préciser leur état physique et chimique » (Erkman, 1998, p. 56).

Au sein même des entreprises, cette comptabilisation est réalisée sous la forme d'une matrice input-output et d'une analyse du cycle de vie (ACV). Ces « bilans environnementaux » permettent de contrôler les échanges, de connaître le niveau auquel ils se produisent, de savoir comment ils se structurent et comment ils déstructurent l'environnement. D'un point de vue économique, le métabolisme industriel comprend tous les flux de matière et d'énergie qui permettent au système économique de fonctionner, c'est-à-dire de produire et de consommer (Hertwich, 2005). Il permet ainsi de changer notre perception de la valeur d'un bien (généralement associée à la loi de l'offre et la demande, au prix du marché) en incluant des facteurs écologiques, sociaux et culturels via des flux de matières, d'énergies et d'informations (Passet, 1991). La seule zone d'ombre au tableau est de remettre la société entre les mains de l'ingénieur, le seul susceptible d'intégrer toutes les contraintes systémiques : « *Engineers are accustomed to contending with a variety of design constraints, from the most rigid thermodynamic laws to budgetary constraints to issues of social justice. Ecological constraints add one more set of considerations to the list. Engineering designs are now expected to result in products and management plans who use or implementations will not endanger important ecological conditions and processes* » (Schulze, Frosch, Risser, 1996, p. 1).

Dans ce qui suit, nous insisterons davantage sur la notion *d'éco-efficacité* que sur celle d'éco-efficience. Ce choix est justifié par trois raisons : (i) centrer l'analyse sur l'objectif à atteindre et non sur la minimisation des coûts, (ii) déconnecter les flux physiques des flux monétaires de manière à partir d'une comptabilité biophysique (exemple des *Physical Input-Output Tables*, PIOT), (iii) replacer les solutions dans un cadre systémique et non simplement technologique.

²¹ Cet ouvrage, qui n'est en fait qu'un rapport, a été présenté au sommet de la Terre (Rio, 1992).

Le deuxième postulat stipule que si la symbiose industrielle s'inscrit dans *une logique marchande* (création de valeur), elle ne fait pas de la concurrence, une condition d'efficacité. Bien au contraire, les relations marchandes au sein de la symbiose s'appuient sur des synergies entre les acteurs qui préfèrent privilégier *la collaboration* à la compétition. Dans un précédent papier (Diemer, Morales, 2016), nous avons insisté sur le principe de coopération. La collaboration permet d'insister sur la longévité des relations au sein d'un écosystème (dans les relations inter-entreprises, la coopération peut être associée à une phase de répit dans le processus concurrentiel ou alors à une stratégie de minimisation des coûts ou encore de conquête de parts de marché). Elle implique également l'idée de co-construction (c'est l'acte de réfléchir ou de travailler ensemble pour atteindre un objectif, elle s'appuie ainsi sur le principe d'éco-efficacité) et l'utilisation d'outils collaboratifs (réseau social, partage de savoirs et de connaissances, communication...).

L'écosystème industriel doit ainsi s'inspirer des nombreuses relations entre les êtres vivants présentes dans l'écosystème naturel (*relation d'indifférence* avec le neutralisme et la synécie ; *relation antagonique* avec la compétition, la concurrence, l'amensalisme, la prédation et le parasitisme ; *relations favorables* avec le commensalisme, la synergie, l'aide mutuelle, la coopération et la symbiose). La durabilité « forte » de la symbiose renvoie ainsi à un *changement de paradigme*, un basculement de l'économie concurrentielle vers l'économie collaborative (Vallat, 2015). La première est un modèle économique basé sur l'échange, la valeur prix et une logique d'optimisation en termes de biens, de services, de temps et de connaissances entre les acteurs. La seconde consiste à concevoir et à produire des solutions intégrant des biens et des services selon deux types de dynamique : (i) le passage de la vente de biens et de services à une véritable réflexion sur les valeurs d'usage ; (ii) une approche systémique permettant de prendre en compte toutes les externalités (environnementales, sociales, politiques...).

Notons que si l'économie collaborative est étroitement liée à l'économie sociale et solidaire (Defalvard, 2016), ses fondements trouvent dans l'écologie industrielle et territoriale, un terrain fertile pour les expériences de symbioses industrielles dans les pays du Sud. En effet, la collaboration peut emprunter les voies de la coopération décentralisée (Berr, Diemer, 2016). Elle peut prendre la forme d'une mutualisation de moyens du point de vue économique, d'un partage ou d'un don sous l'angle social, d'une meilleure gestion des ressources naturelles et énergétiques du point de vue environnemental... Au niveau de la symbiose, l'économie collaborative présente un certain nombre d'avantages (Terrasse, 2016): (i) les consommateurs sont également des producteurs ; (ii) la participation intervient à toutes les étapes du process ; (iii) la relocalisation permet de générer de nouvelles synergies ; (iv) la dématérialisation peut établir un pont avec l'économie de la fonctionnalité (importance de la valeur d'usage) ; (v) la mutualisation (propriété collective) peut venir compléter la propriété individuelle...

Tableau 1 : Les relations au sein d'un écosystème

Relations d'indifférence	Relations antagoniques	Relations favorables
<p><i>Le neutralisme</i> : absence de toute trace d'association ou d'antagonisme entre des espèces qui coexistent dans un même milieu.</p> <p><i>La synécie</i> : c'est le cas de deux partenaires régulièrement associés sans que l'un soit pour l'autre source d'avantages ou d'inconvénients.</p>	<p><i>La compétition</i> : il s'agit d'une lutte pour des ressources limitées.</p> <p><i>L'amensalisme</i> : certains êtres vivants utilisent des substances toxiques pour lutter contre leurs rivales.</p> <p><i>La prédation</i> : c'est l'utilisation d'un être vivant par un autre être vivant pour s'en nourrir.</p> <p><i>Le parasitisme</i> : c'est l'utilisation d'un être vivant par un autre être vivant pour se nourrir ou se reproduire sans engendrer fatalement sa mort.</p>	<p><i>Le commensalisme</i> : c'est une association qui ne profite qu'à l'un des deux êtres vivants associés, lequel vit difficilement ou ne peut vivre, hors de la présence de l'autre à qui il est indifférent.</p> <p><i>La synergie</i> : c'est la stimulation de l'activité ou du développement d'un être vivant par la présence d'un autre.</p> <p><i>L'aide mutuelle</i> (ou coopération) permet à de nombreux êtres vivants de s'associer entre eux pour en tirer un bénéfice réciproque.</p> <p><i>La symbiose</i> est la forme la plus évoluée d'association entre des êtres vivants car les protagonistes y bénéficient d'avantages réciproques et ne pourraient pas subsister, ou alors très mal, hors de cette union.</p>
<p>Dans un écosystème industriel, il peut s'agir de firmes qui se côtoient sans se porter grande attention (activités différentes). C'est le cas d'entreprises présentes dans une zone industrielle ou commerciale.</p>	<p>Dans un écosystème industriel, la compétition est liée au nombre de firmes, elle sera d'autant plus intense que ces dernières sont sur les mêmes marchés ou exercent la même activité. Des stratégies d'absorption, de scission et des OPA (offres publiques d'achat) hostiles peuvent prendre forme.</p>	<p>Dans un écosystème, le commensalisme s'apparente à une relation de sous-traitance. La vie du sous-traitant dépend du bon vouloir du donneur d'ordre.</p> <p>Les incubateurs et les clusters sont symptomatiques des relations synergiques.</p> <p>Les partenariats d'entreprises, les coopératives et les créations de filiales communes s'inscrivent dans une démarche coopérative et collaborative.</p> <p>La symbiose est l'idéal type du processus associatif. La mise en commun de ressources, de savoirs, de capitaux... et de compétences permet à la symbiose. Les firmes peuvent être si imbriquées qu'elles constituent une nouvelle entité.</p>

Le troisième postulat stipule qu'une symbiose industrielle repose sur des *relations territorialisées*. Le territoire peut être perçu comme un espace fonctionnel permettant de traduire des enjeux locaux (retraitement des déchets, assainissement de l'eau, dépollution de sites industriels...) et introduisant un principe clé, le *principe de proximité* (il s'agit à la fois d'une distance *spatiale* – coût de transport –, *psychologique* – qualité du produit et subjectivité dans les relations – et communicationnelle – outils collaboratifs, lieux informels ou formels de discussions et de rencontres). Le territoire

insiste sur la capacité des acteurs à proposer de nouvelles formes de collaboration qui, non seulement, peuvent engendrer des résultats économiques, environnementaux et sociaux positifs, mais peuvent également et surtout contribuer à la résurgence de l'intérêt collectif entre acteurs inscrits dans un même territoire (mise en place de schémas de cohérence territoriale ou d'agendas 21). D'une certaine manière, les symbioses industrielles trouvent dans l'écologie territoriale, un terreau susceptible de promouvoir une certaine idée de la durabilité. Selon Nicolas Buclet (2015, p. 16), l'écologie territoriale trouve ses racines dans l'écologie urbaine (Wolman, 1965 ; Odum, 1976) et l'écologie industrielle (Billen et al, 1983). Deux approches qui ont fondé leur analyse sur la méthodologie du métabolisme (établir et mesurer les flux entrants et sortants) et sur la question de la gouvernance locale. Cette dernière est associée à l'ensemble des mesures, des règles, des organes de décision, de surveillance et d'information qui permettent d'assurer le bon fonctionnement d'une organisation (ici la symbiose) et une communication transparente vis à vis des *parties prenantes* (Freeman, 1994, Dosse, 1995). D'un point de vue opérationnel, l'étude de la gouvernance locale suppose (i) d'identifier les différents mécanismes et systèmes qui coexistent (entreprises capitalistes, associations, coopératives, collectivités publiques...); (ii) de comprendre leur mode de fonctionnement et d'évaluer les effets de leurs politiques en matière de durabilité (environnementale, sociale, culturelle, économique) ; puis de s'interroger sur les différents scénarii possibles en matière de coopération (répartition et partage des pouvoirs au sein d'une symbiose).

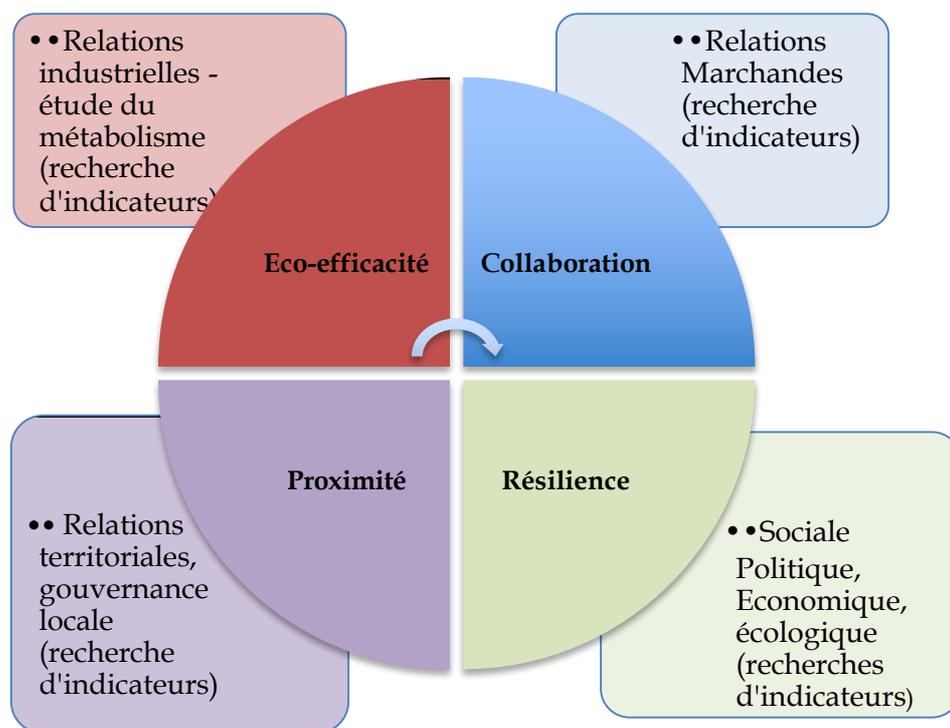
Le quatrième et dernier postulat, *la résilience*, suppose que la symbiose industrielle s'inscrive dans un système d'*interactions socio-écologiques et socio-politiques*. Holling (1996) a distingué deux définitions de la résilience (Martin, 2005). La première renvoie à la stabilité proche de l'équilibre, la résistance à la perturbation et le temps mis par un système pour retourner dans le voisinage de l'équilibre sont utilisés pour mesurer la propriété de résilience (Pimm, 1984). La résilience rime ainsi avec équilibre et stabilité, elle est liée principalement aux systèmes linéaires. Holling (1996, p. 33) parle « *d'engineering resilience* ». La seconde définition met en évidence les conditions loin de tout équilibre où des instabilités peuvent faire passer le système vers un autre régime de comportement, c'est-à-dire dans un autre domaine de stabilité (Holling, 1973). La résilience est mesurée par l'intensité maximale des perturbations que le système peut absorber sans changer de structure, de comportement ou de processus de régulation. Holling parle « *d'écological resilience* ».

Dans la suite de cet article, nous ne retiendrons que cette dernière définition. La résilience suppose que l'on analyse la tension maximale qu'une symbiose peut supporter sans changer son système de fonctionnement ou sa structure organisationnelle. Ainsi, une interaction entre les propriétés de stabilité et d'instabilité est au cœur de la résilience et plus largement du développement durable. La disparition d'un acteur important, la perte d'un client, la mise aux

normes environnementales des installations... sont autant de facteurs susceptibles de déstabiliser la symbiose. Plus généralement, la résilience doit être analysée sous plusieurs angles. Il s'agit tout d'abord de souligner le rôle joué par les pouvoirs publics, que ce soit l'Etat, les conseils régionaux ou les collectivités territoriales. L'autorité publique est à la fois (i) une force de propositions (cadre opérationnel pour la dépollution des sites industriels, financement de pipelines pour les échanges de flux d'énergie et de matière) ; (ii) un garant de certaines valeurs (justice, tolérance, respect d'autrui...) ou encore (iii) un animateur territorial (l'acteur public doit savoir mobiliser, susciter la participation, créer l'innovation sociale ...). Il s'agit ensuite de comprendre comment la symbiose communique avec l'extérieur (création d'un Institut de la Symbiose, destiné à analyser les succès de ce modèle) et en son sein (communication formelle et informelle, place des conventions et de la confiance dans les relations humaines). Il s'agit enfin de mieux concevoir les interactions avec la société, c'est-à-dire de cerner les dimensions sociales (création d'emplois, dispositifs de réinsertion sociale...) et politiques (information des citoyens, processus de vulgarisation, notes d'informations, participation aux prises de décisions). Ainsi, les modèles de symbiose industrielle ne s'inscriront dans une démarche de durabilité forte qu'à la condition de susciter une véritable acceptabilité sociale (débat citoyens, culture de la concertation, projet éducatif...).

Ces quatre postulats (éco-efficacité, collaboration, proximité et résilience) renvoient directement aux interactions qui se développent au sein d'une symbiose et permettent de positionner cette dernière dans un cadre de durabilité forte.

Figure 2 : Les quatre postulats de la durabilité d'une symbiose



La symbiose de Tampico, une illustration d'un modèle d'écologie industrielle et territoriale au Mexique

L'écologie industrielle n'est pas un luxe réservé aux pays riches. On peut avancer au moins trois arguments principaux conduisant à penser que l'écologie industrielle devrait être considérée comme une stratégie pertinente et prioritaire pour les pays du Sud :

- La mondialisation de l'économie rend anecdotique toute tentative de transformation confinée aux pays riches, alors que ces derniers ont déjà transféré dans des pays du Sud une bonne partie de leur activité industrielle (surtout celles nécessitant beaucoup de matières premières et d'énergie) ;
- La majeure partie de la population mondiale se trouve dans les pays du Sud, et son poids démographique va encore s'accroître. De plus, le pouvoir d'achat de cette population augmente en moyenne, et surtout, son style de vie devient de plus en plus consumériste. Les problèmes des déchets et des ressources se posent donc de manière encore plus aiguë dans ces pays ;
- La trajectoire d'industrialisation des pays du Sud diffère profondément de celle des pays riches. En Europe et aux Etats-Unis, le processus d'industrialisation s'est fait progressivement, laissant tant bien que mal la possibilité de corriger a posteriori les problèmes principaux. Les pays actuellement en voie d'industrialisation et d'intégration dans l'économie globalisée connaissent un processus beaucoup plus rapide. Il en découle que les approches préventives, telle que l'écologie industrielle et territoriale, deviennent des priorités urgentes, alors que le traitement traditionnel des déchets selon la philosophie end of pipe apparaît comme un luxe peu efficace.

Etant issue à l'origine, aux Etats-Unis et en Europe, de quelques cercles d'ingénieurs et de responsables d'entreprise, l'écologie industrielle a pu donner l'impression de ne concerner que les pays industrialisés. Mais il n'a pas échappé à un certain nombre de pays, notamment en Asie, que le concept d'économie circulaire appliqué à l'écologie industrielle et territoriale était non seulement l'une des meilleures stratégies pour modérer les impacts négatifs de l'industrialisation, mais aussi un atout non négligeable pour accroître la compétitivité de leurs économies. (Erkman, 1997).

Histoire de l'écologie industrielle au Mexique

Alors que l'écologie industrielle a connu un essor rapide dès le début des années quatre-vingt-dix aux Etats-Unis, au Canada, au Japon et en Europe du Nord (Diemer, 2017), l'intérêt pour ce nouveau champ de recherches, au Mexique, s'est d'abord caractérisé par une assez longue période de latence. Toutefois, cette latence semble devoir diminuer rapidement, compte tenu de l'attention croissante que rencontre

actuellement l'écologie industrielle dans divers milieux économiques, politiques et administratifs du pays. Mis à part les travaux précurseurs du "*Business Council For Sustainable Development*" et du "*South Tamaulipas Industrial Association*" sur le site de Tampico (1997), force est de constater que l'intérêt pour l'écologie industrielle est resté marginal au Mexique jusqu'au début du XXI^{ème} siècle. Le premier colloque éco-industrielle fût organisé à l'Institut Polytechnique National (IPN) en 2006, à l'initiative de Gemma Cervantes Torre-Marín.

En 2007, le Groupe de Recherche en Ecologie Industrielle (GIEI en espagnol) - en partenariat avec l'Unité Professionnelle Interdisciplinaire en Biotechnologie de l'IPN et avec le soutien du Conseil National de la Science et la Technologie (CONACYT) - a développé quelques projets d'écologie industrielle relatifs aux agrosystèmes (Xochimancas, District Fédéral et Tochtli entre 2008 et 2009). Cette période coïncide avec la collaboration du groupe de Recherche AGSEO de l'Université Autonome Métropolitaine (2008). L'AGSEO héberge la première chaire doctorale d'écologie industrielle au Mexique (2006), via la réalisation de la thèse doctorale de la professeure Graciela Carrillo à l'Université de Barcelone. Depuis 2008, l'AGSEO propose une étude de cas du Parc Industriel Altamira-Tampico et du Parc Industriel Toluca 2000, qui malheureusement fermera ses portes l'année suivante, suite à des problèmes organisationnels. En 2011, le GIEI a développé des projets d'écologie industrielle dans la gestion des déchets solides urbains dans la Vallée du Mexique. En 2012, un projet de biocarburants associé aux algues marines a vu le jour sur le site d'Altamira-Tampico.

En ce qui concerne la gestion environnementale des zones d'activités pour la valorisation et la mutualisation des ressources entre entreprises, le Réseau Mexicain d'écologie industrielle, sous l'impulsion du GIEI et notamment de Gemma Cervantes Torre-Marín, a favorisé dès 2010 la mise en œuvre de pratiques relevant de l'écologie industrielle dans les zones d'activité des Institutions membres: Université Autonome de Querétaro, Université de Guanajuato, Université Technologique de León, Université Autonome Métropolitaine et l'Institut Polytechnique National.

Parmi tous les projets d'écologie industrielle, il existe un champ de recherches et d'actions opérationnelles qui focalise l'attention des décideurs politiques. C'est la recherche de synergies entre acteurs, qui est présentée comme un des moyens de réduire l'impact des activités humaines sur l'écosystème (Buclet, 2011). Cette recherche de synergies présuppose des formes de coopération entre entreprises et collectivités territoriales, notamment au niveau de territoires au périmètre non déterminable. L'intérêt de l'écologie industrielle serait ainsi de créer des interactions entre acteurs relativement proches géographiquement, mais n'ayant pas toujours l'occasion d'échanger, faute d'intérêts communs (Diemer, 2013). Le champ de l'écologie industrielle et territoriale était ainsi définie, et avec lui, l'importance dévolue aux pouvoirs publics (collectivités locales) et aux synergies entre les différents acteurs.

Tableau 2 : Expériences de Parcs industriels au Mexique

Code	Dates	Projet	Porteur du projet	Périmètre	Pour aller plus loin
1	1997- Aujourd'hui	«By Productsinergy»	“Business Council for Sustainable Development” et “South Tamaulipas Industrial Association”	Corredor Industriel Tampico- Altamira	http://oldwww.wbcsd.org/DocRoot/VvYTNmsJuZwcZxjtYQJ3/USBCSD_BPSfullcasefinal.pdf , http://148.206.107.15/biblioteca_digital/capitulos/423-5762uki.pdf
2	2010	Bouclage de flux	The Brownsville Economic Development Council (BEDC)	Corredor Industrial Matamoros- Bronsville	http://www.ingenieroaambiental.com/7/manual03.pdf
3	2007-2009	Industrial Symbiosis Programme (NISP)	Etat du Mexico gouvernement et l'Ambassade du Royaume Unis	Etat du Mexico	http://www.cmhc.org/comisiones/sectoriales/medioambiente/Varios/Descargas_en_PDF/Concetrado%20sobre%20NISP%20Septiembre%202009.pdf , http://148.206.107.15/biblioteca_digital/capitulos/423-5768ozr.pdf ,
4	2013	Micro Parc Eco- Industrielle	Université Autonome de l'état du Mexico en coopération avec le gouvernement de l'Etat du Mexico.	Tepeji del Río	http://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/5570/3_micro_parque.pdf

En reprenant le cadre de l'écologie industrielle et territoriale défini précédemment, nous présenterons l'expérience mexicaine de la symbiose industrielle de Tampico, qui est l'une des premières expérimentations d'écologie industrielle dans les pays du Sud (Duret, 2007). Ce projet a été initié sur la zone industrielle de Tampico par la branche régionale du « *Business Council for Sustainable Development* » (BCSD). Par la suite, ce projet a servi de modèle à de nombreuses autres expériences aux Etats Unis et au Canada.

La symbiose industrielle TAMPICO, le modèle “By-product Synergy”

Le projet de symbiose industrielle a été portée par le Business Council for Sustainable Development – Gulf of Mexico. Il a vu le jour en 1997 dans la ville de Tampico, Etat de Tamaulipas. Tampico est l'un des ports les plus actifs du Mexique et le site industriel de la région de Tampico-Altamira se prêtait particulièrement bien à une initiative de recherche de synergies de sous-produits (By-products synergy) :

- Les activités du site étaient liées aux secteurs de la chimie et de la pétrochimie dont les procédés de fabrication génèrent souvent des sous-produits réutilisables,

- La proximité des entreprises devait faciliter les échanges,
- La plupart des entreprises étaient membres d'une association locale d'industriels qui avaient déjà l'habitude de travailler ensemble,
- Enfin, 18 des 21 industries impliquées dans le projet étaient certifiées ISO 9000 et ISO 14000.

Tous ces aspects ont constitué des conditions favorables au lancement de ce projet. Il s'agissait tout simplement de mettre en place une dynamique visant à systématiser les échanges de matières et d'énergie sur le site existant. Les motivations qui ont mobilisé les acteurs autour de ce projet, sont multiples : diminution des consommations énergétiques, réduction de l'impact environnemental de l'activité industrielle, opportunités en termes d'échanges, réduction des émissions de gaz à effet de serre (par la réduction de la demande en matériaux bruts et de la mise en décharge).

L'étude préalable d'identification des synergies potentielles s'est étalée entre octobre 1997 et janvier 1999. Les différentes phases du projet (prise de conscience - collecte des données - analyse et mise en œuvre - évaluation) ont permis de répertorier 373 flux de matières (199 entrants et 174 sortants) et d'identifier une douzaine de synergies potentielles.

Etape de prise de conscience et collecte de données

Parmi l'ensemble des synergies répertoriées, seules trois d'entre elles ont été mises en place dont une partiellement. Les autres n'ont pas pu aboutir pour des raisons de rentabilité économique, de contraintes réglementaires ou techniques, d'éloignement géographique, ou encore suite à un manque de réactivité ou de confiance. D'une manière générale, 21 entreprises de la zone industrielle de Tampico, parmi lesquelles on trouve 18 membres de l'Association d'Industrielle du Sud de Tamaulipas A.C. (AISTAC), présentent une réelle responsabilité individuelle et collective vis-à-vis de l'environnement et du développement durable et continuent d'être attentives aux opportunités d'optimisation de leurs ressources comme l'eau ou l'énergie. Elles communiquent bien entre elles, notamment grâce à l'association qui les rassemble, ce qui leur permet d'entretenir un bon niveau de confiance et d'échanger des bonnes pratiques. L'action de coordination et de lobby auprès du gouvernement mexicain du bureau local du BCSD facilite grandement la réflexion et la mise en œuvre des principes de l'écologie industrielle à Tampico²².

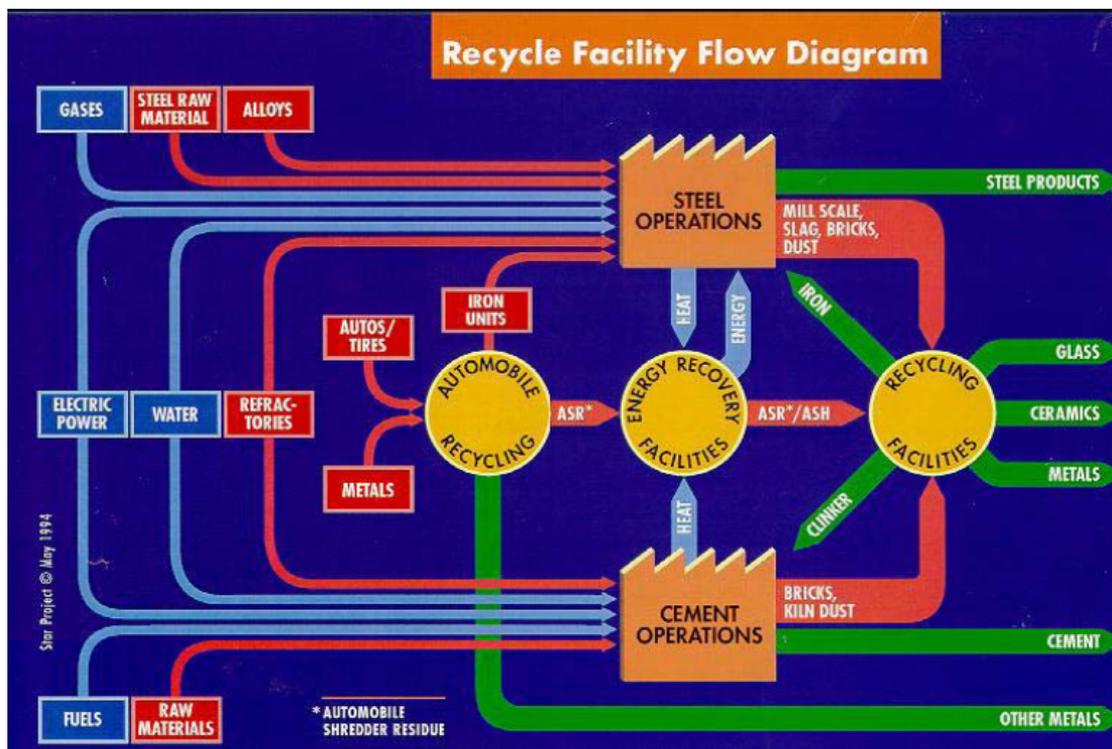
Le projet de symbiose industrielle à Tampico fût initié en 1990, sous la direction de Gordon Forward, chef de « Chaparral steel », membre du groupe « Texas Industries », et proche du secteur de la production de ciment via l'entreprise

²² Source : <http://www.wbcds.org>
<http://www.wbcds.org/DocRoot/VvYTNmsJuZwcZxjtYQJ3/USBCSDBPSfullcasefinal.pdf>

Portland ciment. Forward révéla un grand nombre de synergies potentielles entre l'industrie de l'acier et celle du ciment. La mise au grand jour des synergies potentielles entre les deux entreprises - notamment la gestion des flux matériels entre déchets et ressources comme intrants - fût rendue possible grâce à l'identification des contraintes techniques et des besoins en ressources humaines.

Au début du projet, la complexité des opérations et le sentiment de méfiance furent dominants, même lorsque les entreprises n'étaient pas en concurrence. Une fois ces obstacles tombés, les bienfaits de la coopération inter-entreprises se sont révélés être très importants, notamment via des échanges culturels et l'identification des synergies potentiels. Le passage de la posture d'isolement entrepreneurial à une nouvelle façon de faire des affaires (partage d'objectifs, échange d'information, recyclage de matériels...) fût ici déterminant (Business Council for Sustainable Dvelopment - US, 2008). La synergie entre les deux entreprises a pris les traits d'un brevet et d'un nouveau process (du nom de CemStar, qui utilise l'acier comme intrant pour la production des fours à ciment). Ce process a permis l'obtention d'un ciment de haute qualité. En plus, l'entreprise Portland a pu tirer d'autres bénéfices (croissance de revenus) de la synergie, une réduction des besoins énergétiques (entre 10% et 15%) et une importante réduction des émissions de CO2 (de 10% par tonne de production de ciment). Forward et Mangan ont partagé leurs résultats avec le BCSD, pour démontrer le potentiel de ce type de synergies à l'intérieur du Parc industriel d'Altamira (Business Council for Sustainable Dvelopment - US, 2008).

Figure 3 : Diagramme de Flux de Recyclage Parc Industriel Tampico-Altamira 1997-1999



Source: BCSD Gulf of Mexico, 1997

Étape d'analyse et mise en œuvre

Cette deuxième étape commença en 1998, elle fût caractérisée par la participation de deux groupes de recherches (celui de l'Université Autonome Métropolitaine, Analyse et Gestion Socioéconomique des Organisations (AGSEO) et celui de l'Institute Polytechnique National, Groupe de Recherche en Ecologie Industrielle) dont les intentions premières étaient de multiplier le nombre de synergies développées sur le terrain. L'objectif du projet était l'identification des facteurs et des conditions nécessaires pour l'essor de stratégies d'innovation technologique et organisationnelle qui puissent à l'avenir amener des résultats positifs en termes d'écologie industrielle : éco-efficacité, recyclage de matériels et synergies industrielles (Lule Chable, Cervantes Torre-Marín, & Graciela, 2011). Dans cette région, il y a plus de 30 installations industrielles avec une capacité de production de 3 millions de tonnes chaque année. Le pourcentage d'exportation est d'environ 50 ou 60% de la production vers 55 pays du monde. L'investissement est de plus de quatre milliards de dollars et les opportunités de création d'emplois y sont nombreuses. Ce sont aussi les principaux producteurs nationaux en matière de carbone, résine thermoplastique, pigment blanc, PET, PVC et caoutchouc synthétique. La raffinerie, le port et les installations du parc Industriel d'Altamira soutiennent la distribution et production des entreprises membres (AISTAC, 2011). Les flux d'entrée et de sortie des matières, les outils et l'information sur les coûts ont été estimés sur mesure. Lors de la première étude, l'eau résiduelle, le dioxyde de carbone et le carbone étaient les trois principaux déchets, avec une production respective de 44820, 44400 et 26720 tonne/année (Carrillo, 2005 ; BCSD-GM, 1999).

29 flux de matières avec 46 modes d'emploi différents ont été identifiés à travers l'étude du métabolisme industriel de l'écosystème Tampico-Altamira. 63 synergies ont été proposées. Après une évaluation technique, légale et financière, 13 d'entre elles (les plus viables) ont été mises en œuvre. Mettre en œuvre des synergies n'est pas une chose facile. Il y a beaucoup de contraintes économiques, normatives et géographiques. Certaines apportèrent de bons résultats alors que d'autres butèrent sur des contraintes technologiques. Un problème posé par le système économique fût clairement identifié, à savoir que le coût environnemental (ou coût dit de pollution) n'était pas inclus dans la structure organisationnelle, ce qui fait que les investissements synergétiques n'étaient pas économiquement viables la plupart de temps.

La distance et le coût de transport des matières identifiées dans les flux de la symbiose d'Altamira constituèrent une contrainte économique forte. La principale barrière normative fût une exigence de reclassification des matières de déchets en raison de ses fonctions potentielles (Lule Chable, Cervantes Torre-Marín, & Graciela, 2011).

Les points forts de la symbiose industrielle de Tampico et plus généralement ceux liés à la mise en place d'un parc éco-industriel ont pu être identifiés :

1. Un rôle important joué par les acteurs publics (ici, c'est la volonté des collectivités territoriales de redynamiser un territoire en difficulté économique) ;
2. Une participation des associations industrielles ou groupes sociaux et collectives ;
3. Une forte intégration de la population locale et des particularismes du territoire ;
4. L'existence de leaders très engagés et charismatiques ; avec compétences en communication et confiance des partenaires ;
5. Un investissement particulier dans tous les projets et une participation des ressources publiques, soit de la collectivité, à un niveau national ou international dans le cas d'*Industrial Symbiosis Programme*.
6. Une facilitation des aspects juridiques et réglementaires par rapport aux projets des entreprises individuelles.
7. Une forte capacité de résilience de la symbiose proprement dite (notamment par la prise en compte du facteur environnemental : volonté des entreprises locales de réduire la pollution et leurs émissions de gaz à effet de serre) ;
8. Une forte synergie entre les entreprises locales et les collectivités territoriales inscrite dans un processus de coopération décentralisée.

Tableau 3 : Démarches de synergies industrielles entre entreprises au Mexique

Code	Dates	Projet	Porteur du projet	Périmètre	Pour aller plus loin
4	2000- Aujourd'hui	Symbiose industrielle	Rural autochtone Ejido -Purépecha	San Juan Nuevo Parangaricutiro	http://web.worldbank.org/archive/website00889/WEB/PDF/6_MEXICO.PDF , http://iasc2008.glos.ac.uk/conference%20papers/papers/O/Orozco-Quintero_127501.pdf
5	2005- Aujourd'hui	Industrie du recyclage mexicain	Coca Cola de México	Boulevard Mexique-Querétaro	http://dcsh.xoc.uam.mx/ecocambiotech/TesisMaestria/82AlvaradoRaul2009.pdf
6	2008- Aujourd'hui	Bouclage de flux	Tannerie Industrie	Léon, Guanajuato	http://148.206.107.15/biblioteca_digital/estadistica.php?id_host=6&tipo=ARTICULO&id=4850&archivo=1-309-4850anx.pdf&titulo=Econom%C3%ADa%20eco1%C3%B3gica%20frente%20a%20econom%C3%ADa%20industrial.%20El%20caso%20de%20la%20industria%20de%20la%20curtidur%C3%ADa%20en%20M%C3%A9xico .
7		Bouclage de flux	Multiple use de la forêt tropicale pour les autochtones	Sud et Sud-est mexicain	http://www.ecologyandsociety.org/vol7/iss3/art9/

Un tel exemple (Tampico) démontrerait que l'écologie industrielle et territoriale s'inscrit dans les stratégies de développement durable des territoires tout en proposant un modèle de développement alternatif aux pays du Sud. A l'heure où le Mexique ouvre son marché de l'énergie à la concurrence et envisage de développer les énergies renouvelables (principalement la biomasse), l'écologie industrielle et territoriale, calibrée sur la formule du « moins c'est mieux », pourrait de plus en plus s'imposer comme une stratégie viable pour le Mexique et les pays du Sud, plus généralement.

Conclusion

L'écologie industrielle et territoriale peut s'apparenter à un modèle de coopération décentralisée dans lequel les flux de matières, d'énergie et d'informations sont optimisés et dans lequel les parties prenantes sont impliquées dans le bon fonctionnement de la symbiose. Cet article fait partie d'une étude réalisée sur trois symbioses²³, Kalundborg (Danemark), Dunkerque (France) et Tampico (Mexique). Les quatre postulats (éco-efficacité, collaboration, proximité et résilience) de la durabilité forte doivent être mis en parallèle avec trois méthodologies complémentaires utilisées pour la circonstance. (i) Une analyse systémique reposant sur la dynamique des systèmes (initiée par les travaux de J.J Forrester, 1965 et le rapport Meadows, 1972). Contrairement aux schémas de flux, couramment utilisés pour présenter les échanges de matières, d'énergies et d'eaux, la dynamique des systèmes insiste sur les boucles positives et négatives amplifiant ou régulant la symbiose. (ii) Une grille d'entretiens visant à appréhender les postures des acteurs (objectifs, attentes, stratégies, actions...) par une matrice SWOT, à analyser les discours des différents protagonistes (utilisation du logiciel TROPES) et à cerner (chronologiquement) l'histoire de la symbiose de Tampico. (iii) Le recours aux cercles de soutenabilité de Paul James (2015). Si cette approche relève principalement de l'écologie urbaine (titre de l'ouvrage *Urban Sustainability in theory and Practice*), nous montrerons qu'une organisation comme la symbiose industrielle peut être analysée grâce à cette grille de lecture.

En replaçant le territoire au coeur des stratégies industrielles, les symbioses pourraient bien se substituer aux politiques d'industrialisation libérales (ouverture à la concurrence) prônées par les institutions internationales (Banque Mondiale, FMI, OCDE...) en ré-encadrant l'économie et la technologie dans les limites biophysiques de l'environnement.

²³ Ce travail est actuellement réalisé dans le cadre d'une thèse de Doctorat par Manuel Morales.

Bibliographie

ASSOCIATION MEXICAINE DES PARCS INDUSTRIELS (2016), *AMPIP*, 30 janvier <http://ampip.org/mx/en/>

BARISI G. (2015), *Aperçus sur la politique de développement durable de la République Bolivarienne*, Editions De Boeck.

BRULLOT, S., BUCLET, N. (2011), *Comment mettre en oeuvre des symbioses industrielles en France*, Université de Technologie de Troyes, CREIDD-ICD, 16 p.

BUCLET N. (2016), *Essai d'écologie industrielle, l'exemple d'Aussois en Savoie*, CNRS Editions.

BUCLET, N. (2011), *Ecologie industrielle et territoriale*, Septentrion.

BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT - US (2008), *By Product Synergy Program*, BCSD.

CERVANTES TORRE MARIN G., TURCOTT CERVANTES D.E (2012), *La Agenda de la Economia Industrial in Mexico*, D.F.

CHERTOW M.R. (2007), "Uncovering Industrial Symbiosis", *Journal of Industrial Ecology*, vol 11, n° 1, p. 11-30.

CHERTOW, M.R. (2004), "Industrial Symbiosis", *Encyclopedia of Energy*, Cleveland C.J (ed), Oxford.

DALY H. (1991), *Steady State Economics*, 2nd Edition, Island Press, Washington DC.

DANNEQUIN, F., DIEMER, A., PETIT, R., VIVIEN F-D. (2000), « La nature comme modèle ? Ecologie industrielle et développement durable », *Cahiers du CERAS*, n° 38, mai, p. 62-75

DANNEQUIN F., DIEMER A., VIVIEN F.D (1998), « Thermodynamique, biologie et économie chez Georgescu-Roegen » *Colloque de Reims, Hermès*, 7 décembre, 8 p.

DANNEQUIN F., DIEMER A. (1998), « La place de la biologie et de la thermodynamique dans la théorie contemporaine, l'œuvre scientifique de Nicholas Georgescu-Roegen », *Colloque Charles Gide*, 26-27 septembre, Paris, 8 p.

DEFALVARD H. (2016), « Economie sociale et solidaire et développement durable, une liaison à amplifier », *Revue Francophone du développement durable*, n°7, mars, p. 5 - 10.

DIEMER A. (2017), « Industrial Symbiosis and European Policy » in Dierickx F., Diemer A., Gladkykh G., Morales M., Parrique T., Torres J. (dir), *Sustainable Development and European Union : challenges and Prospects*, Oeconomia.

DIEMER A. (2016), « Les symbioses industrielles, un nouveau champ d'analyse pour l'économie industrielle », *Innovations*, n°50, p. 65 - 94.

DIEMER A. (2015), « Qu'avons nous appris des symbioses industrielles ? », in Junqua G., Brulot S. (ed), *Ecologie industrielle et territoriale*, Presses des mines.

DIEMER A., FIGUIERE C., PRADEL M. (2013), *Ecologie Politique vs Ecologie Industrielle, quelles stratégies pour le développement durable ?* Editions Oeconomia.

- DIEMER A. (2012), « La technologie au cœur du développement durable : mythe ou réalité ? », *Cahier d'économie et d'innovation*, n°37, p. 73 – 94.
- DIEMER, A., LABRUNE, S. (2007), « L'écologie industrielle : quand l'écosystème industriel devient un vecteur du développement durable », *Revue Développement Durable et Territoires Fragiles*, octobre, p. 1-20.
- DOMENECH, T., DAVIES, M., (2010), Structure and Morphology of Industrial Symbiosis Network: the Case of Kalundborg, *Procedia Social and Behavioral Sciences*, vol 10, p. 79 – 89.
- DRON D. (2013), *La résilience : un objectif et un outil de politique publique, son apparition en France et quelques perspectives*, Editions ESKA.
- ERKMAN S. (2004), *Vers une écologie industrielle*. Paris: Editions Charles Léopold Mayer.
- ERKMAN, S. (1997), "Industrial Ecology: An Historical View", *Journal of Cleaner Production*, vol 5, n°1-2, p. 1 – 10.
- ESQUISSAUD, P. (1997), *Ecologie Industrielle*, Paris, Hermann.
- FIGUIERE C., BOIDIN B., DIEMER A. (2014), *Economie politique du développement durable*. Bruxelles: De Boeck.
- FROSCHE, R.A, GALLOPOULOS, N.E. (1989), "Strategies for Manufacturing", *Scientific American*, vol 261, Special Issue Managing Planet Earth, September, p. 144 – 152. Traduction française, Des stratégies industrielles viables, *Pour la Science*, vol 145, novembre, p. 106 -115.
- GEORGESCU-ROEGEN N. (1978), « De la Science Economique à la Bioéconomie », *Revue d'économie politique*, vol LXXXVIII, n° 3, mai-juin, p. 337 - 382.
- GEORGESCU-ROEGEN N. (1977a), « What Thermodynamics and Biology Can Teach Economists ? », *Bio-Science*, vol XXVII, April, p. 266 - 270.
- GEORGESCU-ROEGEN N. (1977b), « Inequality, Limits and Growth from a Bioeconomics Viewpoint », *Review of Social Economy*, vol XXXV, December, p. 361 - 375.
- GEORGESCU-ROEGEN N. (1976), *Energy and Economic Myths*, New York Pergamon Press.
- GEORGESCU-ROEGEN N. (1975), « Bio-Economic Aspects of Entropy » in *Entropy and Information in Science and Philosophy*, J. Zeman, Amsterdam Elsevier.
- GEORGESCU-ROEGEN N. (1971), *The Entropy Law and the Economic Process*, Cambridge, Harvard University Press, 4ème édition, 1981.
- GUGERLI-DOLDER B., FRISCHKNECHT-TOBLER U. (2011), *Umweltbildung Plus. Impulse zur Bildung*.
- HOLLING C. (1996), « Engineering Resilience versus Ecological » in Schultze P. (dir), *Engineering within Ecological Constraints*, National Academy of Engineering, p. 31 – 43.
- HOLLING C. (1973), « Resilience and stability of ecological systems », *Annual Review of Ecology and Systematics*, vol 4, p. 1 – 24.

- JAMES P. (2015), *Urban Sustainability in theory and Practice*, Routledge
- JUNQUA G., BRULLOT S. (2015), *Ecologie industrielle et territoriale*, Presses des Mines d'Alès.
- LULE CHABLE D., CERVANTES TORRE-MARIN G., GRACIELA C. (2011), *La implementación de la ecología industrial*. Récupéré sur Biblioteca digital: http://148.206.107.15/biblioteca_digital/capitulos/423-5762uki.pdf
- MARTIN S. (2005), *La résilience dans les modèles de systèmes écologiques et sociaux*, Thèse de Doctorat, Mathématiques Appliquées, Ecole Normale Supérieure de Cachan, 198 p.
- MEADOWS D.H, MEADOWS D.L, RANDERS J., BEHRENS III W.W (1972), *The Limits to Growth*, New York, Universe Books.
- PASSET R. (2010), *Les grandes représentations du monde et de l'économie à travers l'histoire*. Les liens qui libèrent.
- PIMM S. (1984), « The complexity and stability of ecosystems », *Nature*, vol 307, p. 321-326.
- PROMEXICO (2016), *Mexico Investment Map*, 30 janvier. Récupéré sur [mim.promexico.gob.mx](http://www.mim.promexico.gob.mx): <http://www.mim.promexico.gob.mx>
- ROPKE I. (2005), « Trends in the development of ecological economics from the late 1980s to the early 2000s », *Ecological Economics*, vol 55, p. 262 - 290.
- ROPKE I. (2004), « The Early History of Modern Ecological Economics », *Ecological Economics*, vol 50, n°3-4, October, p. 293 - 314.
- TERRASSE P. (2016), *L'économie collaborative*, Rapport au Premier Ministre, Hôtel de Matignon, Février, 94 p.
- VALLAT, D. (2015), « Une alternative au dualisme Etat-Marché : l'économie collaborative, questions pratiques et épistémologiques », *Working Paper TRIANGLE WP n°01-12/15*, décembre.
- ZHU, Q., LOWE E.A, WEI, Y.A, BARNES, D. (2007), "Industrial Symbiosis in China", *Journal of Industrial Ecology*, vol 11, n°1, p. 31-42.