



COLEIT 2012

UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE TROYES - 17 ET 18 OCTOBRE 2012

## Qu'avons-nous appris des symbioses industrielles?

DIEMER Arnaud\*

*Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand (CERDI, TRIANGLE)*

65 Boulevard F. Mitterrand

Boite Postale 320

63009 Clermont-Ferrand CEDEX 1

Tel. +33 (0)4 73 17 74 00 - Fax. +33 (0)4 73 17 74 28

### Résumé :

Si la symbiose industrielle peut se définir comme un engagement de firmes indépendantes dans une logique collective visant à tirer avantage des échanges de flux de matières et d'énergies, il semble particulièrement difficile de reproduire le cas de Kalundborg à l'échelle d'un territoire. Les clés de la symbiose industrielle résident dans le contexte qui a permis son émergence, plus particulièrement la collaboration (et l'esprit de confiance qui lui est associé) et les possibilités de synergies offertes par la proximité géographique. Deux faits importants méritent cependant d'être mentionnés. D'une part, la symbiose industrielle émerge souvent de manière spontanée, et non planifiée. D'autre part, la symbiose est difficilement observable par les parties extérieures au projet, les échanges émergent progressivement et se répandent dans la communauté. Une fois que la symbiose apparaît clairement aux yeux des différents protagonistes, il devient nécessaire de coordonner les échanges et de les généraliser à l'ensemble des parties de la symbiose.

---

\* Auteur/s à qui la correspondance devrait être adressée : diemera@aol.com

La notion « *d'écologie industrielle* » a été définie en 1989, dans un numéro spécial de la revue « *Scientific American* » consacrée à la gestion de la planète Terre. Dans un article intitulé « *Des stratégies industrielles viables* », Robert Frosch et Nicolas Gallopoulos, tous deux responsables de la Recherche chez General Motors, développent l'idée selon laquelle il devient nécessaire de recycler les biens usagés, d'économiser les ressources et de rechercher des matières premières de remplacement. L'accumulation des déchets et la pollution générée par le progrès technique les conduisent à remettre en cause le modèle de développement des économies industrielles et à formuler la notion d'écosystème industriel: « *Ainsi dans un système industriel traditionnel, chaque opération de transformation, indépendamment des autres, consomme des matières premières, fournit des produits que l'on vend et des déchets que l'on stocke. On doit remplacer cette méthode simpliste par un modèle plus intégré: un écosystème industriel* » (1989, p. 106). En l'espace d'une vingtaine d'années, le courant de l'écologie industrielle (Schulze, Frosch, Risser, 1996; Lifset, 1998; Ehrenfeld, 2004; Erkman, 2006) s'est structuré autour de plusieurs champs de recherche: 1° L'écologie industrielle fait appel en priorité à l'écologie scientifique, aux sciences naturelles et aux sciences de l'ingénieur (Schulze, 1996). 2° L'écologie industrielle doit pouvoir mobiliser des disciplines diverses, telles que les sciences économiques, juridiques et sociales (Boons, Roome, 2000). 3° Si un système industriel peut fonctionner comme un écosystème biologique, il ne faut pas prendre cette analogie « *au pied de la lettre* ». Ayres (1995) précise qu'il existe des différences importantes entre les organismes biologiques et les unités élémentaires du système industriel, en l'occurrence les entreprises. 4° Le concept d'écologie industrielle repose sur trois principaux éléments: (i) c'est une vision globale intégrée de tous les composants du système industriel et de leurs relations avec la Biosphère; (ii) la totalité des flux et des stocks de matière, d'énergie et d'informations liés aux activités humaines, constitue le domaine d'études de l'écologie industrielle; (iii) La dynamique technologique s'avère être un facteur crucial pour favoriser la transition du système industriel actuel vers un système viable (Ausubel, Sladovich, 1989).

Au-delà de ces spécificités, l'écologie industrielle doit relever un quadruple défi: valoriser les déchets (passer des *bads* aux *goods*), boucler les cycles en minimisant les rejets, dématérialiser les produits (accroître la productivité des ressources) et procéder à la décarbonisation de l'énergie (système industriel moins gourmand en énergie fossile).

Notre papier cherche à savoir si l'écologie industrielle peut être une stratégie viable du développement durable, en l'examinant plus particulièrement sous l'angle de la symbiose industrielle. La symbiose industrielle illustre la nécessaire interdépendance entre plusieurs processus de production de différentes firmes et le bouclage des flux de matière et d'énergie à mettre en œuvre à l'intérieur d'une zone d'activité 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). Si les symbioses industrielles semblent porteuses de bénéfices environnementaux, économiques et sociaux pour les entreprises impliquées dans une relation de collaboration (Brullot, Buclet, 2011), certaines études (Gibb, 2003, 2005) tendent à relativiser ces résultats en faisant un double constat. D'une part, les symbioses seraient peu nombreuses (il s'agit surtout de projets pilote). D'autre part, elles seraient difficiles à réaliser (problèmes à la fois de gouvernance et d'ordre financier). Afin de rendre compte de ces difficultés d'implantation et de proposer des pistes de réflexions, nous procéderons en deux temps. Dans un premier temps, nous reviendrons sur la *success story* de Kalundborg. Présentée comme l'archétype même de l'écologie industrielle, la symbiose danoise a focalisé l'attention de nombreux chercheurs. Dans un deuxième temps, nous tirerons quelques enseignements des symbioses industrielles<sup>1</sup>. Bâties sur le modèle de Kalundborg, ces dernières ont développé un système complexe d'échanges dans de nombreuses activités (mines, raffinage du sucre, biocarburants, industrie forestière). Dans un troisième et dernier temps, nous analyserons les différents processus à même de jouer un rôle dans la

---

<sup>1</sup> Tous les pays sont concernés par cette innovation "environnementale": Australie (Schwartz, Steininger, 1997), Corée (Behera, 2012), Chine (Zhu, Lowe, Wei, Barnes, 2007), Suède (Karlsson, 2008)...

conceptualisation de la symbiose industrielle. Nous mettrons ainsi en lumière les facteurs clés de succès et d'échec des symbioses industrielles.

## La symbiose industrielle, *The success story of Kalundborg*

Dans le cadre de l'écologie industrielle, l'étude et la promotion de la symbiose industrielle ont généré depuis près de 15 ans, un véritable programme de recherches. S'appuyant sur la notion de relations symbiotiques « biologiques », la symbiose industrielle est généralement illustrée par un réseau d'échanges entre différentes entités localisées sur un territoire. Christensen la définit comme “ *a collaboration between different industries for mutual economic and environmental benefits*” (2006, p. 3). En travaillant ensemble, les entreprises s'efforcent de proposer une prestation collective supérieure à la somme des bénéfices individuels qui pourrait être obtenue dans le cas d'actions indépendantes. Le principe de la collaboration agit sur les relations internes (celles des participants) tout en permettant à la symbiose d'élargir son environnement en intégrant des partenaires externes (fournisseurs, clients). La mise en place d'une symbiose industrielle est influencée par un certain nombre de facteurs, il s'agit de prendre en compte la nature des activités des entreprises concernées, leur histoire et leur localisation dans la région, la présence d'un organe chargé de coordonner les acteurs de la symbiose... La question du contexte (spécifique) est ainsi souvent soulignée dans la littérature pour expliquer les succès ou les échecs d'une symbiose (Christensen, 2006).

Dans sa forme initiale, l'expression « *symbiose industrielle* » a été proposée pour décrire des relations d'échanges de produits entre plusieurs entreprises, situées près de la ville danoise de Kalundborg (Ehrenfeld, Gertler, 1997). Ces relations ont émergé de manière spontanée et créé différentes formes de coordination (Chertow, Ehrenfeld, 2001). En général, les trois possibilités d'échanges de ressources suivantes sont prises en compte: (1) la réutilisation des produits, (2) le partage des infrastructures, (3) la fourniture conjointe de services. La symbiose industrielle met l'accent sur les stratégies inter-entreprises<sup>2</sup> tout en faisant référence à un ensemble de terminologies relatives à un nouveau modèle économique: écosystème industriel (Cote, Hall, 1995), îlots de soutenabilité (Wallner, Narodoslawsky, 1996), éco-parcs industriels (Côte, Cohen, Rosenthal, 1998)... Il s'agit d'optimiser des ressources collectives associées à des échanges de sous-produits et de partager certains services. Un très grand nombre de travaux renvoie à la symbiose industrielle de Kalundborg au Danemark (Ehrenfeld, Gertler, 1997; Esty, Porter, 1998; Ehrenfeld, Chertow, 2002; Brings, Jacobsen, Anderberg, 2004; Christensen, 2006; Chertow, 2007). Cette symbiose peut être présentée soit comme un nouveau paradigme, soit comme une illustration d'échanges spontanés (déchets, eau, énergie) réalisés entre plusieurs entreprises sur la base d'une dépendance contractuelle. Le développement de la symbiose industrielle de Kalundborg a généralement été décrit comme un processus évolutif (Chertow, 2004) au cours duquel des échanges de sous-produits indépendants ont progressivement évolué vers un réseau complexe d'interactions symbiotiques entre cinq entreprises implantées près d'une municipalité locale (Ehrenfeld, Gertler, 1997). La symbiose comprend une centrale électrique (Asnaes), une raffinerie de pétrole (Statoil), une société de biotechnologie et de produits pharmaceutiques (Groupe Novo), un producteur de plaques de plâtre (Gyproc), une société de décontamination des sols (Soilrem). Les flux de matières (eau, déchets solides) et d'énergies (chaleur, vapeur) constituent les principaux produits ou sous-produits. Par exemple, la centrale électrique produit de la chaleur pour la ville de Kalundborg, de la vapeur pour Novo et la raffinerie Statoil. De l'eau chaude ayant servi au refroidissement de la centrale est acheminée vers une ferme piscicole (ce qui permet une production de poissons à grande échelle).

Afin d'analyser la performance environnementale et économique de la symbiose de Kalundborg, Jacobsen (2006) a proposé une analyse quantitative des échanges d'eau et de vapeur. Les avantages environnementaux ont été comptabilisés sur la base de leur capacité à réduire la consommation d'eau de 'haute qualité' par le biais d'effets de substitution (système de cascades d'eau). Du côté des flux de vapeur et de chaleur, les échanges de la symbiose

---

<sup>2</sup> Chertow (2000) considère que l'écologie industrielle peut opérer à trois niveaux: le niveau de la firme, au niveau inter-firmes et au niveau régional (ou niveau global).

industrielle ont été estimés en fonction des effets de cogénération et de réduction nette des émissions de dioxyde de carbone, de dioxyde de soufre et d'oxydes d'azote. Les retombées économiques ont quant à elles été appréhendées à partir d'une combinaison d'économies directes et indirectes liées à des questions de production (en amont et en aval). La région de Kalundborg est caractérisée par un déficit en eaux souterraines. Ainsi, de nombreuses initiatives publiques et privées ont cherché au cours de ces dernières décennies à économiser les eaux souterraines. Jacobsen (2006) a identifié les trois stratégies suivantes. La première consistait à remplacer les eaux souterraines par des eaux de surface dans les secteurs les plus consommateurs d'eau (1961). La deuxième cherchait à optimiser l'utilisation de l'eau au sein de la symbiose et à diversifier les sources d'eau extérieures dans les industries consommatrices d'eau (1975). La troisième tentait de convertir les eaux de surface de qualité supérieure en eau potable de bonne qualité et d'importer les eaux souterraines des régions adjacentes à Kalundborg (1997). Ces différentes stratégies ont permis de créer un système d'alimentation en eau diversifié au niveau du territoire, et de générer une coopération étroite entre les industries consommatrices d'eau. Selon Jacobsen, l'importance des flux symbiotiques par rapport aux flux totaux d'eau est considérable: " *More than 95% of the water input of the power plant is part of the symbiotic network, whereas 98% of the water input for the refinery is symbiotic in character, approximately 20% for the Novo facility*" (2006, p. 243). Pour la centrale électrique Asnae, cinq sources différentes (y compris une forme symbiotique) constituent la base de l'alimentation en eau: (i) l'utilisation de l'eau de surface en collaboration avec la raffinerie Statoil et l'usine de Novo, (ii) l'utilisation de l'eau de refroidissement de la raffinerie, (iii) l'utilisation des eaux usées de la raffinerie, (iv) la réutilisation des eaux usées de la société Novo, (v) la réutilisation de l'eau de l'usine de traitement des eaux usées publiques. La centrale électrique d'Asnae s'approvisionne en eau de surface à partir d'un lac voisin. L'eau de surface est traitée pour améliorer sa qualité et chauffée pour fournir de la vapeur. Trois effets méritent d'être signalés. Premièrement, une économie annuelle d'eau (686 000 m<sup>3</sup> en 2002) a pour origine le remplacement des eaux souterraines par les eaux de surface. Deuxièmement, la centrale Asnae remplace l'eau de surface par de l'eau refroidie provenant d'un pipe-line la reliant avec la raffinerie. Cette dernière prend l'eau de surface (qui remplace l'eau souterraine) et l'utilise comme eau de refroidissement. Cette eau est ensuite acheminée vers la centrale. Asnae traite et améliore la qualité de l'eau refroidie en la chauffant pour produire de la vapeur. Troisièmement, les eaux usées sont acheminées de la raffinerie vers la centrale pour remplacer en partie les eaux souterraines et les eaux refroidies (9 000 m<sup>3</sup> en 2002). Les projets symbiotiques (12 au total) concernent l'eau de surface, l'eau de refroidissement et les eaux usées, mais plus bas dans la chaîne d'approvisionnement, l'eau est transformée en vapeur (6 projets) et livrée comme un produit à haute valeur énergétique aux différents partenaires ou sous la forme de chaleur pour le système de chauffage urbain de la ville de Kalundborg. Jacobsen estime que plus de 50% de l'apport énergétique de l'usine de Novo et 4% de celui de la raffinerie Statoil prennent la forme de vapeurs d'eau produites par des activités de la symbiose.

Table 1: Water consumption in thousand cubic meters

|                     | 1991  | 1995  | 2002  |
|---------------------|-------|-------|-------|
| Asnae Power Plant   |       |       |       |
| Groundwater         | 412   | 73    | 51    |
| Surface water       | 87    | 733   | 686   |
| Cooling/waste water | 705   | 820   | 492   |
| Novo Group          |       |       |       |
| Water intake        | 1,600 | 2,200 | 2,700 |
| Statoil Group       |       |       |       |
| Water intake        | *     | 1,300 | 1,600 |

Source: Jacobsen, 2006, p. 245

## Les enseignements de Kalundborg

Au vu de Kalundborg, il semblerait que les échanges réalisés au sein de la symbiose industrielle aient occasionné des avantages économiques et environnementaux manifestes<sup>3</sup>. La symbiose apparaît sous les traits d'une substitution directe/indirecte et d'un partage de services. Au-delà des avantages, il est intéressant de comprendre et d'interpréter le succès de Kalundborg. Jorgen Christensen (2006), consultant au *Symbiosis Institute*, attribue le succès des échanges au sein de la symbiose industrielle au contexte<sup>4</sup> (historique) et aux perspectives dans lesquelles les arrangements réciproques ont été pensés. Ainsi, la symbiose industrielle ne serait pas une réponse qu'il faudrait isoler de son environnement, mais plutôt la partie d'un processus améliorant la performance globale (environnementale, économique, sociale, culturelle) de l'entreprise individuelle et de l'organisation collective. La collaboration entre firmes peut être ainsi présentée comme un vecteur de développement durable<sup>5</sup>. En retraçant l'histoire de la symbiose industrielle de Kalundborg, Christensen a tenté de répondre aux trois questions suivantes: Comment la symbiose industrielle s'est-elle développée? Pourquoi précisément à Kalundborg? Qu'est-ce qui explique la bonne communication entre les partenaires?

Cinq facteurs seraient ainsi à l'origine du succès de Kalundborg: (i) la collaboration entre des participants<sup>6</sup> opérant sur des secteurs d'activité différents, (ii) l'importance de la solution marchande, (iii) une proximité géographique entre les participants (écologie industrielle régionale<sup>7</sup>); (iv) la volonté de travailler ensemble et de partager des valeurs, (v) la bonne communication entre les partenaires. Dans les pages qui suivent, nous emploierons le terme de principes pour expliquer le succès de Kalundborg. Cinq principes sont nécessaires pour produire une symbiose industrielle: le *principe de différence*, le *principe économique*<sup>8</sup>, le *principe géographique*<sup>9</sup>, le *principe psychologique* et le *principe de communication*.

---

3 Il s'agit aussi bien d'avantages importants (échanges d'eau de refroidissement entre Asnae et Statoil) que d'avantages mineurs (échanges d'eaux usées entre les deux mêmes sociétés).

4 Costa et al (2010) soutiennent que la symbiose industrielle dépend d'un contexte favorable qui peut être décrit en termes cognitifs, structurels, culturels, politiques, spatiaux et temporels.

5 Lambert et Boons (2002) soulèvent deux difficultés principales dans ce passage au développement durable. Tout d'abord, s'il est relativement facile à réaliser à court terme (changements sociaux partiels), à long terme, les acteurs ont tendance à retomber dans leurs vieilles habitudes en raison de leur enracinement institutionnel. Ensuite, pour assurer un changement du système plutôt que son optimisation, il faut sortir du système actuel. Ainsi, tous les acteurs du système doivent être impliqués dans le processus de changement.

6 Domenech et Davies (2010, p. 88) notent que « the path distance is very small, which has contributed to a) reducing the transactions costs associated with the exchanges b) favouring the building of trust and commitment among members ».

7 Baas et Boon (2004) ont élaboré un cadre méthodologique issu des sciences sociales pour étudier l'écologie industrielle régionale. Un processus d'apprentissage en trois étapes est proposé pour analyser l'évolution des initiatives en matière d'écologie industrielle. Les phases sont qualifiées d'efficacité régionale, d'apprentissage régional et de district industriel durable. Chaque phase est associée à des mécanismes de gouvernance à partir desquels les différents types de biens collectifs sont produits.

8 La symbiose industrielle est une expression du Business to Business (supply chain management) cependant il convient de tenir compte de considérations d'ordre temporel (court terme / long terme) et économique (effets directs et indirects).

9 Lyons (2007) a examiné la relation entre l'échelle géographique et l'économie circulaire pour des déchets hétérogènes.

Table 2: Les raisons du succès de la symbiose de Kalundborg

| Comment la symbiose s'est développée?   | Pourquoi à Kalundborg?   | Le rôle communication a été primordial, pourquoi?   | Les facteurs clés du succès  |
|---|--|---|--|
| <p>Un non projet réalisé par une "non organisation"</p> <p>La symbiose s'est constituée en l'espace de 30 ans.</p> <p>Des personnes et non pas une personne sont à l'origine de cette innovation</p> <p>Des projets ont été lancés de façon indépendante.</p> <p>Le terme 'symbiose industrielle' a été introduit en 1989.</p> <p>La diffusion de l'esprit symbiotique auprès de la communauté.</p> | <p>Le potentiel industriel existant: plusieurs grandes entreprises.</p> <p>Des distances spatiales limitées.</p> <p>L'incitation économique existait.</p> <p>Pas de barrière légale.</p> <p>Une bonne communication.</p> | <p>La taille du groupe</p> <p>Pas de concurrence</p> <p>Les managers avaient déjà l'habitude de se rencontrer au Rotary club</p> <p>Un style de management très ouvert</p> <p>Un projet (vapeur) impliquant quatre partenaires.</p> | <p>Les partenaires doivent collaborer tout en restant différents</p> <p>Des projets environnementalement volontaires et commercialement attractifs</p> <p>Peu de distance physique entre les participants</p> <p>Forte complicité entre les partenaires</p> <p>Une communication plus importante que la technologie.</p> |

Source: Christensen (2006, p. 45-46-47-48)

Au-delà de ces principes, les faits économiques, environnementaux et opérationnels semblent indiquer que le succès de Kalundborg est lié à un contexte spécifique<sup>10</sup>. Costa et Ferrao (2010) suggèrent qu'un contexte favorable au développement de la symbiose industrielle "*can be shaped through an interactive process wherein the government, industries and other institutions are guided towards aligning their strategies in support of collaborative business strategies in resource management*" (2010, p. 985).

De leur côté, Domenech et Davies (2010) ont démontré qu'au-delà de la faisabilité technique et économique des échanges, les éléments sociaux jouaient également un rôle crucial dans le développement du réseau de la symbiose industrielle. Par réseau social, il faut entendre le rôle des différents membres, les processus de transfert de l'information, la négociation des échanges, la confiance, la formation des alliances (Domenech, Davies, 2009). Il s'agit également d'étudier les modes de mise en relation, les interactions et la structure sociale (Ashton, 2008). L'analyse de la structure sociale et la morphologie des réseaux nous aident à identifier les conditions dans lesquelles les entreprises exercent leurs activités et atteignent les résultats attendus. À Kalundborg, le réseau de la symbiose industrielle est caractérisé par le *type de transactions* (quatre types de transactions: l'échange de matériels flux de déchets, de change et de l'eau en cascade, cascade d'énergie, l'échange de connaissances), *une taille critique* (six principales sociétés), *une haut degré de centralisation* (rôle important joué par la central Asnae, la plupart des échanges ont lieu entre les acteurs centraux, ce qui réduit les coûts de transaction) et *une forte densité de liens* (le flux des transactions contribue à une augmentation de la densité du réseau et favorise la construction de relations plus étroites). L'institutionnalisation du réseau a eu lieu en 1996, lorsque les différents partenaires ont décidé de créer the *Symbiosis Institute* (Christensen, 2006), une plate-forme destinée à diffuser les expériences et de contribuer à l'identification des domaines potentiels de collaboration.

Notons pour finir que l'étude des symbioses industrielles conduit à distinguer deux niveaux d'analyse (Boons, Spekkink, Mouzakitis, 2011). Au premier niveau, on identifie le système industriel régional qui est associé à "*a more or less stable collection of firms located in proximity to one another, where firms in principle can develop social and material/energy connections as a result of that proximity*" (Boons, Spekkink, Mouzakitis, 2011, p. 907). A ce niveau, les collectivités locales et d'autres acteurs (consommateurs, citoyens, ONG) peuvent s'impliquer

<sup>10</sup> Lambert et Boons (2002) notent que dans la pratique, le changement vers la durabilité est particulièrement difficile à réaliser dans les parcs industriels mixtes en raison de divergences d'intérêts entre les acteurs concernés, d'un manque d'organisation collective et d'une expérience insuffisante en matière de coopération.

dans le projet de symbiose et accroître la viabilité du système industriel régional. Une grande partie de la littérature décrit, compare et analyse les cas où les systèmes industriels régionaux de différentes tailles cherchent à développer leur réseau de contacts ou prévoient de le faire (Van Leeuwen et al, 2003; Heeres et al, 2004). Au second niveau, nous avons l'échelon sociétal. Ici, nous ne nous intéressons pas à la dynamique du processus créateur de liens entre les entreprises, mais plutôt à la manière dont les symbioses industrielles se diffusent dans la société. Nous nous référons ici à la théorie institutionnelle, et plus précisément aux mécanismes de diffusion d'une innovation sociale auprès d'un ensemble d'organisations. La diffusion peut être le résultat de la transmission d'une innovation d'une organisation vers une autre organisation ou d'un processus de sélection par lequel les organisations qui n'utilisent pas l'innovation disparaissent. DiMaggio et Powell (1983) distinguent un certain nombre de mécanismes de transmission pouvant conduire à la diffusion d'innovations dans un champ organisationnel. Boons, Spekkink et Mouzakitis (2011, p 909) ont proposé une liste des mécanismes de transmission: 1) la contrainte (une organisation est contrainte d'adopter les règles routinières d'une autre organisation qui détient le pouvoir au sein de la symbiose), 2) l'imitation (une organisation peut adopter des routines et des procédures de fonctionnement suite à leurs observations des pratiques des autres organisations, ceci pour des raisons statutaires ou parce que ces pratiques fournissent une réponse à des situations incertaines), 3) le gouvernement des intérêts privés (des organisations peuvent choisir d'adopter collectivement une règle ou une routine en raison de la menace de la législation (si elles restaient inactives), 4) les initiatives publiques (les acteurs politiques peuvent initier des expériences et des pratiques nouvelles, puis diffuser les résultats sous la forme d'un label "bonne ou meilleure pratique" pour accélérer son acceptation, 5) la formation et la professionnalisation (grâce à la formation, les individus peuvent apprendre des notions et des techniques nouvelles, et par la suite commencer à les appliquer dans leur milieu de travail, 6) l'altération des conditions limites (des actions sont destinées à stimuler les acteurs d'un système industriel régional de manière à ce qu'ils s'auto-organisent). Ces mécanismes de transmission jouent un rôle dans la diffusion des concepts de symbiose industrielle et des pratiques routinières à l'ensemble de la société.

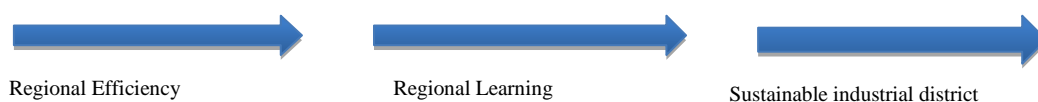
La symbiose industrielle et plus précisément ces deux niveaux – système régional industriel et échelon sociétal - renvoient aux effets des activités humaines sur les organismes vivants et leur environnement non vivant (ce que nous appelons, l'impact écologique).

## **La symbiose, un modèle de développement durable?**

Au-delà de la spécificité de la symbiose industrielle de Kalundborg, une question intéressante est de savoir si les échanges symbiotiques émergent de manière spontanée ou s'ils reposent sur quelque chose qui va au delà des simples relations marchandes? En d'autres termes, est-ce que l'exemple de Kalundborg peut être reproduit dans un contexte et un lieu géographique différents? Peut-on planifier un modèle de symbiose industrielle? Sur ce point, Nicolas Buclet (2011, p. 171) rappelle que les résultats sont contrastés, voire décevants. Si les illustrations de symbiose industrielle présentes en Australie (Schwartz, Steininger, 1997), en Chine (Zhu et Côté, 2004, Zhu, Lowe, Wei et Barnes, 2007), en Suède (Karlsson, 2008), en Corée (Behera, 2012)... ont développé un système complexe d'échanges dans de nombreuses activités (mines, biocarburants, raffinage du sucre, industrie forestière...), les recherches empiriques tendent à montrer que les tentatives de planification ont rarement débouché sur des organisations pérennes. Gibbs (2003, 2005) a étudié 63 parcs éco-industriels (30 parcs aux États-Unis et 30 en Europe) et a en conclu que *"initiatives based upon the interchange of wastes and cascading of energy are few in number and difficult to organize"*. Pour comprendre cet échec, Chertow (2007, p. 21) distingue un modèle planifié et un modèle auto-organisé de la symbiose industrielle. Le premier modèle se réfère à des efforts 'conscients' pour identifier les organisations de différents secteurs et les localiser afin qu'elles puissent partager des ressources entre elles. Typiquement, la planification de ces systèmes aux États-Unis a entraîné la formation d'un stakeholder group qui a pour fonction de guider les actions d'un organisme gouvernemental (ou quasi-public) visant à encourager le développement de symbioses. Le second modèle renvoie aux écosystèmes industriels qui se dégagent des décisions motivées par des acteurs privés souhaitant échanger des ressources pour des raisons économiques. Dans les premiers temps, les participants ne prennent pas conscience de l'apparition de la

symbiose industrielle ou de son inclusion dans un écosystème industriel. Cette perception se développe au fil du temps. Chertow affirme que les initiatives politiques devraient être axées sur l'identification de la symbiose industrielle et son développement ultérieur. Cette recommandation fait suite aux conclusions du rapport de l'USPCSD (Conseil du Président américain sur le développement durable): "*Federal and state agencies should assist communities that want to create eco-industrial parks that cluster businesses in the same area to create new models of industrial efficiency, cooperation and environmental responsibility*" (1996, p. 104). De leur côté, Boons et Berends (2001), Baas et Boons (2004) ont suggéré que l'émergence des symbioses industrielles était basée sur des situations win-win (gagnant-gagnant) entre des entreprises présentes sur un territoire donné, la nouvelle forme organisationnelle qui en résultait, pouvait engendrer un développement industriel. Trois étapes sont ici introduites. La première étape, *l'efficacité régionale*, est décrite comme une décision autonome prise par les entreprises, la coordination avec les entreprises locales permet de diminuer les inefficacités (partage des services publics). La deuxième étape, *l'apprentissage régional*, est fondée sur la reconnaissance et la confiance mutuelle, les entreprises et d'autres partenaires échangent des informations et participent à l'élargissement de la notion de durabilité. La troisième étape, *le district industriel durable*, insiste sur l'évolution de plus en plus marquée vers une vision stratégique et une action concertée enracinée dans la durabilité.

Fig 3: Emergence de symbiose industrielle



Source: Baas and Boons (2004), Chertow (2007)

Chertow (2007, p. 23) note qu'il n'est pas certain que cette troisième étape « le district industriel durable » intervienne et que l'orientation fortement collective soit compatible avec les autres impératifs des entreprises. En outre, il y a des développements planifiés, notamment de systèmes dominés par une seule entreprise, qui pourraient rassembler les principaux acteurs et générer des avantages. La planification formelle est beaucoup plus institutionnalisée dans les pays tels que la Chine, la Corée et Singapour, c'est notamment le cas du groupe Guitang, évoqué précédemment.

## Conclusion

Si la symbiose industrielle s'appuie sur une démarche collective visant à recycler et à valoriser les déchets, il semble particulièrement difficile de dupliquer l'exemple de Kalundborg. Le contexte territorial, les facteurs humains et organisationnels constituent de puissants leviers d'émergence et de diffusion des innovations. Les travaux sur les symbioses industrielles renvoient à des références théoriques telles que les formes hybrides de Williamson, les districts industriels de Becattini, la logique des stakeholders de Mitchell. Deux conclusions méritent une attention particulière. D'une part, la symbiose industrielle émerge souvent de manière spontanée, et non planifiée. Plusieurs motifs peuvent expliquer un tel engouement pour ces formes organisationnelles collectives : la rareté des ressources (eau), l'opportunité de valoriser certains sous-produits (utilisés comme entrants), les changements de la réglementation, l'action publique initiant la diffusion d'un modèle sur un territoire donné, des facilités en matière d'infrastructures... D'autre part, la symbiose est difficilement observable par les parties extérieures au projet, les échanges émergent progressivement et se répandent dans la communauté. Une fois que la symbiose apparaît clairement aux yeux des différents protagonistes, il devient nécessaire de coordonner les échanges et de les généraliser à l'ensemble des parties de la symbiose. La symbiose est ainsi institutionnalisée.



## Références

- Ayres R.U., Ayres L.W., 1996, *Industrial Ecology: Towards Closing the Materials Cycle*, Edward Elgar.
- Ausubel J.H., Sladovich H.E., 1989, *Technology and Environment*, National Academy Press, Washington.
- Baas L.W., Boons F.A., 2004, An industrial ecology project in practice: Exploring the boundaries of decision making levels in regional systems, *Journal of Cleaner Production*, 12, 8- 10, 1073 – 1085.
- Becattini G., 2004, *Industrial Districts: A New Approach to Industrial Change*, Edward Elgar Publishing Williston, Vermont.
- Becattini G., Bellandi M., Ottati G.D., Sforzi F., 2003, *From Industrial Districts to local Development: An Itinerary of Research*, Edward Elgar Publishing, Cheltenham.
- Boons F., Berends M., 2001, Stretching the boundary: The possibilities of flexibility as an organisational capability in industrial ecology, *Business Strategy and the Environment*, 10, 2, p. 115-124.
- Bourg D., Erkman S., 2003, *Perspectives on industrial Ecology*, Sheffield, Greenleaf Publishing.
- Brings Jacobsen N., 2006, Industrial Symbiosis in Kalundborg, Denmark: A quantitative Assessment of Ecobomic and Environmental Aspects, *Journal of Industrial Ecology*, 10, 1-2, 239 – 255.
- Brings Jacobsen N., Anderberg S., 2004, Understanding the evolution of industrial symbiotic networks – the case of Kalundborg in Van Den Bergh J. and Janssen M. (dir), *Economics of industrial ecology: Materials, structural change and spatial scale*, Cambridge, MIT Press.
- Brollot S., Buclet N., 2011, Comment mettre en oeuvre des symbioses industrielles en France, Université de Technologie de Troyes, 16 p.
- Buclet N., 2011, *Ecologie industrielle et territoriale*, Septentrion.
- Chertow M.R., 2007, Uncovering Industrial Symbiosis, *Journal of Industrial Ecology*, 11, 1, 11-30.
- Chertow M.R., 2004, Industrial Symbiosis in *Encyclopedia of Energy*, Cleveland C.J (ed), Oxford.
- Chertow M.R., 1999, The Eco-industrial Park Model Reconsidered, *Journal of Industrial Ecology*, 2, 3, 8-10.
- Côte R., Cohen-Rosenthal E., 1998, Designing Eco-industrial parks: A synthesis of some experiences, *Journal of Cleaner Production*, 6, 181-188.
- Domenech T., Davies M., 2010, Structure and Morphology of Industrial Symbiosis Network: the Case of Kalundborg, *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 10, 79 – 89.
- Domenech T., Davies M., 2009, The social aspects of industrial symbiosis: The application of social network analysis to industrial symbiosis network, *Progress in Industrial Ecology, An International Journal*, 6, 1, 68 – 99.
- Ehrenfeld J.R., Gertler N., 1997, Industrial Ecology in Practice: The evolution of interdependence at Kalundborg, *Journal of industrial Ecology*, winter, 1, 1, 67-79.
- Ehrenfeld J.R., Chertow M., 2002, Industrial Symbiosis: The Legacy of Kalundborg in R. Ayres (dir), *Handbook of Industrial Ecology*, Northampton, UK: Edward Elgar.
- Ehrenfeld J.R., 2004, Can Industrial Ecology be the 'Science of sustainability? *Journal of Industrial Ecology*, 8, 1-2, 1-3.
- Ehrenfeld J.R., 2005, Eco-efficiency: Philosophy, Theory and Tools, *Journal of Industrial Ecology*, 9, 4, 6 - 8.
- Erkman S., 1997, Industrial Ecology: An Historical View, *Journal of Cleaner Production*, 5, 1-2, 1 – 10.
- Erkman S., 2004, L'écologie industrielle, une stratégie de développement, *Exposé*, Bruxelles, 9 p.
- Esquissaud P., 1997, *Ecologie Industrielle*, Paris, Hermann.
- Esty D.C., Porter M.E., 1998, Industrial Ecology and Competitiveness : Strategic Implications for the Firm, *Journal of Industrial Ecology*, 2, 1, 35-43.
- Frosh R.A., 1992, Industrial Ecology: A philosophical Introduction, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 89, 800 – 803.
- Frosh R.A., Gallopoulos N.E., 1992, *Towards an Industrial Ecology*, in Bradshaw A.D, *The Treatment and Handling of Wastes*, Chapman and Hall, London. 269 – 292.
- Frosh R.A., Gallopoulos N.E., 1989, Strategies for Manufacturing, *Scientific American*, 261, Special Issue Managing Planet Earth, September, 144 – 152. Traduction française, *Des stratégies industrielles viables*, Pour la Science, 145, novembre, 106 -115.
- Gibbs D.C., Deutz P., Procter A., 2005, Industrial ecology and eco-industrial development: A new paradigm for local and regional development? *Regional Studies*, 39, 2, 171-183.

- Gibbs D.C., 2003, Trust and networking in interfirm relations: The case of eco-industrial development, *Local Economy*, 18, 3, 222-236.
- Kormondy E. J., 1969, *Concepts of Ecology*, Englewood Cliffs, N.J, Prentice-Hall, Inc.
- Lifset R., 2006, What Next for Industrial Ecology? Scientific Workshop Frontiers of Research in Industrial Ecology, University of Lausanne, November 27 – December 1th, 17 p.
- Loewe E.A., 2001, *Eco-industrial handbook for Asian Developing Countries*, Report to the Environment Department, Asian Development Bank.
- Loewe E.A., 2005, *Defining eco-industrial parks: The global context and China*, Environmental Protection Administration, China.
- Marshall A., 1919, *Industry and Trade*, Mac Millan, New York.
- Peck S., 2001, When is an Eco-Industrial Park not an Eco-Industrial Park?, *Journal of Industrial Ecology*, 5, 3, 3-5.
- Powers C.W., Chertow M.R., 1997, Industrial Ecology, in M.R. Chertow, D.C. Esty (eds) *Thinking Ecologically*, New Haven, Yale University Press, 19-36.
- Schulze P., 1996, *Engineering with Ecological Constraints*, National Academy Press.
- The Guitang Group, 2004, *Brochure of the Guitang Group*.
- Tilley D.R., 2003, Industrial Ecology and Ecological Engineering : Opportunities for Symbiosis, *Journal of Industrial Ecology*, 7, 2, 13-32.
- USPCSD, 1996, *Sustainable America: A new consensus for prosperity, opportunity, and a healthy environment for the future*, Washington, US Government.
- Wells P., Orsato R.J., 2005, Redesigning the Industrial Ecology of the Automobile, *Journal of Industrial Ecology*, 9, 3, 15-30.
- Zhu Q., Lowe E.A, Wei Y.A, Barnes D., 2007, Industrial Symbiosis in China, *Journal of Industrial Ecology*, 11, 1, 31-42.
- Zhu Q.H, Geng Y., 2002, Integrating environmental issues into supplier selection and management: a study of large and medium sized state owned enterprises in china, *Greener Management International*, 35, 27 – 40.
- Zhu Q.H, Côté R.P, 2004, Integrating green supply chain management into an embryonic eco-industrial development : A case of study of the Guitang Group, *Journal of Cleaner Production*, 12, 1025 – 1035.