

Les ateliers de l'éthique The Ethics Forum

Les ateliers de l'éthique
The Ethics Forum

L'écologie industrielle : nouveau paradigme ou slogan à la mode

Raphaël Larrère

Volume 1, Number 2, Fall 2006

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1044684ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/1044684ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Centre de recherche en éthique de l'Université de Montréal

ISSN

1718-9977 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Larrère, R. (2006). L'écologie industrielle : nouveau paradigme ou slogan à la mode. *Les ateliers de l'éthique / The Ethics Forum*, 1(2), 103–113.
<https://doi.org/10.7202/1044684ar>

Article abstract

The project of industrial ecology is to offer guidance to the industrial systems, in order that they function in a cyclic way. After having developed the principal arguments which militate in favour of industrial ecology and having offered an exemplary case, I will examine the limits of the analogy between industrial systems and ecological systems, thus expressing the circumstances and the factors which preclude the former to function at least roughly like the latter. The exemplary case having shown that technological effectiveness is not enough to grant a competitive advantage, I will finish by offering support to the contention that one can regard industrial ecology as a form of Utopia.

Tous droits réservés © Centre de recherche en éthique de l'Université de Montréal, 2006



This document is protected by copyright law. Use of the services of Érudit (including reproduction) is subject to its terms and conditions, which can be viewed online.

<https://apropos.erudit.org/en/users/policy-on-use/>

érudit

This article is disseminated and preserved by Érudit.

Érudit is a non-profit inter-university consortium of the Université de Montréal, Université Laval, and the Université du Québec à Montréal. Its mission is to promote and disseminate research.

<https://www.erudit.org/en/>

L'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE : NOUVEAU PARADIGME OU SLOGAN À LA MODE ?

Article : 104 → 110 Graphiques : 111 → 112

Notes de bas de page : 113

103

VOLUME 1 NUMÉRO 2
AUTOMNE/FALL 2006
ARTICLES

RAPHAËL LARRÈRE

DIRECTEUR DE RECHERCHE, INSTITUT NATIONAL DE
LA RECHERCHE AGRONOMIQUE (INRA), FRANCE

RÉSUMÉ

Le projet de l'écologie industrielle est de conduire les systèmes industriels à fonctionner eux-mêmes de façon cyclique. Après avoir développé les principaux arguments qui militent en faveur de l'écologie industrielle et en avoir présenté un cas exemplaire, je vais examiner les limites de l'analogie entre systèmes industriels et systèmes écologiques, dégagant ainsi les circonstances et les facteurs qui ne permettent guère aux premiers de fonctionner approximativement comme les seconds. Le cas exemplaire évoqué ayant montré que l'efficacité technologique ne suffit pas à accorder un avantage compétitif, j'examinerai enfin dans quelle mesure on peut considérer l'écologie industrielle comme une utopie.

ABSTRACT

The project of industrial ecology is to offer guidance to the industrial systems, in order that they function in a cyclic way. After having developed the principal arguments which militate in favour of industrial ecology and having offered an exemplary case, I will examine the limits of the analogy between industrial systems and ecological systems, thus expressing the circumstances and the factors which preclude the former to function at least roughly like the latter. The exemplary case having shown that technological effectiveness is not enough to grant a competitive advantage, I will finish by offering support to the contention that one can regard industrial ecology as a form of Utopia.

Le numéro 113 du Débat¹ a consacré en 2001 un dossier aux problèmes environnementaux, qui annonçait son ambition sous le titre suivant : « L'écologie au-delà de l'utopie ». Dans un des articles de ce dossier, Dominique Bourg s'appliquait à critiquer l'écologie *new age*, aussi bien que l'écologie politique. Il invitait ses lecteurs à sortir d'un lieu commun, dans lequel se seraient enfermés les environnementalistes et, plus particulièrement, les « partis verts », – à savoir « l'opposition entre le marché et l'industrie d'une part et le respect de la biosphère de l'autre »². Après avoir brièvement affirmé que les mécanismes du marché peuvent aider à diminuer les pollutions et, en particulier, les émissions de gaz à effet de serre, Dominique Bourg argumentait ce qui était au cœur de son propos : l'industrie peut venir au secours de l'écologie, pour peu qu'elle s'en inspire. « Il n'est plus possible (...) de se satisfaire d'une opposition frontale entre industrie et environnement. L'écologie industrielle ouvre la possibilité de repenser de fond en comble et, plus encore, de transformer les relations entre industrie/société/nature. A l'origine de ce nouveau paradigme, il y a un constat extrêmement simple : les écosystèmes naturels fonctionnent de façon cyclique, alors que les systèmes industriels et sociaux épuisent des ressources d'un côté et accumulent des déchets de l'autre ; aucun système ne saurait, au sein de la biosphère, fonctionner ainsi durablement ». Le projet de l'écologie industrielle est de conduire les systèmes industriels à fonctionner eux-mêmes de façon cyclique.

Pour cela, il faut faire en sorte que les déchets, les effluents et les pertes énergétiques d'une entreprise servent de ressources à d'autres entreprises, dont les déchets, effluents et pertes énergétiques seront à leur tour utilisés par de nouvelles industries. Aussi, le « but ultime » de l'écologie industrielle serait-il « de produire et recycler comme le vivant lui-même ». Il s'agit, non plus de substituer une technosphère à la biosphère, mais de « boucler autant que possible la technosphère sur elle-même, afin de perturber le moins possible les grands cycles bio géochimiques ».

Dominique Bourg reconnaît que ce « bio-mimétisme » (ou plutôt cet éco-mimétisme) ne résoudra pas tous les problèmes – et en particulier l'érosion de la diversité biologique – mais il voit dans cette écologie industrielle un « nouveau paradigme », voire un « retournement métaphysique », dans la mesure où « refuser de substituer indéfiniment du capital technique au capital naturel (...) c'est reconnaître l'altérité de la nature et en respecter la valeur ».

L'écologie industrielle compte ainsi bien maintenir, voire développer la production d'artéfacts, tout en réduisant la consommation de matière et d'énergie et la divagation des effluents et des déchets ; et cet espoir repose sur un présupposé : « La seule arme à notre disposition pour contrer les effets néfastes de la technologie est la technologie elle-même »³. Après avoir développé les principaux arguments qui militent en faveur de l'écologie industrielle et en avoir présenté un cas exemplaire, je vais examiner les limites de l'analogie entre systèmes industriels et systèmes écologiques, dégagant ainsi les circonstances et les facteurs qui ne permettent guère aux premiers de fonctionner approximativement comme les seconds. S'il apparaît que les systèmes de polyculture-élevage qui se sont imposés dans les pays d'Europe de l'Ouest au XIX^e siècle avaient un mode de fonctionnement proche de celui qui est visé par l'écologie industrielle, il est aussi certain que ces systèmes n'ont pas résisté à la concurrence de modes de production plus spécialisés, faisant largement appel à des ressources énergétiques fossiles et des produits industriels et libérant allègrement dans leur environnement effluents et pesticides. Cet exemple ayant montré que l'efficacité technologique ne suffit pas à accorder un avantage compétitif, j'examinerai enfin dans quelle mesure on peut considérer l'écologie industrielle comme une utopie.

L'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE : UN RAISONNEMENT ANALOGIQUE

En 1989, deux responsables de la firme *General Motors* – Robert Frosch et Nicholas Gallopoulos – publient dans un numéro spécial de la

revue *Scientific American* consacré à « La gestion de la planète Terre », un article intitulé « Des stratégies industrielles viables »⁴, dans lequel ils posent les fondements de l'écologie industrielle. « L'intuition de base de l'écologie industrielle, y expliquent-ils, explore l'hypothèse (que) le système industriel peut être considéré comme une forme particulière d'écosystème. Après tout, les processus de fabrication et de consommation des biens et des services consistent en des flux de matière, d'énergie et d'informations, tout comme dans les écosystèmes naturels. L'enjeu est de faire évoluer l'ensemble du système industriel vers un mode de fonctionnement viable, à l'image de la biosphère ». Sans doute reconnaissent-ils que l'analogie n'est pas parfaite, mais, sans insister sur ce point, ils avancent qu'en limitant l'utilisation de ressources énergétiques fossiles, en employant des matériaux de plus en plus légers et, surtout, en permettant que les déchets des entreprises deviennent des ressources pour d'autres entreprises, on réaliserait des sortes de « chaînes alimentaires » qui permettraient au système industriel de fonctionner approximativement comme le font les systèmes écologiques.

Braden R. Allenby et William E. Cooper vont, dans un article intitulé « Understanding industrial ecology from a biological systems perspective »⁵, développer l'analogie et en déduire que l'écologie industrielle est seule susceptible d'être durable, par opposition au mode de production industriel actuel. Selon eux, trois systèmes écologiques se seraient succédés au cours de l'Évolution (voir graphique 1). Lors d'une première étape de la vie sur terre, il y avait peu d'êtres vivants, des ressources abiotiques immenses et une capacité pratiquement illimitée d'accueillir des déchets. Ce fonctionnement ne pouvait que conduire à un stade où les ressources de l'environnement abiotique sont devenues limitées. Les organismes ont ainsi dû rechercher les ressources nécessaires à leur survie et à leur reproduction dans l'exploitation directe d'autres êtres vivants ou dans l'utilisation de leurs déchets. Dans cet « écosystème de type 2 (...) les organismes vivants deviennent fortement interdépendants et commencent à former des interactions complexes tels que nous les connaissons aujourd'hui dans les communautés biologiques ». Cependant ce type d'écosystème « n'est pas viable non plus à longue échéance, car les flux sont unidirectionnels : les ressources diminuent et les déchets continuent à augmenter inexorablement ». Aussi les écosystèmes sont-ils devenus durables en se bouclant sur eux-mêmes : ces « écosystèmes de type 3 » recyclent tous les déchets et ne puisent dans leur environnement que l'énergie solaire. Or, argumentent Allen et Cooper, les activités humaines, surtout depuis la révolution industrielle, relèvent du premier type d'écosystème, aussi

gourmand en ressources que généreux en déchets. C'est pourquoi ce système industriel n'est pas durable : il conduit à épuiser des ressources non renouvelables et à saturer l'environnement de ses détritiques et de ses effluents. « Idéalement, la société industrielle devrait s'approcher autant que possible d'un écosystème de type 3 », bouclant la technosphère sur elle-même. Mais il y a encore un long chemin à parcourir pour ce faire : l'ambition de l'écologie industrielle est plus limitée et tend à faire passer le système industriel du stade primitif (celui de « l'écosystème de type 1 ») au stade des « écosystèmes de type 2 », qui sont économes en ressources et rejettent peu de déchets (voir graphique 2).

UN CAS EXEMPLAIRE

Selon Suren Erkmann⁶, l'écologie industrielle ne serait restée qu'une idée séduisante si l'on n'avait découvert, au début des années 90, une application exemplaire - et spontanée - de ses principes dans une petite cité portuaire du Danemark : Kalundborg. Un des rares ports accessibles toute l'année à cette latitude, Kalundborg (20 000 habitants) est « un peu le bout du monde ». Dans les années 50 s'y sont installées, pour des facilités d'approvisionnement, la plus grande raffinerie et la plus grande centrale thermique danoises. Toutes deux puisaient, en grandes quantités, l'eau du lac Tisso. Vont s'installer progressivement sur ce site une usine de production d'acide sulfurique, une société suédoise de panneaux de construction en gypse et une grande entreprise de biotechnologies. À partir des années 60, les entreprises de la petite cité industrielle vont spontanément échanger et valoriser leurs effluents et leurs déchets. La raffinerie offre du gaz à la centrale thermique et à l'usine de panneaux, de l'eau et de la vapeur d'eau à la centrale, du soufre à l'usine d'acide sulfurique. La Centrale vend de la vapeur à l'entreprise de biotechnologie. Centrale et raffinerie offrent de la chaleur pour le chauffage urbain, mais aussi pour des serres et des unités d'aquaculture qui se sont installées ultérieurement. S'étant équipée d'un procédé de désulfurisation, la centrale électrique a pu offrir à l'usine de panneaux, le gypse qu'elle devait jusqu'alors importer d'Espagne (voir graphique 3).

Ainsi quelques industries sont parvenues à un système que l'on a présenté comme « la symbiose de Kalundborg ». Cette expérience, visitée par les ministres de l'Environnement de tous les grands pays industrialisés a été promue en « preuve de l'existence réelle d'un écosystème industriel en vraie grandeur »⁷ Un Institut de la symbiose, créé en 1996, entend vulgariser le modèle et en illustrer les résultats : du côté des ressources, réduction modérée des achats de pétrole et de charbon, mais forte diminution

de la consommation de l'eau du lac et arrêt des importations de gypse ; du côté des effluents, forte réduction de l'émission des gaz à effet de serre et du soufre et légère diminution des pertes énergétiques.

Avec un éco-mimétisme qui vient à point compléter le bio-mimétisme de la science des matériaux⁸ et une réalisation avérée, l'écologie industrielle peut désormais prétendre représenter un modèle de développement durable. Un journal scientifique est édité aux presses du MIT. Des applications sont engagées au Canada, aux USA, en Grande Bretagne, aux Pays Bas et des projets sont envisagés en France. Selon le Livre blanc du Comité d'électronique et d'environnement, auquel a largement contribué Braden R. Allenby : « l'écologie industrielle est l'étude objective et multidisciplinaire des systèmes industriels et de leurs relations avec les écosystèmes essentiels (...) elle fournit la base scientifique théorique sur laquelle peuvent se fonder la compréhension et l'amélioration raisonnée des pratiques actuelles. En simplifiant elle peut être vue comme la 'science de la durabilité' »⁹.

UNE ANALOGIE QUI A DES LIMITES

Cette « science de la durabilité » a pour base l'analogie entre systèmes industriels et systèmes écologiques. On peut d'abord relever que cette analogie est solidaire d'une formalisation cybernétique des systèmes, qu'ils soient industriels ou écologiques : il s'agit, dans chaque domaine, d'étudier les interactions, les boucles de rétroaction et les mécanismes d'autorégulation. Cette importation au système industriel (dont les entreprises utilisent la cybernétique dans leur processus de production) de l'interprétation cybernétique d'un modèle thermodynamique des écosystèmes (celui de l'écologie d'Odum¹⁰) est une transduction, dans laquelle les entreprises du système industriel sont assimilées aux groupes fonctionnels des écosystèmes et les transferts d'énergie, d'effluents et de déchets entre usines, conçus comme ces opérations trophiques que sont la prédation, le parasitisme et la décomposition. Mais, si cette analogie peut paraître séduisante, il convient d'en préciser les limites.

Dans les écosystèmes, les groupes fonctionnels sont, en général, composés d'un grand nombre d'espèces qui n'utilisent pas exactement les mêmes ressources et servent de ressources à de nombreuses espèces appartenant à d'autres groupes fonctionnels. Dans le modèle de l'écologie industrielle, chaque groupe fonctionnel est composé d'un petit nombre d'entreprises (parfois même d'une seule). L'écosystème industriel est donc un écosystème sans redondance. Ce qui permet aux écosystèmes naturels d'avoir une grande souplesse d'adaptation aux modifications de

leur environnement (à savoir, leur diversité biologique) fait ainsi défaut aux écosystèmes industriels. Evoquant la « symbiose de Kalundborg », Surren Erkman le remarque lui-même : sa fragilité vient de la « rigidité des échanges et (du) risque de perturbation du système en cas de défection d'un des partenaires » (ou en cas de grève – mais peut-être que les grèves ne font pas partie du schéma théorique de l'écologie industrielle). Il y a une différence fondamentale entre les relations fonctionnelles des systèmes industriels et celles des écosystèmes. Les premières sont des relations marchandes, les secondes des relations nécessaires. C'est dire que les relations fonctionnelles entre deux entreprises ne s'établiront que si les deux parties y trouvent avantage. Supposons que le déchet *a* de l'entreprise *A* est susceptible de constituer une ressource pour l'entreprise *B*. Cette dernière ne coopérera avec *A* que si le coût d'acquisition de *a* est inférieur à celui qu'elle obtiendrait en se procurant la même ressource par d'autres moyens ou auprès d'autres fournisseurs. Mais, pour que *A* coopère avec *B*, il faut aussi que le prix de vente de son déchet soit supérieur à son coût de récupération et de mise à la disposition de *B*, sinon *A* aura toujours intérêt à relâcher *a* dans son environnement. Or, ces conditions de prix ne sont pas nécessairement réalisées et ceci d'autant plus que les synergies fonctionnelles entre entreprises ne sont pas données d'emblée. Par exemple, pour mettre du gypse à la disposition de l'usine de panneaux, il a fallu que la centrale de Kalundborg s'équipe d'une installation de désulfurisation à chaux. Mais il a fallu, en outre, que l'usine de panneaux modifie son procès de production pour utiliser le gypse de la centrale à la place de celui des carrières espagnoles. Il s'est trouvé que les deux entreprises ont gagné à l'opération, mais ce cas de figure ne saurait être une règle. Il faut bien voir que les procédés industriels sont en général rigides, conçus pour utiliser des matières premières répondant à des critères stricts de régularité, de qualité et de pureté, alors que dans les cas de valorisation inter-entreprises des déchets, il faut se satisfaire de ressources de qualité instable et en quantités susceptibles de varier en fonction des à-coups de l'activité du fournisseur. Pour réaliser la valorisation des déchets, il faut donc rendre les procédés de fabrication plus flexibles. Ces transformations ont nécessairement un coût, qui peut rendre le prix du déchet/ressource sans intérêt soit pour le fournisseur, soit pour l'utilisateur, soit pour les deux entreprises.

Les écosystèmes sont localisés. Certes, les animaux exploitent et fréquentent souvent plusieurs milieux mais cette utilisation s'effectue au niveau d'un complexe d'écosystèmes territorialisé (à l'exception, bien sûr des oiseaux migrateurs)¹¹. De fait, l'essentiel des transferts trophiques et

du recyclage se réalise au sein de petites unités de territoire. En système industriel, on ne saurait donc s'approcher d'un fonctionnement écosystémique que dans des circonstances particulières où, comme à Kalundborg, on a hérité d'une situation où des entreprises qui peuvent être complémentaires se situent à proximité les unes des autres. Toute l'évolution récente du système industriel a, au contraire, été de délocaliser les activités. Les situations de type Kalundborg sont donc exceptionnelles et il est plus réaliste de penser en terme de réseaux éco-industriels que de parcs éco-industriels. Mais alors, les flèches d'interaction entre les entreprises représentent des activités de transport de déchets, ce qui suppose une importante consommation d'énergie et de fortes émissions de gaz à effet de serre. L'avantage du recyclage en termes de consommation d'énergie fossile et de diminution des effluents en est diminué d'autant. Dans certaines circonstances, il pourrait même être annulé par le transport (routier particulièrement) des déchets d'entreprises trop éloignées les unes des autres.

UN EXEMPLE D'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE : LES SYSTÈMES DE POLYCULTURE-ÉLEVAGE

Un exemple assez sophistiqué des synergies technologiques que vise l'écologie industrielle est fourni par les systèmes de polyculture-élevage qui se sont développés en Europe après la première révolution agricole¹². Ces systèmes, mis en œuvre au sein de chaque exploitation (et donc sur un territoire restreint) eurent un rendement énergétique bien supérieur à ceux de l'agriculture contemporaine ou de l'élevage industrialisé. L'exploitation fournissait elle-même ses moyens de production et recyclait ses déchets, si bien que l'impact sur le milieu était relativement limité. L'assolement associait des cultures de rente (blé, seigle, betteraves, pommes de terre, etc.) à des cultures pour le bétail (orge, avoine, cultures fourragères, dont certaines reconstituent les stocks d'azote dans le sol). Les animaux bénéficiaient aussi des sous produits de la culture (pailles, sons et issues de meunerie, rafles de maïs, petites pommes de terre), et des sous produits des fabrications fermières ou de l'activité domestique (marc de pommes pour les vaches, petit lait issu de la fabrication des fromages, épluchures de légumes pour les porcs). Outre qu'il fournissait des produits commercialisés (lait, fromages, viandes) et partiellement auto consommés, le cheptel (bœufs ou chevaux) servait au trait et tout le bétail fournissait la seule source de fertilisation (avec les légumineuses de l'assolement) des terres, par épandage de fumier ou de lisier. Les rotations complexes des cultures permettaient de briser les cycles de reproduction

des espèces qui concurrencent ou ravagent les récoltes et de maîtriser les « mauvaises herbes », les parasites et les ravageurs avec une utilisation minimale de produits phytosanitaires. Ces « synergies technologiques »¹³ tenaient à un pilotage fin des flux d'éléments fertilisants et des rotations culturales. On a bien là un système partiellement bouclé, semblable à un « écosystème de type 2 » (voir graphique 4).

Certes, mais toute l'évolution technique et économique du demi-siècle passé a justement été de détruire ces systèmes de polyculture-élevage et les synergies qui les caractérisaient. La transformation des produits a été massivement prise en charge par l'industrie. L'agriculture s'est séparée de l'élevage. Dans les fermes de grande culture, la fumure n'est plus produite par le cheptel mais vient des engrais chimiques. L'alimentation du bétail dépend de moins en moins des disponibilités de l'exploitation, faisant appel à des fabrications industrielles d'aliments composés à partir de produits et de sous-produits (voire de déchets) d'origine diverses (pourvus qu'ils soient bon marché). L'industrie ayant proposé des herbicides et des pesticides, il est devenu possible de simplifier les systèmes de production, les assolements et donc la rotation des cultures sur la même parcelle, parfois jusqu'à la monoculture. Bref, le processus de production complexe de ces systèmes a été décomposé en séquences simples, et pour chaque séquence, on a cherché à optimiser le rendement par un emploi judicieux de facteurs de production fournis par l'industrie. Tout ce qui contribuait ainsi aux « synergies technologiques » des systèmes de polyculture-élevage a été remplacé par des produits achetés aux firmes agrochimiques. Si bien qu'un des exemples les plus achevés d'écologie industrielle (à défaut d'être industrielle) apparaît aujourd'hui comme une survivance.

On peut en déduire qu'une bonne solution technologique ne garantit pas nécessairement une bonne compétitivité : les systèmes de polyculture-élevage étaient très astreignants en travail et leurs marges de progrès généralement limitées par la disponibilité de la main d'œuvre. Mais, pour nuancer le propos précédent, il faut reconnaître que les exploitations qui ont adopté les nouveaux modèles de production ont bénéficié d'avantages non négligeables. Le développement de ce modèle technico-économique a été fortement suscité par la recherche scientifique et tout aussi soutenu par la politique agricole européenne (et par sa traduction nationale). Aussi, tout en bénéficiant de prix garantis et d'une sollicitude particulière de la part de la technostructure d'encadrement, les agriculteurs et éleveurs qui ont opté pour cette intensification ont profité d'aides spécifiques (prêts bonifiés, subventions), tout en étant exonérés du principe « pol-

leur-payeur ». Si bien que ce modèle technico-économique a longtemps bénéficié d'une distorsion de concurrence en sa faveur.

L'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE EST-ELLE UNE UTOPIE ?

Ce que nous avons exposé au sujet des limites de l'analogie, ainsi que l'expérience des systèmes de polyculture-élevage, montrent que la mise en place de l'écologie industrielle ne va pas de soi, et qu'elle est même, en partie, chimérique.

Elle suppose des conditions de prix des déchets/ressources dont rien ne permet de penser *a priori* qu'elles seront systématiquement réalisées, sauf dans des contextes particulièrement favorables ou en cas de forte intervention politique (des éco-taxes pour inciter les entreprises à vendre – ou recycler elles-mêmes leurs déchets ; un effort d'investissement technologiques pour transformer les déchets en ressources utilisables ; une aide à l'implantation d'entreprises susceptibles de valoriser ces déchets/ressources).

La réalisation d'une écologie industrielle suppose, en outre, une concentration géographique des entreprises, sans laquelle les synergies fonctionnelles seraient partiellement dissipées par les transports. Ce qui va à l'encontre d'une tendance lourde (oh combien !) de ces dernières décennies : la délocalisation - ou plus exactement la localisation des entreprises dans les zones où les réglementations sociales et environnementales sont quasi inexistantes, la main d'œuvre bon marché et peu syndiquée, les conditions fiscales attractives. En un sens, l'écologie industrielle suppose que l'on aille à contre-courant de l'un des effets majeurs de la mondialisation.

Elle suppose enfin que l'efficacité technologique et la compétitivité économique aillent de pair. Or, ce que montre l'histoire des systèmes de polyculture-élevage, c'est qu'un fonctionnement optimisant des synergies technologiques n'est pas nécessairement plus compétitif qu'un mode de fonctionnement qui les néglige. Rien ne permet d'avancer que des synergies fonctionnelles inter-entreprises, établies grâce à un ensemble d'innovations dans les procédés de fabrication s'établiront au bénéfice mutuel des entreprises concernées sauf en cas d'interventions étatiques visant à concilier efficacité écologique et rentabilité économique.

À cet aspect quelque peu chimérique de l'écologie industrielle on peut adjoindre deux caractéristiques qui en font une véritable utopie. La première est de poursuivre un « but ultime » proprement irréaliste. En effet, « l'écosystème de type 3 » n'existe tout simplement pas dans la biosphère. Si les écosystèmes climatiques sont fortement bouclés, ils accumulent

néanmoins de la matière organique dans le sol. Si la biosphère, dans son ensemble, avait fonctionné comme un « écosystème de type 3 », il n'y aurait ni pétrole, ni charbon, ni calcaire dans le sous-sol. Tout système, quel qu'il soit, est ouvert et entretient nécessairement des échanges avec un domaine d'existence qui constitue son environnement. Il est donc parfaitement illusoire de se proposer comme projet, même à très long terme, de « boucler la technosphère sur elle-même ». Sans doute s'agit-il là d'un objectif inatteignable, ce que les promoteurs de l'écologie industrielle reconnaissent eux-même, en ayant pour ambition de s'en tenir à réaliser des « écosystèmes de type 2 ». Mais qu'il ait été évoqué dans un des articles fondateurs de l'écologie industrielle est symptomatique de l'importance accordée par ses auteurs à la formulation d'un idéal inaccessible.

La seconde caractéristique d'une utopie est la mise en scène de l'exemplarité : la « symbiose de Kalundborg ». Un système qui s'est mis en place spontanément, sans intervention extérieure, sans autre intentionnalité que de réaliser des bénéfices. Une auto-organisation en quelque sorte qui pourrait bien naître de tout un tas d'autres chaos. Et tout ceci fonctionne au bénéfice de tous : les entreprises et leur personnel, les municipalités et les habitants, les serres et les tulipes, les fermes d'aquaculture et les turbots, le lac Tisso, l'atmosphère, les employés de l'Institut de la Symbiose, etc. Certes, mais ce cas exemplaire est un cas exceptionnel. Suren Erkman insiste ainsi sur les conditions historiques et géographiques particulières qui ont rassemblé dans ce « bout du monde » (une presque île, donc pas très différente d'une île, ce lieu privilégié des utopies – la symbiose de Kalundborg serait-elle une presque utopie ?) des entreprises qui, par chance, pouvaient être complémentaires. De même est-il certain que dans une petite cité comme Kalundborg, les ingénieurs et techniciens des différentes entreprises devaient faire partie de la même bonne société, se connaître et discuter régulièrement de leurs problèmes. Or, c'est cette construction tout à fait contingente qui a été érigée en modèle de l'écologie industrielle.

Si l'écologie industrielle est une utopie, c'est en raison de ses deux présupposés principaux : l'idée, qui fut réfutée par Hans Jonas, que la technique parviendra toujours à corriger les effets nocifs de la technique et qu'elle est seule en mesure de le faire¹⁴ ; l'analogie imparfaite entre le fonctionnement des systèmes industriels et les systèmes écologiques. L'écologie industrielle est donc une utopie, et tout le sel de l'histoire est qu'elle ait été exposée dans un dossier du *Débat* intitulé « L'écologie au-delà de l'utopie »

CONCLUSION : VERTUS ET LIMITES DE L'UTOPIE

Comme toute utopie, l'écologie industrielle a une portée critique. Elle montre à quel point, parce qu'il fonctionne comme un « écosystème de type 1 » le système industriel n'est pas durable. Et comme toute utopie, elle montre ce qui serait possible de réaliser si l'on parvenait à aller à contre-courant d'un certain nombre de tendances de la société industrielle à l'ère de la mondialisation : si l'on pouvait lutter contre les délocalisations, si l'on parvenait à faire en sorte que l'efficacité technologique l'emporte sur la compétitivité commerciale. Accordons aux théoriciens de l'écologie industrielle qu'ils ne prétendent pas régler les questions relatives à l'érosion de la biodiversité (ce qui limite leur prétention à proposer une « science de la durabilité ») et qu'ils ne se proposent que de diminuer partiellement, et à un horizon lointain, l'impact des activités économiques sur la biosphère. Par contre, ils estiment être en mesure, grâce à une « science de l'ingénieur objective », de construire des modèles de développement durable et de réconcilier la contestation écologique avec la rationalité instrumentale. Le problème est qu'au sein de cette rationalité instrumentale, les promoteurs de l'écologie industrielle confondent efficacité technique et efficacité économique : visant à dégager, par un ensemble d'innovations et de restructurations des procès de production, des synergies fonctionnelles entre entreprises, ils postulent que ces synergies seront *ipso facto*, des avantages compétitifs. Or, comme l'a montré l'histoire des systèmes de polyculture-élevage, l'efficacité technique – valeur fondamentale de la « cité industrielle » selon Luc Boltanski et Laurent Thévenot¹⁵ – ne garantit nullement la compétitivité économique, alors que nous vivons dans un monde dominé par les valeurs de la « cité marchande ».

L'analogie sur laquelle repose l'écologie industrielle est, comme je l'ai signalé, solidaire d'une conception systémique de l'écologie, celle qui fut développée par Odum, dont l'ouvrage fut jusqu'à la fin des années 80, la bible des écologues. Or, les transformations contemporaines de cette discipline remettent en question ce modèle odumien¹⁶. Certes, les systèmes écologiques fonctionnent avec des interactions, des boucles de rétroaction et des recyclages, mais la composition des populations d'espèces de leurs groupes fonctionnels, la structure de ces groupes et donc la dynamique de leurs interactions dépendent d'un régime de perturbations. En se référant à cette conception dynamique de l'écologie, on pourrait se demander, par analogie, quel régime de perturbations pourrait conduire les systèmes

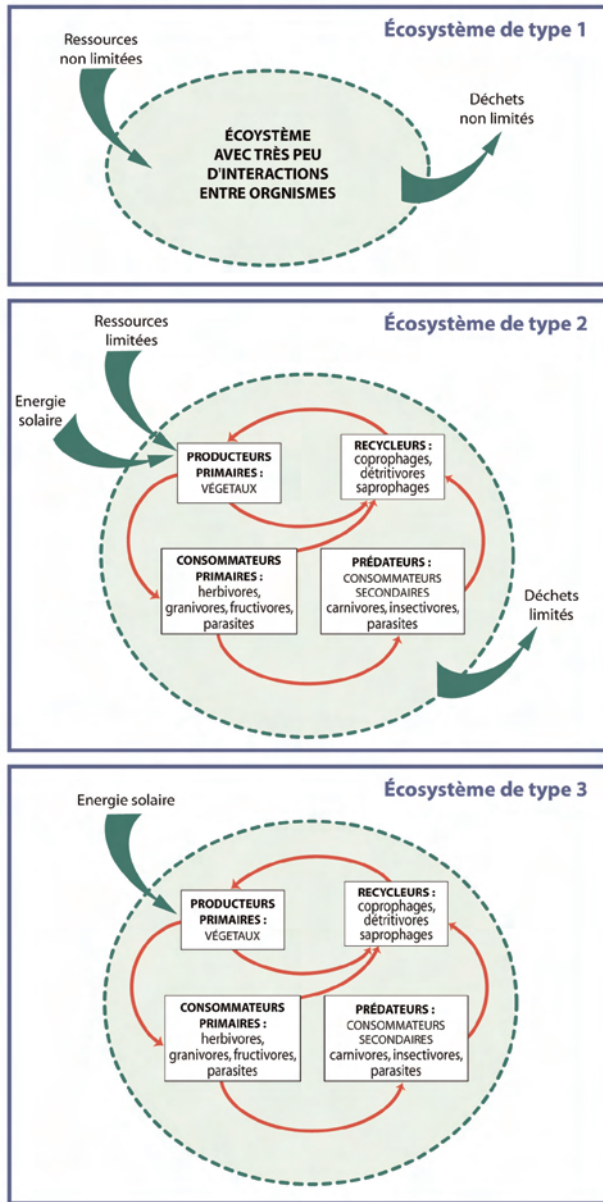
industriels à fonctionner approximativement comme le font les systèmes écologiques. Suren Erkmann signale qu'une perturbation a joué un rôle non négligeable dans la symbiose de Kalundborg : la limitation de la ressource en eau. Mais, si l'on estime qu'il serait prudent de ne pas attendre des pénuries d'eau, de pétrole, de charbon et de matériaux pour orienter les systèmes industriels vers une organisation proche d'un « écosystème de type 2 », on peut se demander quel régime de perturbations serait susceptible de le faire. Des éco-taxes pour rendre la mise à disposition des rejets moins coûteuse que le largage dans l'environnement ? Des subventions ciblées pour développer les procédés susceptibles de valoriser ces déchets ? Des dispositions susceptibles de s'opposer aux délocalisations ou de favoriser la relocalisation d'activités fonctionnellement complémentaires dans des zones limitées ? Bref une politique volontariste instaurant, à l'inverse de ce qui a été fait (de façon intentionnelle) pour substituer des systèmes agricoles de type industriel aux systèmes de polyculture-élevage, une distorsion de concurrence en faveur des entreprises qui tenteraient de développer entre elles des synergies technologiques. En d'autres termes, il faudrait, pour que l'efficacité technique corresponde à l'efficacité économique une intervention politique perturbant les mécanismes du marché. C'est ainsi la « cité civique »¹⁷ qui pourrait rendre compatibles les valeurs de la cité industrielle et de la cité marchande.

ARTICLES

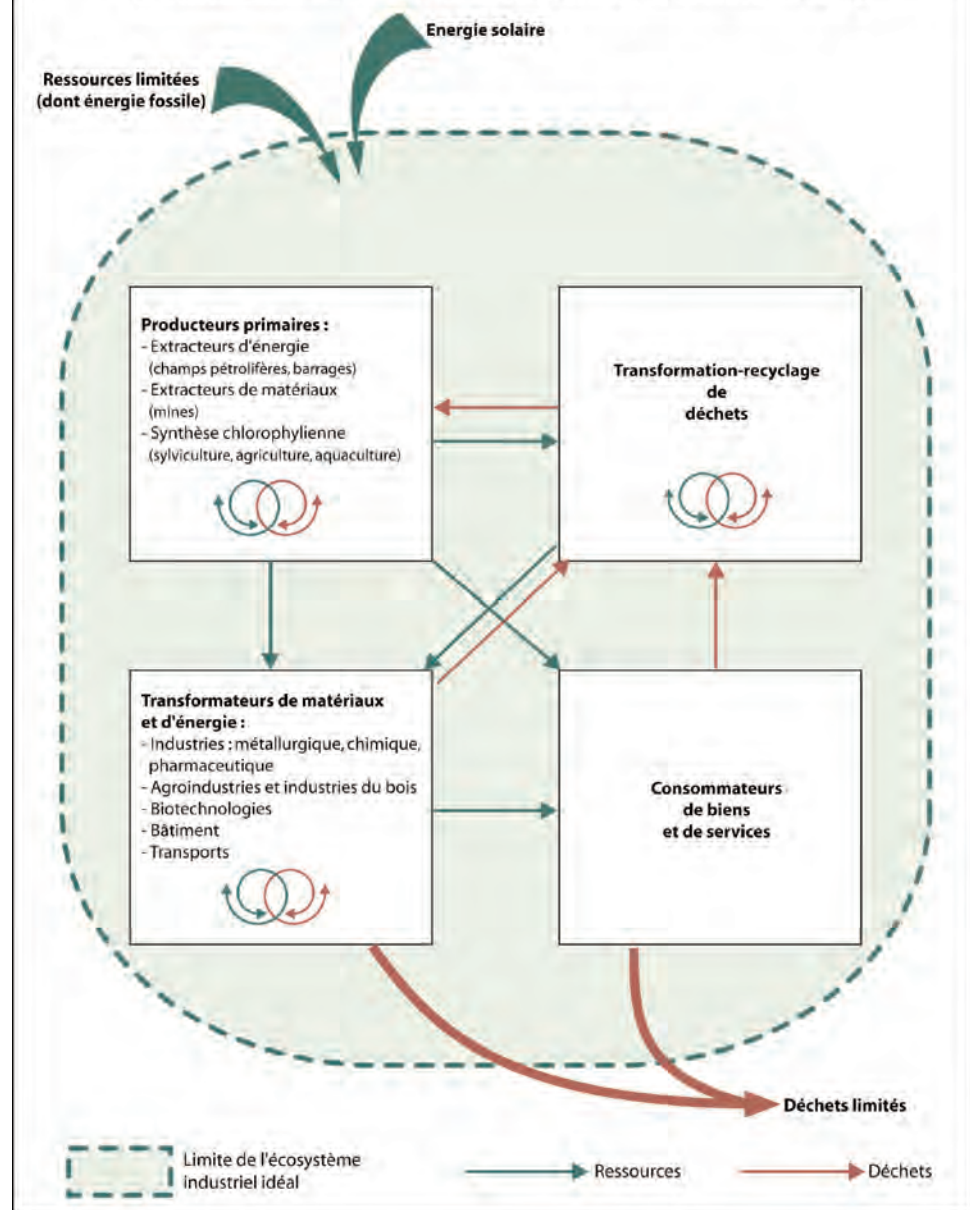
110

ARTICLES

Les trois types d'écosystèmes d'après Braden R. Allenby



Un écosystème industriel idéal (mais atteignable) selon Braden R. Allenby



La "Symbiose industrielle" de Kalundborg

The diagram illustrates the industrial symbiosis network in Kalundborg, centered around the **CENTRALE ELECTRIQUE** (Power Plant). The network involves several interconnected industries:

- LAC TISSOT** (Top): Provides **Eau** (Water) to the **RAFFINERIE**, **CENTRALE ELECTRIQUE**, and **ENTREPRISE DE BIOTECHNOLOGIE**.
- RAFFINERIE** (Left): Receives **Pétrole ou charbon** (Petroleum or coal) and provides **Vapeur** (Steam) and **Gaz** (Gas) to the **CENTRALE ELECTRIQUE**. It also provides **Eau de refroidissement** (Cooling water) to the **CENTRALE ELECTRIQUE**.
- CENTRALE ELECTRIQUE** (Center): A central hub with a red dot. It receives **Vapeur** from the **RAFFINERIE** and provides **Vapeur** to the **ENTREPRISE DE BIOTECHNOLOGIE**. It also provides **Gypse** (Gypsum) to the **USINE D'ACIDE SULFURIQUE**, **Chaleur résiduelle** (Residual heat) to **SERRES** and **CHAUFFAGE URBAIN A DISTANCE**, and **Cendres** (Ashes) to the **ENTREPRISE UTILISANT DES CENDRES**.
- ENTREPRISE DE BIOTECHNOLOGIE (ENZYMES INDUSTRIELS)** (Right): Provides **Boues utilisées comme engrais** (Sludges used as fertilizers).
- USINE D'ACIDE SULFURIQUE** (Bottom Left): Receives **Soufre** (Sulfur) from the **RAFFINERIE** and **Gaz** from the **CENTRALE ELECTRIQUE**.
- PANNEAUX DE CONSTRUCTION** (Bottom Left): Receives **Gaz** from the **RAFFINERIE** and **Chaleur résiduelle** from the **CENTRALE ELECTRIQUE**.
- SERRES** (Bottom Center): Receives **Chaleur résiduelle** from the **CENTRALE ELECTRIQUE**.
- CHAUFFAGE URBAIN A DISTANCE** (Bottom Center): Receives **Chaleur résiduelle** from the **CENTRALE ELECTRIQUE**.
- AQUACULTURE** (Bottom Right): Receives **Chaleur résiduelle** from the **CENTRALE ELECTRIQUE**.
- ENTREPRISE UTILISANT DES CENDRES POUR FABRIQUER DES REVETEMENTS (ROUTES, BATIMENTS)** (Bottom Right): Receives **Cendres** from the **CENTRALE ELECTRIQUE**.

Un exemple (sans moutons) assez simple de polyculture-élevage

Ressources limitées
(peu ou pas d'engrais, peu ou pas de pesticides)

Energie solaire

Cultures / assolement complexe

Cultures vivrières
blé, seigle, betteraves, pommes de terre

Fourrages
prés, cultures fourragères, orge, avoine, etc.

Traction : labours, semis, transports

BOVINS

de trait

laitiers

PORCS

VOLAILLES

Famille paysanne

A
U
T
O
C
O
N
S
O
M
M
A
T
I
O
N

V
E
N
T
E

D
É
C
H
E
T
S

Sous-produits de la culture

Sons, petites pommes de terre

Pailles

Céréales/fourrages

Fumure

Fabrication du fromage

Petit lait

NOTES

¹ Paru en Janvier-Février 2001

² Dominique Bourg (2001) : « Le nouvel âge de l'écologie », dans *Le Débat* n° 113

³ S. K. Friedlander, (1994) The two faces of technology : changing perspectives in design for environment » dans National Academy of Engineering, *The greening of industrial ecosystems*, National Academy Press, Washington., cité par Hilde N. Opoku et Martina M. Keitch (2006) dans « Une approche objective de la durabilité ? Théorie des implications scientifiques et politiques de l'écologie industrielle », *Ecologie & politique* n° 32

⁴ La traduction française de cet article paraît en Novembre 1989 dans la revue *Pour la science* (n° 145)

⁵ Paru en 1994 dans *Total Quality Environmental Management*, vol 3, n° 3

⁶ Suren Erkman (2001) : « L'écologie industrielle, une stratégie de développement » dans *Le Débat* n° 113

⁷ idem

⁸ Cf Bernadette Bensaude-Vincent. (2004) : *Se libérer de la matière ? Fantasmies autour des nouvelles technologies*, INRA Editions coll. Sciences en questions

⁹ EHS, (1995) *White paper on sustainable development and industrial ecology*, IEEE, 1995, <http://tab.computer.org/ehesc/ehswp/htm>

¹⁰ Cf. Patrick Blandin et Donato Bergandi (1997) : Entre la tentation du réductionnisme et le risque d'évanescence dans l'interdisciplinarité : l'écologie à la recherche d'un nouveau paradigme », in C.Larrère et R. Larrère (eds) *La crise environnementale*, Editions de l'INRA.

¹¹ Cf. Robert Barbault (1997) *Ecologie générale – Structure et fonctionnement de la biosphère*, Paris, Masson

¹² Cf. Raphaël Larrère, (2002) : « Agriculture : artificialisation ou manipulation de la nature ? », in *Cosmopolitiques*, n° 1

¹³ Cf. Dominique Wermersch : « Nature et agriculture » dans *Université de tous les savoirs*, Vol 2 (pp. 275-286) Odile Jacob (2000)

¹⁴ Voir l'article de Catherine Larrère dans ce même numéro : « Développement durable – Quelques points litigieux »

¹⁵ Cf. Luc Boltanski et Laurent Thévenot (1994) *De la justification – Les économies de la grandeur*, Paris, Gallimard.

¹⁶ Cf. Catherine Larrère et Raphaël Larrère (1997) : *Du bon usage de la nature – Pour une philosophie de l'environnement*, Paris, Aubier.

¹⁷ Cf. Luc Boltanski et Laurent Thévenot, op. cité.