



RENCONTRE DU TROISIÈME TYPE... D'ÉCOSYSTÈME OU QUAND L'ÉCOLOGIE DEVIENT INDUSTRIELLE

Franck-Dominique Vivien

De Boeck Supé	rieur	Innovations
---------------	-------	--------------------

2003/2 - no 18 pages 43 à 57

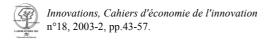
ISSN 1267-4982

Article disponible en ligne à l'adresse:
http://www.cairn.info/revue-innovations-2003-2-page-43.htm
Pour citer cet article :
Vivien Franck-Dominique, « Rencontre du troisième type d'écosystème ou quand l'écologie devient industrielle », Innovations, 2003/2 no 18, p. 43-57. DOI: 10.3917/inno.018.0043

Distribution électronique Cairn.info pour De Boeck Supérieur.

© De Boeck Supérieur. Tous droits réservés pour tous pays.

La reproduction ou représentation de cet article, notamment par photocopie, n'est autorisée que dans les limites des conditions générales d'utilisation du site ou, le cas échéant, des conditions générales de la licence souscrite par votre établissement. Toute autre reproduction ou représentation, en tout ou partie, sous quelque forme et de quelque manière que ce soit, est interdite sauf accord préalable et écrit de l'éditeur, en dehors des cas prévus par la législation en vigueur en France. Il est précisé que son stockage dans une base de données est également interdit.



Rencontre du troisième type... d'écosystème ou quand l'écologie devient industrielle

Franck-Dominique VIVIEN
ESSAI / HERMES
Université de Reims Champagne Ardennes

L'expression "écologie industrielle" offre un rapprochement sémantique un peu surprenant au départ, qui pourrait inciter à parler d'oxymoron comme certains le font pour la notion de "développement soutenable" (Rist, 1996:282). En fait, à bien y regarder, cette association de termes n'est pas aussi étonnante qu'il y paraît au premier abord. Il suffit de se rappeler que le mot écologie a été explicitement forgé au XIXe siècle par Ernst Haeckel en référence à l'économie¹ et que la science écologique, ainsi que le montre l'historien des sciences Donald Worster (1977), s'est souvent pensée comme une "économie de la nature". Tout un pan de la théorie écologique est ainsi préoccupé par la mesure des flux qui traversent les systèmes vivants et par l'évaluation de l'efficacité des transformations énergétiques et matérielles qui s'effectuent par le biais de leur métabolisme. Bien que l'on puisse lui trouver des racines intellectuelles plus anciennes², l'écologie industrielle a été initiée, dans la période contemporaine, par les travaux de cette écologie systémique, qui, au travers de l'écologie urbaine³ notamment,

¹ C'est dans une note en bas de page de son ouvrage *Generelle Morphologie der Organismen*, paru en 1866, que E. Haeckel utilise, pour la première fois, le terme écologie, en le définissant comme la "science de l'économie, du mode de vie, des rapports vitaux externes des organismes." Sur ce point, voir Pascal Acot (1988:44).

² Si l'on cherche des racines très anciennes de l'écologie industrielle, on peut citer, par exemple, les travaux de Patrick Geddes (1854-1932) et, notamment, son texte intitulé *An Analysis of the Principles of Economics* (1884). Pour une présentation de la pensée de cet auteur et d'autres, dont on peut faire aussi des pionniers de l'*Ecological Economics*, voir l'ouvrage de Joan Martinez-Alier (1987). Pour une présentation des antécédents et filiations essentielles de l'écologie industrielle, voir les textes de Suren Erkman (1997), Cutler Cleveland (1999) et de Marina Fischer-Kowalski (2000).

³ Voir les travaux sur les "écosystèmes 'urbs" de l'écologue Paul Duvigneaud (1980:289-302) où l'étude du "métabolisme urbain" tient une place importante, illustrée par le cas de "l'écosystème Bruxelles" et de ses bilans énergé-

s'est intéressée, dès les années 60 et 70, à des objets qui n'étaient pas "naturels". Une vingtaine d'années plus tard, l'écologie industrielle a été véritablement reconnue et institutionnalisée grâce à la tenue d'un symposium, sous le patronage de la National Academy of Science, à Washington en mai 1991 et à la publication depuis 1997 d'une revue spécialisée : *The Journal of Industrial Ecology*. Avec un léger temps de retard, les débats se sont ouverts en France à son sujet, avec l'organisation à Troyes d'un premier colloque international en septembre 1999, dont les actes ont été édités par Dominique Bourg et Suren Erkman (2000), et, au même moment, le lancement d'une réflexion prospective quant à la création d'une zone d'écologie industrielle sur le territoire de la commune de Grande-Synthe, près de Dunkerque¹. Il n'en reste pas moins que l'écologie industrielle est, aujourd'hui encore, un courant de pensée en formation que Robert Frosch (1995:148) définit comme "l'ensemble des pratiques destinées à réduire la pollution industrielle". On notera surtout que cette approche est présentée par Suren Erkman (2001:114) comme la possibilité de sortir du débat "écologie contre économie".

En ces temps où l'on cherche à donner un contenu à la notion de "développement soutenable" et où l'on a pu voir que les entreprises étaient plus présentes que jamais au Sommet de la Terre de Johannesburg (2002), l'écologie industrielle attire nécessairement l'attention et appelle une présentation plus détaillée. Ce sera l'objectif de ce texte. Pour ce faire, nous allons procéder en plusieurs temps. Après avoir rappelé quelques éléments contextuels de l'apparition de l'écologie industrielle, nous nous pencherons sur les références à la science écologique qui sont faites pour asseoir théoriquement cette approche. Nous présenterons ensuite les principales méthodes d'analyse de l'écologie industrielle, ce qui nous amènera à montrer comment ce nouveau regard sur l'entreprise entend se concilier avec sa logique économique traditionnelle. Nous terminerons cette brève présentation en évoquant les politiques publiques qui, de l'avis des partisans de l'écologie industrielle, seraient susceptibles d'apporter un soutien à l'essor de cette approche.

tiques et matériels. On trouve aussi dans la bibliographie de cet ouvrage une rubrique "Ecosystèmes urbains et industriels". Pour la poursuite de ces analyses, voir les travaux de l'hydrologue Gilles Billen (2000) et de l'équipe du PIREN-Seine.

¹ Voir à ce sujet l'article paru dans *Le Monde*, le 12 juin 2001, sous le titre "A Dunkerque, on se mobilise pour l'écologie industrielle". Suite aux résultats de l'étude de faisabilité qui avait été commandée, d'une part, et au changement de l'équipe municipale, d'autre part, le projet a été abandonné depuis.

L'ECOLOGIE INDUSTRIELLE : UNE STRATEGIE DES FIRMES POUR REPONDRE A L'OBJECTIF DU DEVELOPPEMENT DURABLE

L'article de référence de l'écologie industrielle demeure le texte écrit par Robert Frosch et Nicholas Gallopoulos (1989) dans lequel ils appellent à une modification radicale de la stratégie des entreprises vis-à-vis de l'environnement, en mettant l'accent sur une nouvelle façon de concevoir le processus de production industriel. La nouveauté ne doit pas tant être recherchée dans le contenu du message – bien des principes invoqués étaient déjà présents dans la littérature écologiste des années 70 – que dans ceux qui l'émettent. Il importe de sou-ligner, en effet, que ces deux hommes appartiennent au monde de l'industrie et, plus particulièrement, à celui de l'ingénierie : au moment de la publication de leur article, ils travaillent tous deux pour le compte de General Motors, le premier comme vice-président de la recherche, le second en tant que responsable de la recherche sur les moteurs. Ajoutons à cela que Robert Frosch a été le bras droit de Maurice Strong¹, lequel, ancien dirigeant d'entreprises canadiennes du secteur de l'énergie, est un des initiateurs de la Conférence des Nations unies sur l'homme et son environnement qui s'est tenue à Stockholm en 1972 et une des figures du Programme des Nations unies pour l'environnement, créé au lendemain de cette conférence. C'est à ce dernier, semble-t-il, que l'on doit la notion d''écodévelop-pement", diffusée en France par Ignacy Sachs², une expression qui a laissé sa place depuis les années 80 à celle de "développement soutenable", laquelle a été popularisée au Sommet de la Terre de Rio en 1992... à la tête de l'organisation duquel on retrouve l'inusable Maurice Strong. Publié dans un numéro spécial de *Scientific American* intitulé "Managing Planet Earth", qui paraît entre la publication du rapport Brundtland (CMED, 1987) et la tenue de la conférence de Rio, l'article de Robert Erosch et Nicholas Gallopoulos (1989) apparaît done Robert Frosch et Nicholas Gallopoulos (1989) apparaît donc comme une proposition émanant du monde de l'industrie pour répondre à la problématique du développement soutenable. Il s'agit, pour citer le sous-titre de l'ouvrage de Suren Erkman (1998), de "mettre en pratique le développement durable dans une société hyper-industrielle." L'écologie industrielle, si l'on reprend le titre d'un autre écrit de Erkman (2001), se présente

¹ On pourra se reporter à l'autobiographie de M. Strong (2001) pour connaître le parcours de ce dernier et le contexte de la préparation des différentes conférences internationales consacrées à la protection de l'environnement, depuis trente ans

² On notera que le livre d'I. Sachs (1993) est préfacé par M. Strong. Pour une histoire de la notion de "développement durable", voir F.-D. Vivien (2001).

comme une "stratégie de développement", entendons une approche soucieuse de donner un contenu opérationnel à la notion de développement soutenable. Il s'agit, tant que faire se peut, que l'impact de l'industrie sur l'environnement soit le plus réduit possible. Pour cela, il convient, en priorité, de s'inspirer de l'écologie ; la référence à la "science", souligne S. Erkman (2001:114), étant un gage de rigueur et d'"opérationalité".

LES REFERENCES SCIENTIFIQUES ET LES ANALOGIES AVEC L'ECOLOGIE

Selon Robert Frosch et Nicholas Gallopoulos (1989), l'écologie industrielle doit viser à l'élaboration des "stratégies industrielles viables" en s'inspirant des enseignements de la science écologique. On retrouve ainsi, comme le notent Dara O'Rourke et al. (1996) et Jean-Paul Deléage (2002), un certain nombre de principes et d'éléments mis en avant par la démarche écologique, il y a longtemps déjà², au travers d'une vision intégrée des différents composants d'un système vivant complexe et de ses relations avec son environnement. C'est là la logique de fonctionnement de la Biosphère et, à une échelle moindre, des écosystèmes, systèmes écologiques évoluant grâce à l'interaction des biotopes, les milieux de vie, et des biocénoses, les ensembles d'espèces vivant en interaction. Une des façons de décrire ces systèmes écologiques complexes est d'exprimer ces composantes et les relations qui se tissent entre celles-ci par des flux d'énergie et de matière. Cette vision s'est développée avec les travaux de Vladimir Vernadsky (1929), de Raymond Lindeman (1942), de George Hutchinson (1948) et surtout des frères Eugene et Howard Odum (1971) avec une écologie des écosystèmes largement teintée d'ingénierie. Cette ingénierie écologique, qui connaît aujourd'hui un grand essor, apparaît

¹ Ce qui rejoint la définition donnée par T.E. Graedel (1996:70): "Industrial ecology is the study of the means by which humanity can deliberately and rationally approach and maintain a desirable carrying capacity, given continued, cultural, and technological evolution."

² Ainsi, par exemple, à la suite de la présentation de la Biosphère et des grande cycles histogéophimiques de la présentation de la Biosphère et des grande cycles histogéophimiques de la Présentation de la Biosphère et des grande cycles histogéophimiques de la Présentation de la Biosphère et des grandes cycles histogéophimiques de la Présentation de la Biosphère et des grandes cycles histogéophimiques de la Présentation de la Biosphère et des grandes cycles histogéophimiques de la Présentation de la Biosphère et des grandes cycles de la Présentation de la Biosphère et des grandes cycles de la Présentation de la Biosphère et des grandes cycles de la Présentation de la Biosphère et des grandes cycles de la Présentation de la Biosphère et des grandes cycles de la Présentation de la Biosphère et des grandes cycles de la Présentation de la Biosphère et des grandes cycles de la Présentation de la Biosphère et des grandes cycles de la Présentation de la Biosphère et des grandes cycles de la Présentation de la Biosphère et des grandes cycles de la Présentation de la Biosphère et des grandes cycles de la Présentation de la Biosphère et des grandes cycles de la Présentation de la Biosphère et des grandes cycles de la Présentation de la Biosphère et des grandes cycles de la Présentation de la Biosphère et des grandes cycles de la Présentation de la Biosphère et des grandes cycles de la Présentation de la Biosphère et des grandes cycles de la Présentation de la Biosphère et des grandes cycles de la Présentation de la Biosphère et des grandes de la Biosphère et des grandes de la Biosphère et de la Biosp

² Ainsi, par exemple, à la suite de la présentation de la Biosphère et des grands cycles biogéochimiques qui l'animent, Barry Commoner (1971:35) édicte un certain nombre de principes : la "première loi de l'écologie", ainsi que la désigne cet auteur, stipule que "Toutes les parties du complexe vital sont interdépendantes" ; la deuxième enseigne que "La matière circule et se retrouve toujours en quelque lieu" ; la troisième dit que "La nature en sait plus long", ce que l'on peut traduire par le fait que les hommes doivent user de beaucoup de précaution et de prudence avec ce qu'ils rejettent dans la nature.

comme un des éléments de l'écologie industrielle ou, du moins, comme une bonne introduction à celle-ci¹.

Dans les présentations qui sont faites de l'écologie industrielle (Ayres, 1989 ; Graedel, 1996:77 ; Erkman, 2001), ces considérations écosystémiques sont replacées dans une perspective évolutionniste. L'histoire de la vie sur Terre est ainsi évoquée pour former une sorte de "Grand récit" éclairant la signification et l'objectif de l'écologie industrielle. En effet, si la vie est "un succès durable", comme l'écrit l'écologue Robert Barbault (2001)², cela n'a pas toujours été le cas. "La vie existe sur terre depuis 3,5 milliards d'années, explique Robert Ayres (1989: 402), mais elle n'est parvenue à un équilibre durable (c'est-à-dire au cycle à peu près fermé du carbone et de l'azote) qu'à miparcours environ au bout de près de deux milliards d'années."³ D'où la nécessité de retracer cette histoire de la vie en quelques grandes étapes décisives que les auteurs baptisent respectivement écosystèmes de type I, II et III. Le premier type est un écosystème qui prend place dans un environnement dans lequel il puise des ressources et rejette des déchets, sans aucun recyclage. Le type II est un écosystème qui, sous la pression de l'évolution, est devenu beaucoup plus efficace que le précédent. Les flux internes de cet écosystème prennent le pas sur les flux externes, mais l'unidirectionnalité de ces derniers fait qu'à terme il rencontrera nécessairement des limites à son maintien et à son développement. Le troisième type d'écosystème pousse un peu plus loin encore l'efficacité et la pérennité du système. Il s'agit d'un écosystème dont l'intégralité des éléments sont recyclés continuellement, seule l'énergie solaire apparaissant encore comme un intrant ; ce qui représente très schématiquement le fonctionnement actuel de la Biosphère.

encore comme un intrant; ce qui représente très schématiquement le fonctionnement actuel de la Biosphère.

C'est une évolution identique que doivent suivre les systèmes industriels. "L'analogie entre les premières étapes de la vie sur Terre et le fonctionnement de l'économie moderne est frappante", écrit ainsi Suren Erkman (1998:34-35). Un peu plus loin le même auteur explique : "l'écosystème industriel d'aujourd'hui, basé sur des combustibles fossiles, ressemble aux premiers stades de l'évolution biologique, lorsque les organismes les plus primitifs obtenaient leur énergie d'un stock de molécules organiques accumulé durant la période prébiotique."

A l'image de ce que l'on peut dire de l'évolution des systèmes

¹ S. Erkman (1998:105) écrit ainsi: "L'ingénierie écologique, ou écotechnologie, constitue un bon exemple d'étape intermédiaire facilitant l'évolution de trajectoires technologiques dans une direction favorable."

R. Barbault (2001:123) fait référence, par ailleurs, à l'écologie industrielle.
 Pour des explications plus détaillées, voir aussi les travaux de J.E. Lovelock (1988).

vivants, l'industrie se doit de passer d'un stade juvénile à la maturité. L'écologie industrielle vise alors à atteindre le "stade III" de l'évolution des systèmes écologiques ou, du moins, de s'en approcher le plus possible — les auteurs étant bien conscients que l'on ne peut complètement "boucler" énergétiquement et matériellement le système sur lui-même; c'est un des enseignements de la loi de l'entropie, un point sur lequel l'économiste Nicholas Georgescu-Roegen (1970) n'a cessé d'insister. C'est vers la thermodynamique qu'il convient, en effet, de se tourner pour comprendre le sens des outils qu'entend mettre en œuvre l'écologie industrielle.

LA METHODOLOGIE DE L'ECOLOGIE INDUSTRIELLE : ECOSYSTEME ET METABOLISME INDUSTRIELS

La thermodynamique est née au XIXème siècle de l'étude des machines à vapeur et d'une réflexion sur ce qu'est la vie. Elle a ainsi amené les scientifiques et les ingénieurs à concevoir la machine comme un organisme vivant et, réciproquement, l'organisme vivant comme une machine¹. La même opération de pensée s'est déroulée dans la deuxième moitié du XXe siècle, avec le développement de l'écologie systémique. On en veut pour preuve – et Erkman (2001:108) y fait allusion – qu'un vaisseau spatial construit pour un long périple sidéral est, pour l'écologue Eugene Odum (1971:10), un très bon exemple d'écosystème. Rien de très étonnant donc – ni finalement de très nouveau – à vouloir "envisager le système industriel comme un cas particulier d'écosystème", ainsi que le recom-mandent Suren Erkman (1998:9) et les autres partisans de l'écologie industrielle

La perspective d'un tel "écosystème industriel" oblige à analyser les systèmes industriels comme des systèmes ouverts, échangeant de l'énergie et de la matière avec leur environnement. On sait — tout le monde connaît la célèbre formule de Lavoisier : "Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme" — que l'homme ne peut produire de la matière et de l'énergie, il ne peut que les transformer, de manière qualitative. Les différentes formes d'énergie n'étant pas équivalentes du point de vue de leur qualité productive, cette transformation qualitative de l'énergie va correspondre, pour les hommes, à une dégradation de l'énergie. L'énergie se dissipe jusqu'à se

François Vatin (1993).

On peut ainsi citer les travaux de Lavoisier, Mayer, Boltzmann, Lotka, Bergson, Schrödinger, Prigogine... La physiologie humaine et l'étude de l'homme au travail ont été des domaines privilégiés de ce croisement épistémologique. Pour plus de détails sur cette histoire, on se reportera au livre de

transformer en chaleur, laquelle est la forme la plus dégradée de l'énergie. S'il est possible de transformer du travail en chaleur, il est impossible de transformer complètement de la chaleur en travail. Ainsi, la thermodynamique nous enseigne que, dans le processus de production, la quantité d'énergie est conservée (premier principe de la thermodynamique), mais sa forme – et donc sa disponibilité – a changé : de l'énergie libre (ou énergie utilisable) s'est transformée en énergie liée (ou énergie inutilisable), ce que l'on appelle le deuxième principe de la thermodynamique ou loi d'entropie. Pour le dire dans les termes Nicholas Georgescu-Roegen (1971), le processus économique est nécessairement de nature entropique, transformant de la matière et de l'énergie qui se présentent sous forme de basse entropie en une forme de haute entropie, des rejets et des déchets. Dans cette optique biophysique, les répercussions sur l'environnement qu'induisent ces échanges et transformations – ce que les économistes qualifient habituellement d'externalités – ne peuvent être considérées que comme des conséquences normales de l'activité économique. Allen Kneese et al. (1970:4) ont insisté, il y a longtemps, sur ce point méthodologique important qui prend le contre-pied de la vision de l'économie standard. Les tenants de l'écologie industrielle reprennent cette conception hétérodoxe : "le point essentiel dans la perspective de l'écologie industrielle, écrit ainsi Suren Erkman (1998:55), réside dans le fait que les principaux flux de substances toxiques ne résultent pas d'accidents specta-culaires, mais d'activités de routine : industries, agriculture, occupations

urbaines, consommations de produits divers."

Pour mesurer ces phénomènes de dissipation, il faut mettre sur pieds un système de comptabilité rendant compte des différents types de flux matériels et énergétiques qui traversent les systèmes industriels; ce que l'on désigne, après Robert Ayres (1989), comme l'étude du "métabolisme industriel". En pratique, cela consiste à établir des bilans de masse et d'énergie. Si l'on s'en tient à la période contemporaine, la construction de bilans-matière a été proposée et développée à partir de la fin des années 60; les travaux de Robert Ayres et Allen Kneese (1969), associés dans un second temps à Ralph D'Arge (1970), ayant joué en ce domaine un rôle de premier plan. Ceux-ci reposent sur une application du principe de conservation de la matière qui veut que toute matière extraite de l'environnement y retourne nécessairement un jour ou l'autre. Et, comme le souligne Robert Ayres¹, "la plupart des matières 'traversent' assez

¹ "Compte tenu de ce qui est mis au rebut ou démoli, écrit R. Ayres (1989: 403), la quantité totale de matériaux actifs incorporée chaque année à des biens durables ne dépasse sans doute pas 150 millions de tonnes, soit 6% du

rapidement le système économique, la transformation des matières premières en déchets ne prenant le plus souvent que quelques mois ou quelques années." Un ensemble de bilans-matière par produits peuvent être établis en comparant les quantités de certaines substances qui entrent et qui sortent des processus industriels, ainsi que l'ont fait Robert Ayres *et al.* (1989) pour le brome, le chlore, le soufre et l'azote. Par ailleurs, initiés dès la fin du XIXème siècle¹, les calculs de bilans énergétiques ont connu un développement important pendant les années 70, à la faveur de la crise du pétrole. Réalisés en comparant les inputs et les outputs énergétiques, ils ont notamment permis de montrer que les succès de l'agri-culture moderne étaient dus, en grande partie, à l'accroissement sans précédent de sa consommation énergétique et de celle de l'industrie agro-alimentaire². Les calculs écoénergétiques apparaissent ainsi comme un complément aux évaluations monétaires qui sont généralement faites au sujet des systèmes productifs.

ECOLOGIE INDUSTRIELLE ET ECONOMIE DE MARCHE

Nantis de ces informations, les industriels, ainsi que le recommandent Robert Frosch et Nicholas Gallopoulos (1989: 106), doivent procéder à un ensemble d'opérations de rationalisation de la production: optimisation des consommations énergétiques et matérielles, minimisation des déchets à la source et réutilisation des rejets pour servir de matière première à d'autres processus de production et à d'autres activités économiques. La "symbiose de Kalundborg"³ – du nom de la petite ville du Danemark où est située cette organisation in-

total. Les 94% restants se voient transformés en déchets dans l'année ou dans les deux ans qui suivent leur extraction."

¹ Voir notamment les travaux de Sergueï Podolinsky (1850-1891) présentés *in* F.-D. Vivien (1996).

² Voir, par exemple, les travaux de David Pimentel *et al.* (1973) et les remarques de N. Georgescu-Roegen (1970:66). Pour une utilisation de calculs écoénergétiques dans le domaine de l'industrie, voir l'ouvrage de René Passet (1970:193) et le thèse de Sylvie Faucheux (1990)

^(1979:193) et la thèse de Sylvie Faucheux (1990).

³ R. Frosch (1995:149) la décrit comme " un écosystème industriel modèle : une raffinerie (a) utilise la chaleur perdue par une centrale thermique (b) et vend le soufre extrait du pétrole à une usine chimique. La raffinerie fournit aussi du sulfate de calcium à un producteur de plaques murales (c) en remplacement du gypse que celui-ci achète habituellement. La vapeur excédentaire de la centrale chauffe aussi l'eau d'une société aquacole (d), ainsi que des serres et des habitations (e)." Pour une présentation plus détaillée, voir l'article de Naïri Nahapétian (2002:62). On peut aussi consulter le site de Kalundborg : www.symbiosis.dk

dustrielle particulière – est l'exemple qui sert généralement à illustrer cette 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. Il s'agit, en quelque sorte, de la préfiguration de ce que devrait être un écosystème industriel du troisième type. Ce nouveau type d'organisation industrielle doit se traduire notamment par une dématérialisation et une "décarbonisation" de la production : il s'agit, d'une part, de réduire les quantités de matériaux utilisés et, d'autre part, de diminuer les quantités de gaz carbonique rejetées par les processus de production et de consommation afin de lutter contre l'accroissement de l'effet de serre, grâce à des substitutions énergétiques (remplacement du charbon par le pétrole et du pétrole par le gaz naturel).

Les auteurs insistent sur le fait que la constitution de cette "symbiose" s'est déroulée de manière spontanée. Elle a simplement bénéficié de la proximité géographique de grandes entreprises – Kalundborg est située à l'intérieur d'un fjord – et d'une confiance entre des partenaires économiques qui ont pris l'habitude de se côtoyer. Surtout, cette organisation industrielle particulière s'est progressivement mise en place sur des bases commerciales. "Les échanges obéissent aux lois du marché", note Suren Erkman (1998:26). Et de comparer la dépense totale, liée aux investissements réalisés en 20 ans, évaluée à 60 millions de dollars environ et les recettes annuelles provenant de la vente des déchets et des économies réalisées, estimées à 10 millions de dollars¹. La logique du profit, la recherche de la performance et l'accroissement de la compétitivité ne sont donc pas perdues de vue. On peut même dire que nous sommes pas très éloignés de certains principes du taylorisme². Pour que le calcul économique puisse jouer pleinement son rôle, il est même envisagé par certains tenants de l'écologie industrielle, comme Robert Ayres (1989), que les dimensions biophysiques de l'économie soient traduites dans la structure des prix de marché.

L'écologie industrielle se place ainsi dans une tradition libérale d'internalisation des externalités qui se réfère aux travaux de Ronald Coase (1960). D'ailleurs, les tenants de ce courant de pensée – C.W. Powers et M.R. Chertow (1997), par exemple – ne se privent pas de faire retour sur les politiques

¹ N. Nahapétian (2002:61) donne d'autres chiffres : un investissement de 84 millions d'euros réalisé sur 30 ans et des recettes annuelles de 17 millions d'euros.

d'euros.

Frederic W. Taylor (1907:84) recommande "le bilan de tous les matériaux, matières premières, approvisionnements, pièces finies, etc."

d'environnement qui ont été menées depuis le début des années 70, époque à laquelle les administrations en charge de ces questions sont mises en place dans les pays industrialisés. Outre la remise en cause de l'approche "en bout de chaîne" que proposent les auteurs en matière de lutte contre la pollution, leurs critiques portent sur la fragmentation et le compartimentage des politiques publiques d'environnement. On retrouve ainsi dans les textes de l'écologie industrielle les reproches que l'on fait habituellement à l'approche administrative et réglementaire des politiques d'environnement. L'attachement à un certain "laissez faire", que l'on décelait déjà dans l'analyse autoorganisationnelle de la "symbiose de Kalundborg", transparaît aussi quand les tenants de l'écologie industrielle demandent à ce que les politiques d'environnement privilégient désormais les incitations financières et la révision des normes en matière de production : "les réglementations, écrivent ainsi Robert Frosch et Nicholas Gallopoulos (1989:114), doivent s'assouplir afin de ne pas gêner le recyclage et les autres opérations de minimisations des déchets." Et pour montrer que les interventions de la puissance publique sont des barrières à la restructuration des systèmes industriels, des exemples sont généralement pris dans l'histoire de l'industrie de la chimie, laquelle a une longue expérience de valorisation de ses déchets ; certains sous-produits d'activités principales, comme le chlore dans la production de la soude caustique, par exemple, ayant donné naissance à de nouvelles branches d'industrie.

Longtemps conçues de manière séparée, les questions d'économie et d'écologie sont désormais inextricablement liées dans la définition et la mise en œuvre de ce que l'on désigne comme un "développement durable". Cet objectif, qui doit notamment se traduire par une utilisation modérée des ressources naturelles et une limitation des déchets et rejets de toute sorte, appelle de profonds changements dans les modes de production et de consommation de nos sociétés. L'écologie industrielle entend s'employer à cette tâche et trouver des principes et des modèles applicables à la gestion des entreprises et aux processus de production en s'inspirant de l'étude des écosystèmes. On peut revenir sur cette stratégie composée d'un mélange de considérations scientifiques, d'analogies et d'options politiques.

En ce qui concerne les connaissances scientifiques qui sont convoquées à cette occasion, on notera que, outre qu'elle s'appuie sur des théories et concepts qui commencent à dater un peu¹, la synthèse écologique des frères Odum, qui sert de base scientifique à l'écologie industrielle, présente un "holisme de façade" et le réductionnisme qu'elle met en œuvre dessine, pour parler comme Catherine et Raphaël Larrère, un "geste d'exclusion de l'homme"². Il n'est pas sûr, dans ces conditions, qu'elle soit correctement outillée pour répondre aux défis qui lui sont posés. Les problèmes d'environnement auxquels les sociétés doivent faire face — et, en particulier, ceux concernant la gestion de la pollution — renvoient à des questions plus complexes que celles qu'étudie habituellement la science écologique. Pour rendre compte des interactions entre les sociétés et les milieux qui caractérisent les phénomènes socio-techniques ayant un impact sur l'environnement ou la santé humaine, ce sont des problématiques en univers incertain mettant en cause des "objets hybrides" — des artefacts échappant au contrôle des sociétés pour interagir avec des éléments naturels — qui doivent être construites³. Il est difficile de réduire ces questions à des problèmes de gestion et d'optimisation de flux, aussi complexes soient-ils. Qui plus est, quand on se place dans une optique microéconomique, comme c'est généralement le cas pour l'écologie industrielle.

Si l'on se tourne maintenant vers ses options politiques, l'écologie industrielle prend le contre-pied de l'écologie politique⁴ et de la sociologie de l'environnement, puisqu'elle travaille, ainsi que l'écrit Suren Erkman (1998:140), à séparer l'aspect matériel et l'aspect social et culturel de la crise environnementale. Dans l'ensemble, les modifications organisationnelles du système économique qui sont prônées par l'écologie industrielle concernent les processus et les sites de production. Ce sont les entreprises qui, à l'aide du progrès technique, vont modifier leurs normes de fabrication et rationaliser un peu plus leur processus de production. Rien d'étonnant donc à trouver des accents néo-tayloriens chez un auteur comme T.E. Graedel (1996:74) qui fait des employés d'une usine le "réseau neuronal" de cet "organisme industriel" qu'est supposée être

¹ Ainsi, par exemple, la notion de "climax", à laquelle fait référence S. Erkman (1998:79), est aujourd'hui largement remise en cause par les écologues. Voir, par exemple, l'article de Jean-Marc Drouin (1991).

^{2 &}quot;Ou bien, écrivent C. et R. Larrère (1997:142), les hommes sont exclus du champ de l'analyse, et leurs interventions sont assimilées aux facteurs de variation dont on repère les effets, mais qui échappent, en tant que tels, au domaine d'investigation de l'écologie. Ou bien les hommes sont intégrés en tant que composants des écosystèmes qu'ils mettent en valeur et qu'ils fréquentent. Mais alors, comme tout élément, les hommes sont des boîtes noires "

³ Voir notamment l'ouvrage de Michel Callon *et al.* (2001).

⁴ Pour une analyse comparée de l'écologie industrielle et de l'écologie politique, voir F.-D. Vivien (2000).

une entreprise! Certes, certains auteurs sont bien conscients que les attitudes du public doivent changer en ma-tière de consommation mais, pour l'essentiel, ainsi que l'écri-vent Robert Frosch et Nicholas Gallopoulos (1989:114), cela doit se traduire par des efforts accrus de la part des consom-mateurs en matière de ramassage et de tri sélectif des déchets ménagers. De son côté, dans la société post-industrielle qu'il entrevoit dans un futur proche, Suren Erkman (1998:129) avance que l'utilisateur de services remplacera le travaillleur-consommateur, mais les analyses menées en ce sens sont bien timides. Il en va de même quand cet auteur évoque une possible déconcentration du pouvoir économique grâce à une économie basée sur des services qui obligerait à repenser la proximité et la question des délocalisations¹. L'exploration de ces pistes per-mettrait pourtant d'envisager un certain nombre de problèmes liés traditionnellement aux analyses centrées sur l'offre et sur la production.

En effet, contrairement à ce qu'écrivent volontiers ses partisans, cette pensée d'ingénieurs qu'est l'écologie industrielle n'est pas sans contradiction avec la logique économique. C'est ce qu'il conviendrait d'étudier en considérant certains enseignements de l'économie industrielle. On sait, par exemple, que la diffusion des techniques ne favorise pas obligatoirement les plus efficaces. Les travaux de Paul David (1985), notamment, ont bien montré que celle-ci est sensible aux conditions initiales de l'invention et aux phénomènes de rendements croissants. Par ailleurs, les questions de secret de fabrication peuvent représenter de sérieux obstacles à des analyses de processus de production. De même, les coûts d'information et de négociation expliquent le très faible nombre d'accords passés entre firmes dans le domaine de l'environnement² et les difficultés que l'on

¹ S. Erkman (1998:137) écrit : "Dans une économie organisée selon des boucles de réutilisation des biens, des composants et des matériaux, la compétitivité internationale ne dépend plus principalement d'une main-d'œuvre bon marché ou de grands volumes de fabrication [...] Une véritable économie des services serait donc essentiellement régionale. Cette tendance à la relocalisation pourrait offrir un contrepoids à la logique actuelle des délocalisations. Par ailleurs, cette nouvelle organisation du systèmes industriel aurait pour effet de déplacer le centre de gravité du pouvoir économique, qui glisserait de la production vers la gestion et la maintenance optimale des parcs d'équipements et de biens. Il en découlerait une transformation des rapports de force entre les différents types d'entreprises, l'Etat, et les citoyens, qui pourrait aboutir à une "déconcentration" du pouvoir économique."
² Dans son ouvrage consacré à l'économie de la réglementation. Francois

² Dans son ouvrage consacré à l'économie de la réglementation, François Lévêque (1998:45) est bien en peine de trouver des exemples réels illustrant la négociation entre pollueur et pollué que propose R.H. Coase (1960). Un seul cas concernant des industriels est donné: un accord en Suède entre les firmes Volvo et British Petroleum pour la prise en charge par cette dernière de la couverture de l'ère de stockage du fabricant automobile pour éviter une

observe dans la constitution de nouvelles "symbioses industrielles". Une réflexion sur les raisons d'implantation des firmes et sur la constitution des "districts industriels" manque aussi cruellement. Bref, si, comme l'écrit Suren Erkman (1994:8), l'écologie industrielle aspire à développer "un cadre conceptuel. (...) libéré des fardeaux idéologiques traditionnels", le chemin qui lui reste à parcourir est encore long.

BIBLIOGRAPHIE

ACOT P. (1988) Histoire de l'écologie, Paris, PUF. AYRES R.U., KNEESE A.V. (1969) Production, Consumption, and Externalities, American Economic Review, 59, 282-297. AYRES R.U. (1989) Le métabolisme industriel et les changements de l'environnement planétaire, Revue internationale des sciences sociales, 121,

AYRES R.U., NORBERG-BOHM V., PRINCE J., STIGLIANI W.M., YANOWITZ J. (1989) Industrial Metabolism, the Environment, and Application of Materials-Balance Principles for Selected Chemicals, Laxenburg, IIASA.

BARBAULT R. (2001) La vie, un succès durable, in M. Jollivet (éd.) Le développement durable, de l'utopie au concept, Paris, Elsevier, pp. 117-130. BILLEN G. (2000) From Ecology of Natural Systems to Industrial Ecology: need for the extension of the scope of Ecology, in Bourg D., Erkman S. (eds) Industrial Ecology and Sustainability: Proceedings, Troyes, Université de Troyes/ICAST.

Troyes/ICAST.
BOURG D., ERKMAN S. (eds) (2000) Industrial Ecology and Sustainability: Proceedings, Troyes, Université de Troyes/ICAST, actes du colloque de Troyes, 22-25 septembre 1999.
CALLON M., LASCOUMES P., BARTHE Y. (2001) Agir dans un monde incertain. Essai sur la démocratie technique, Paris, Ed. du Seuil.
CLEVELAND C.J. (1999) Biophysical economics: from physiocracy to ecological economics and industrial ecology, in K. Mayumi, J.M. Gowdy (eds) Bioeconomics and Sustainability. Essays in Honor of Nicholas Georgescu-Roegen, Cheltenham, Edward Elgar, pp. 125-154.
CMED (1987) Notre avenir à tous, trad. fse, Montréal, Ed. du Fleuve, 1989. COASE R.H. (1960) The Problem of Social Cost, Journal of Law and Economics, 3, 1-44.
COMMONER B. (1971) L'encerclement, trad. fse, Paris, Ed. du Seuil, 1972. DAVID P.A. (1985) Clio and the Economics of QWERTY, American

COMMONER B. (1971) *L'encerclement*, trad. fse, Paris, Ed. du Seuil, 1972. DAVID P.A. (1985) Clio and the Economics of QWERTY, *American Economic Review*, vol. 75, 2, 332-337.

DELEAGE J.-P. (2002) L'écologie scientifique: de la nature à l'industrie, *Ecologie et Politique*, 25, 57-66.

DROIN J.-M. (1991) Un équilibre controversé. Contribution à l'histoire du concept de climax, *in* J. Theys *et al.* (éds) Environnement, science et politique, *Cahiers du GERMES*, n°13, pp. 109-122.

DUVIGNEAUD P. (1980) *La synthèse écologique*, Paris, Doin, 2ème éd. ERKMAN S. (1997) Industrial Ecology: A Historical View, *Journal of Cleaner Production*, 5, n°1-2, 1-10.

érosion des carrosseries des véhicules par des rejets de soufre provenant de ses activités de raffinage.

ERKMAN S. (1998) Vers une écologie industrielle, Paris, Ed. Charles Léopold Mayer - La librairie FPH.

ERKMAN S. (2001) "L'écologie industrielle, une stratégie de développement", *Le débat*, 113, 106-121. FAUCHEUX S. (1990) L'articulation des évaluations monétaire et énergétique en économie, thèse pour le doctorat de science économique, Université de Paris I.

FISCHER-KOWALSKI M. (2000) On the History of Industrial Metabolism, in Bourg D., Erkman S. (eds) *Industrial Ecology and Sustainability: Proceedings*, Troyes, Université de Troyes/ICAST. FROSCH R., GALLOPOULOS N. (1989) Des stratégies industrielles viables,

Pour la Science, 145, 106-115.

FROSCH R. (1995) L'écologie industrielle du XXème siècle, *Pour la Science*, 217, 148-151.

GEDDES P. (1884) *An Analysis of the Principles of Economics*, rééd., Londres, Williams and Norgate, 1885.
GEORGESCU-ROEGEN N. (1970) La loi de l'entropie et le problème

GEORGESCU-ROEGEN N. (1970) La loi de l'entropie et le problème économique, in La décroissance, trad. fse, Paris, Ed. du Sang de la terre, 1995, pp. 53-71.

GEORGESCU-ROEGEN N. (1971) The Entropy Law and the Economic Process, Cambridge, Harvard University Press.

GRAEDEL T.E. (1996) On the Concept of Industrial Ecology, Annu. Rev. Energy Environ., 21, 69-98.

HUTCHINSON G.E. (1948) On Living in the Biosphere, The Scientific Monthly, 57, 393-398.

Monthly, 57, 393-398.

KNEESE A.V., AYRES R.U., D'ARGE R.C. (1970) Economics of the Environment, A Material Balance Approach, Baltimore, John Hopkins Press,

LARRERE C., LARRERE R. (1997) Du bon usage de la nature. Pour une philosophie de l'environnement, Paris, Aubier. LEVEQUE F. (1998) Economie de la réglementation, Paris, Ed. La

LINDEMAN R.C. (1942) The Trophic-Dynamic Aspect of Ecology, Ecology, 23, 399-417.

LOVELOCK J.E. (1988) Les âges de Gaïa, trad. fse, Paris, Robert Laffont. MARTINEZ-ALIER J. (1987) Ecological Economics, Oxford, Basil Blackwell

NAHAPETIAN N. (2002) L'écologie industrielle, exercice pratique, Alternatives économiques, 206, 60-63.
O'ROURKE D., CONNELLY L., KOSHLAND C. (1996) Industrial Ecology:

A Critical Review, International Journal of Environment and Pollution, 6, 2/3 89-112

ODUM E.P. (1971) Fundamentals of Ecology, Philadelphia, W.B. Saunders

Company, 3rd ed. ODUM H.T. (1971) *Environment, Power and Society*, New York, John Wiley

PASSET R. (1979) L'économique et le vivant, Paris, Payot.

PIMENTEL D. et al. (1973) Food Production and Energy Analysis, Science, 182, 443-449.

POWERS C.W., CHERTOW M.R. (1997) Industrial Ecology, in M.R. Chertow, D.C. Esty (eds) *Thinking Ecologically*, New Haven, Yale University Press, pp. 19-36.
RIST G. (1996) Le développement. Histoire d'une croyance occidentale,

Paris, Presses de la Fondation Nationale des Sciences Politiques.

SACHS I. (1993) L'écodéveloppement, Paris, Syros.

STRONG M. (2001) Ainsi va le monde, trad. fse, Montréal, Ed. Berger.

TAYLOR F.W. (1907) Direction des ateliers, trad. fse, rééd. in F.W. Taylor, Organisation du travail et économie des entreprises, Paris, Les Ed. d'organisation, 1990.

VATIN F. (1993) Le travail. Economie et physique (1780-1830), Paris, PUF. VERNADSKY V. (1929) La biosphère, trad. fse, Paris, Félix Alcan. VIVIEN F.-D. (1996) Marxisme et écologie politique, le rendez-vous manqué de Sergueï Podolinsky, Actuel Marx, Actualiser l'économie de Marx, Actes du Congrès Marx International, mai, pp. 127-141.

VIVIEN F.-D. (2000) Industrielle ou politique? Quelle écologie pour le développement durable?, in Bourg D., Erkman S. (eds) Industrial Ecology and Sustainability: Proceedings, Troyes, Université de Troyes/ICAST.

VIVIEN F.-D. (2001) Histoire d'un mot, histoire d'une idée: le développement durable à l'épreuve du temps, in M. Jollivet (éd.) Le développement durable, de l'utopie au concept, Paris, Elsevier, pp. 19-60. WORSTER D. (1977) Les pionniers de l'écologie, trad. fse, Paris, Ed. du Sang de la terre, 1992.