



# l'écologie industrielle:

une stratégie de  
développement

juin 2004

auteur :  
SUREN ERKMAN \*

\*professeur à l'Ecole polytechnique fédérale de  
Lausanne, directeur de l'Institut ECAST à Genève.  
Spécialiste et auteur d'ouvrages en  
matière d'écologie industrielle.



etopia\_

centre d'animation et de recherche en écologie politique

## En quelques mots

Le système industriel et la biosphère sont habituellement considérés comme séparés: d'un côté, les usines, les villes; de l'autre, la nature, «l'environnement». L'écologie industrielle explore l'hypothèse inverse: 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'information, tout comme dans les écosystèmes naturels.

Par rapport aux nombreuses approches des questions d'environnement, l'écologie présente trois spécificités :

1. le recours à un cadre conceptuel très large et rigoureux (l'écologie scientifique) ;
2. une volonté de stratégie opérationnelle, économiquement réaliste et socialement responsable ;
3. une approche coopérative : alors que tous les outils actuels de développement durable (éco-efficacité,...) visent à accroître la viabilité et la compétitivité des entreprises individuelles, l'écologie industrielle propose une approche systémique et collective, nécessitant la coopération de nombreux agents économiques qui d'habitude s'ignorent ou sont en compétition.

### 1) Valoriser systématiquement les déchets :

A l'image des chaînes alimentaires dans les écosystèmes naturels, il faut

créer des réseaux d'utilisation des ressources et des déchets dans les écosystèmes industriels, de sorte que tout résidu devienne une ressource pour une autre entreprise ou un autre agent économique (par exemple par le biais de parcs éco-industriels).

### 2) Minimiser les pertes par dissipation :

Aujourd'hui, dans les pays industrialisés, la consommation et l'utilisation pollue souvent plus que la fabrication. Les engrais, les pesticides, les pneus, les vernis, les peintures, les solvants, etc., sont autant de produits totalement ou partiellement dissipés dans l'environnement lors de leur usage normal. Il s'agit de concevoir de nouveaux produits et de nouveaux services minimisant ou rendant inoffensive cette dissipation.

### 3) Dématérialiser l'économie :

Il s'agit de minimiser les flux totaux de matière (et d'énergie) tout en assurant des services au moins équivalents. Le progrès technique permet d'obtenir plus de services avec une quantité moindre de matière, notamment en fabricant des objets plus légers. Plus généralement, l'une des meilleures manières de dématérialiser l'économie consiste à optimiser l'utilisation, autrement dit à vendre l'usage au lieu de l'objet (par exemple, un fabricant de photocopieurs qui vend le service «photocopies» au lieu de la machine, a ainsi tout intérêt à ce que son photocopieur, dont il reste propriétaire, nécessite le moins de matière possible, ait une durée de vie fonctionnelle la plus longue possible, soit aisément recyclable, etc.).

#### 4) Décarboniser l'énergie :

Depuis les débuts de la Révolution industrielle, le carbone sous forme d'hydrocarbures d'origine fossile (charbon, pétrole, gaz) représente l'élément principal, la substance vitale irriguant toutes les économies qui se développent sur le mode occidental. Or ce carbone fossile se trouve à la source de nombreux problèmes: intensification de l'effet de serre, smog, marées noires, pluies acides. Il faut donc rendre la consommation d'hydrocarbures moins dommageable (par exemple en récupérant le gaz carbonique issu de la combustion) et favoriser la transition vers une diète énergétique moins riche en carbone fossile (énergies renouvelables, économies d'énergie).

Les nombreuses activités, souvent inédites (puisque l'on établit de nouvelles relations entre agents socio-économiques) que supposent ces quatre grands axes d'action représentent autant d'opportunités pour développer (ou re-développer) l'économie, notamment au plan local et régional.

### Développements



Chaque année, au mois de septembre, le mensuel de vulgarisation Scientific American ( Pour La Science , en version française) publie un numéro thématique. En septembre 1989, le numéro spécial est consacré à «la gestion de la planète Terre». On peut y lire un article intitulé «Des stratégies industrielles viables». Ses deux auteurs travaillent dans la plus grande entreprise industrielle du monde: Robert Frosch, vice-président de la recherche chez General Motors (aujourd'hui à l'Université de Harvard),

et Nicholas Gallopoulos, responsable de la recherche sur les moteurs, également chez General Motors.

Dans leur article, les deux auteurs développent l'idée qu'il devrait être possible de mettre au point des méthodes de production industrielle dont l'impact sur l'environnement serait considérablement réduit. Cette hypothèse les conduit à introduire la notion d'écosystème industriel :

«Dans le 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. (...)

Un écosystème industriel pourrait fonctionner comme un écosystème biologique: les végétaux synthétisent des substances qui alimentent les animaux herbivores, lesquels sont mangés par les animaux carnivores, dont les déchets et les cadavres servent de nourriture à d'autres organismes. On ne parviendra naturellement jamais à établir un écosystème industriel parfait, mais les industriels et les consommateurs devront changer leurs habitudes s'ils veulent conserver ou améliorer leur niveau de vie, sans souffrir de la dégradation de l'environnement.» (note 1)

Ces lignes semblent avoir joué un rôle de catalyseur, comme si elles avaient cristallisé une intuition latente chez bon nombre de gens à la recherche d'un nouveau modèle de développement économique. Dès sa publication, l'article de Frosch et Gallopoulos a inspiré plusieurs auteurs, qui ont tous proposé leur interprétation, de sorte qu'il n'existe pas de définition standard de

l'écologie industrielle. Mais, quelles que soient les définitions, tous les auteurs s'accordent pour reconnaître au moins trois éléments principaux dans

## Le concept d'écologie industrielle :



C'est une vision globale, intégrée, de tous les composants du système industriel et de leurs relations avec la Biosphère.

Le substrat biophysique du système industriel, c'est-à-dire la totalité des flux et des stocks de matière et d'énergie liés aux activités humaines, constitue le domaine d'étude de l'écologie industrielle, par opposition aux approches usuelles, qui considèrent l'économie essentiellement en termes d'unités de valeur immatérielle.

La dynamique technologique, c'est-à-dire l'évolution sur le long terme de grappes de technologies-clés, constitue un facteur crucial (mais pas exclusif) pour favoriser la transition du système industriel actuel vers un système viable, inspiré par le fonctionnement des écosystèmes biologiques.

La méthodologie de base de l'écologie industrielle se nomme «métabolisme industriel». Il s'agit d'une méthodologie essentiellement analytique et descriptive, qui vise à comprendre la dynamique des flux et des stocks de matière et d'énergie liés aux activités humaines, depuis l'extraction et la production des ressources jusqu'à leur retour inévitable, tôt ou tard, dans les grands cycles de la Biosphère. En pratique, une étude de métabolisme industriel consiste à établir des bilans

de masse et d'énergie. Les études de métabolisme industriel peuvent se faire à l'échelle d'une ville, d'une région, d'un pays, mais aussi d'un produit, d'un service, ou d'une filière (note 2).

L'écologie industrielle entend franchir une étape supplémentaire: en s'inspirant des connaissances sur les écosystèmes et la Biosphère, il s'agit de déterminer les transformations susceptibles de rendre le système industriel compatible avec un fonctionnement «normal» des écosystèmes biologiques. Une bonne compréhension du métabolisme industriel constitue donc un préalable indispensable à l'écologie industrielle.

## Une alternative à l'approche «end of pipe»



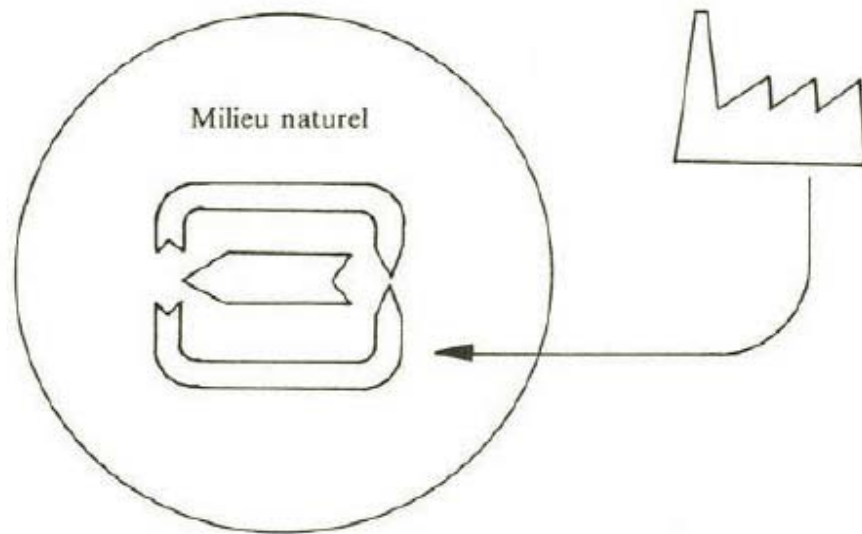
schéma 1

L'écologie industrielle diffère profondément de la conception traditionnelle, qui considère le système industriel et la Biosphère comme séparés: d'un côté, les usines, les villes; de l'autre, la nature, «l'environnement». L'intuition de base de l'écologie industrielle explore l'hypothèse inverse: 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'information, 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 actuelle, elle-même fruit d'une longue évolution. Naturellement, le concept d'écosystème industriel est une analogie qu'il ne faut pas prendre au pied de la lettre.

schéma 1

## L'approche «end of pipe»

Le système industriel perçu comme séparé de la Biosphère



**CA global: + 600 milliards \$ / an**

Source: L'écosystème Belgique, 1983

Traditionnellement, l'impact des activités humaines est considéré comme se réduisant essentiellement à des problèmes de «pollution

de l'environnement». La solution, estime-t-on alors, consiste à traiter la pollution par le biais de divers dispositifs techniques intervenant généralement en fin de processus (ce que l'on désigne habituellement par l'expression anglaise «end of pipe»). Historiquement, l'approche end-of-pipe s'est développée selon une stratégie administrative sectorielle. Le traitement des déchets solides, des déchets dangereux ou toxiques, des déchets liquides, des pollutions atmosphériques, relève généralement de différents corps administratifs, qui vont de la santé publique au service des eaux.

Toutefois, il faut bien réaliser que la «solution» d'un problème aux yeux d'un département peut fort bien se révéler n'être que son transfert sur un terrain relevant d'un autre département, la «dépollution» consistant simplement à déplacer la pollution. Le traitement des eaux usées, par exemple, produit de l'eau «propre», mais également des boues d'épuration en très grandes quantités. Or, le stockage de ces boues, ou leur épandage sur les terres agricoles, peut entraîner une contamination du sol et des eaux souterraines, notamment par des métaux lourds. De même, l'incinération des déchets solides permet de réduire considérablement leur volume, mais le stockage des cendres d'incinération présente également un problème pour le sol et les eaux souterraines. De plus, l'incinération risque de polluer l'atmosphère. Pour satisfaire aux normes de qualité de l'air, on peut alors installer des filtres. Ces derniers se chargent de substances solides qu'il convient, à leur tour, d'éliminer.

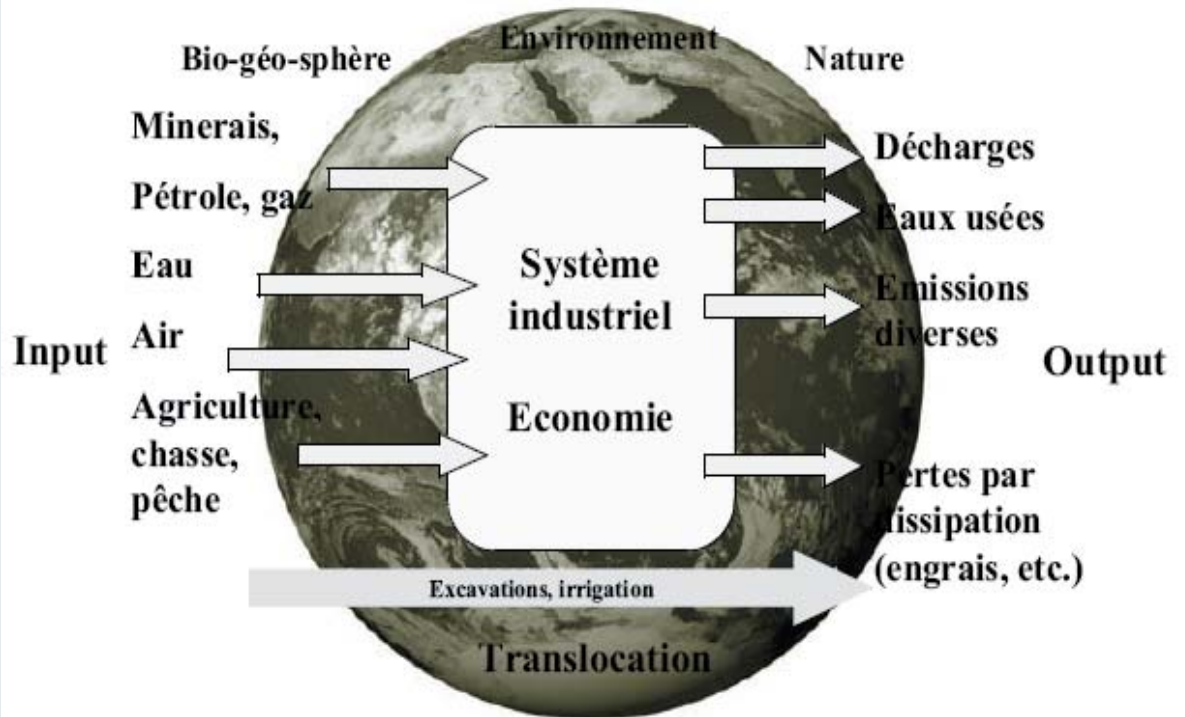
Par conséquent, bien que l'approche end-of-pipe ait rendu d'indéniables services ces dernières décennies, il est clair qu'à terme, une telle stratégie sectorielle ne suffit pas. Par ailleurs, les pays industrialisés sont confrontés à un phénomène croissant, face auquel la stratégie end-of-pipe est inopérante:

le fait que les émissions polluantes deviennent, proportionnellement, de plus en plus diffuses. Par exemple, en novembre 1986, l'incendie d'une halle de stockage de l'entreprise Sandoz, à Schweizerhalle (Bâle), entraîna le déversement de 33 tonnes de substances toxiques dans le Rhin. Cet accident provoqua une émotion considérable. Pourtant, à la même époque, le Rhin charriait chaque jour 27 tonnes de matières toxiques se déversant dans le delta hollandais et la mer du Nord, soit dix mille tonnes par an, sans que personne, à part quelques spécialistes, ne s'en émeuve outre mesure!

Au premier abord, le concept d'écologie industrielle apparaît simple et séduisant; il semble offrir une alternative bienvenue aux impasses de l'approche «end of pipe». Mais a-t-il la moindre chance de dépasser le stade d'une belle idée abstraite? Telle est la question qui se posait au début des années 90, lors des premières réflexions issues de l'article de Frosch et Gallopoulos. C'est alors qu'intervint la «découverte» de la Symbiose de Kalunborg (jusqu'alors pratiquement inconnue), preuve de l'existence réelle d'un écosystème industriel en vraie grandeur, fonctionnant sur des bases économiques solides.



## Écologie industrielle: cadre conceptuel



Source: Wuppertal Institut

## La symbiose de Kalundborg

### • • • • • schéma 3

Située au bord de la Mer du Nord, à une centaine de kilomètres à l'ouest de Copenhague, Kalundborg est une petite ville industrielle de vingt mille habitants. Au fil des ans, les principales entreprises de Kalundborg ont commencé à échanger des «déchets»: de la vapeur, de l'eau (à différentes températures et différents degrés de pureté), ainsi que divers sous-produits. A la fin des années 80, les responsables du développement local ont réalisé qu'ils avaient progressivement et spontanément créé un système, qu'ils baptisèrent «symbiose industrielle».

La symbiose de Kalundborg comprend cinq partenaires principaux, distants les uns des autres de quelques centaines de mètres seulement, et reliés entre eux par un réseau de pipelines ad hoc :

1. Asnaesvaerket, la plus grande centrale électrique du Danemark. D'une capacité de 1'500 MW, alimentée au mazout puis au charbon (après le premier choc pétrolier), elle emploie 600 personnes.
2. Statoil, la plus grande raffinerie de pétrole du Danemark, avec une capacité supérieure à trois millions de tonnes de pétrole par an et 250 employés.
3. Novo Nordisk, la grande société danoise de biotechnologies, l'un des principaux producteurs mondiaux d'enzymes industriels et d'insuline.
4. L'usine de Kalundborg, la plus grande du groupe, occupe 1'200 personnes.
5. Gyproc, société suédoise dont l'usine de Kalundborg produit des panneaux de construction en gypse (14 millions de m<sup>2</sup> par an) avec 175 collaborateurs.

Enfin, la municipalité de Kalundborg, qui utilise pour le chauffage à distance de toute la ville de la vapeur vendue par la centrale électrique.

L'eau, sous forme de liquide ou de vapeur, constitue le «déchets» valorisé de la manière la plus systématique. Elle provient soit directement du lac Tissø, distant d'une quinzaine de kilomètres, soit du réseau de la municipalité de Kalundborg. La raffinerie Statoil fournit de l'eau usée pour refroidir la centrale électrique

Asnaesvaerket. Cette dernière vend de la vapeur à la raffinerie Statoil, mais aussi à Novo Nordisk (pour ses tours de fermentation). La centrale électrique vend de la vapeur également à Gyproc, ainsi qu'à la municipalité de Kalundborg pour son réseau de chauffage urbain à distance. Elle fournit même de l'eau chaude à une ferme d'aquaculture qui élève des turbots.

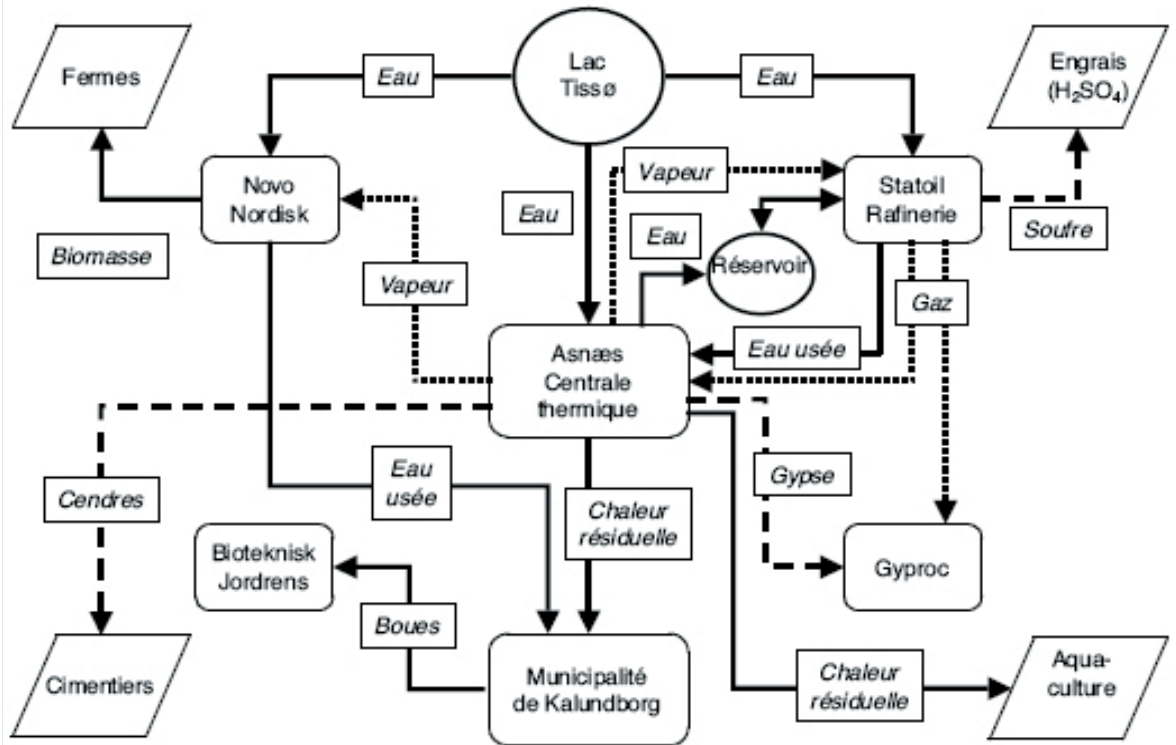
En 1990, la centrale électrique a mis en service sur l'une de ses unités une installation de désulfuration: le soufre des gaz de combustion réagit avec de la chaux, ce qui donne du gypse (sulfate de calcium). Asnaesvaerket produit ainsi plus de cent mille tonnes de gypse par an. Transporté par camion jusqu'à l'entreprise voisine, Gyproc, ce gypse est aujourd'hui utilisé comme matière première pour ses panneaux de construction. Gyproc a pu ainsi cesser d'importer du gypse naturel, jusqu'alors extrait de gisements en Espagne. Quant au gaz produit en excès par la raffinerie, il est utilisé comme combustible aussi bien par Asnaesvaerket que par Gyproc (voir le schéma).

Schéma de principe montrant les principaux échanges en vigueur (état 1999) au sein de la «symbiose industrielle» de Kalundborg. (Source : Colin Francis, ICAST, d'après Jørgen Christensen, Symbiosis Institute.) [cliquer sur le graphique pour le voir dans sa taille initiale]



## La Symbiose industrielle de Kalundborg - Etat 1999

[C. Francis, d'après J. Christensen, 1999]



Sur la base des informations partielles disponibles actuellement, on voit que les avantages environnementaux et économiques de la symbiose industrielle de Kalundborg sont clairs (note 3):

Réduction de la consommation des ressources : 45'000 tonnes par an de pétrole, 15'000 tonnes par an de charbon, et surtout 600'000 m3 par an d'eau. Réduction des émissions de gaz à effet de serre et de polluants : 175'000 tonnes par an de gaz carbonique, 10'200 tonnes par an de dioxyde de soufre.

Réutilisation des déchets : 130'000 tonnes par an de cendres (pour la construction routière), 4'500 tonnes par an de soufre (pour la fabrication d'acide sulfurique), 90'000 tonnes par an de gypse, 1'440 tonnes par an d'azote et 600 tonnes par an de phosphore.

Les avantages économiques, qui se trouvent en réalité à l'origine de ces échanges, sont également substantiels. Selon les indications dont on dispose publiquement, les investissements totaux sur une période de vingt ans (soit seize projets d'échanges de déchets) sont estimés à 60 millions de dollars. Les revenus annuels sont évalués à 10 millions de dollars (du fait de l'économie en ressources et de la vente des déchets), et les revenus cumulés jusqu'à aujourd'hui s'élèvent à environ 120 millions de dollars. Le temps moyen d'amortissement reste inférieur à cinq ans.

Depuis quelques années, l'expérience de Kalundborg suscite une attention croissante. Toutefois, il vaut veiller à ne pas trop l'idéaliser, car le système présente aussi certains inconvénients (notamment la rigidité des échanges et le risque de perturbations du système en cas de défection de l'une des entreprises).

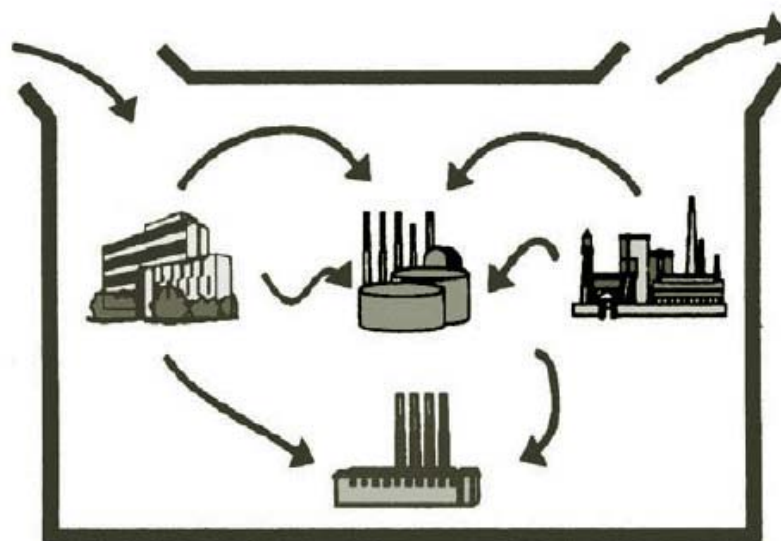
Malgré ses limitations, la symbiose de Kalundborg a surtout valeur d'exemple: serait-il possible de reproduire ailleurs, voire de généraliser, ce succès? D'abord, il faut remarquer que l'on rencontre un peu partout de nombreux proto-écosystèmes industriels similaires: dans des régions à forte tradition industrielle, comme la Ruhr, la Lorraine ou le Houston Channel, on pratique depuis longtemps des formes plus ou moins élaborées de symbioses entre différentes entreprises. La principale différence réside dans le fait qu'à Kalundborg les échanges symbiotiques se sont développés d'une manière consciente et systématique.

## Parcs et réseaux éco-industriels

### schéma 4

En fait, lorsque l'on réfléchit au concept d'écosystème industriel, l'une des premières analogies qui vient à l'esprit est celle des «chaînes alimentaires industrielles». De même que dans les écosystèmes naturels, certaines espèces se nourrissent des déchets ou des organismes d'autres espèces, on pourrait imaginer un processus similaire de valorisation des déchets entre différents agents économiques. C'est ainsi qu'est apparu au début des années 90 le concept de «parc éco-industriel» (en anglais: eco-industrial park, ou EIP), basé sur une généralisation de la Symbiose de Kalundborg. Il s'agit d'une zone où les entreprises coopèrent pour optimiser l'usage des ressources, notamment en valorisant mutuellement leurs déchets (les déchets d'une entreprise servant de matière première pour une autre) (note 4). Toutefois, la notion de «parc» ne doit

## Parcs, zones, réseaux éco-industriels



Source: R.P. Côté and al.

pas être comprise au sens d'une zone géographiquement confinée : un parc éco-industriel peut très bien inclure l'agglomération voisine, ou une entreprise située à grande distance, si celle-ci est la seule à pouvoir valoriser un déchet rare qu'il serait impossible de traiter sur place. Pour cette raison, on parle de plus en plus de «réseaux éco-industriels», dont les parcs représentent un cas particulier. L'idée des parcs (ou réseaux) éco-industriels se distingue des traditionnelles pratiques d'échanges de déchets, car elle vise une valorisation systématique de l'ensemble des ressources dans une région donnée, et ne se contente pas simplement de recycler des déchets au coup par coup.

En quelques mois, à partir de 1993, on a assisté à une floraison de projets de parcs éco-industriels, principalement aux Etats-Unis. D'autres projets ont vu le jour à la même époque au Canada (Halifax), en Hollande (port de Rotterdam), et en Autriche (Graz). Depuis la fin des années 1990, l'idée de parc éco-industriel rencontre un intérêt particulièrement vif dans plusieurs pays d'Asie (Thaïlande, Philippines, Chine, etc.), où l'écologie industrielle est clairement perçue comme une stratégie permettant d'accroître leur compétitivité économique.

Les réseaux éco-industriels ne vont pas surgir et devenir opérationnels du jour au lendemain, mais l'idée fait son chemin. En France, par exemple, des entreprises comme Gaz de France (qui a co-financé en 1999/2000 la première étude du genre en France, avec la municipalité de Grande Synthe, sur une zone industrielle près de Dunkerque), Electricité de France, Veolia (ex-Vivendi), Suez Lyonnaise, commencent à s'intéresser de près à l'écologie industrielle (note 5).

Electricité de France, en particulier, a mis sur pied dès l'été 2000 un programme d'écologie industrielle avec deux objectifs:

1. améliorer le fonctionnement de leurs centrales existantes, et surtout

b) construire une base de données permettant de détecter de nouvelles synergies possibles entre différentes activités économiques, notamment celles susceptibles d'utiliser de l'électricité.

Le but est de proposer aux clients un nouveau service à forte valeur ajoutée: la détection et la mise en œuvre de synergies, permettant un meilleur usage des ressources. EDF teste actuellement ce nouvel outil, notamment à Troyes, autour de quelques entreprises actives dans l'agro-alimentaire (distillerie, boucherie, betterave, notamment).

La raison de l'intérêt de grands groupes comme EDF, Suez, Veolia (ex-Vivendi) se comprend aisément: ces grandes entreprises fournissent déjà l'eau, l'énergie, et offrent des services de nature environnementale (traitement de déchets, etc.). L'étape suivante, en bonne logique, consistera à proposer aux entreprises et aux collectivités locales des services intégrés («multi-services, multi-énergies», selon le slogan actuellement en vigueur chez EDF): un seul opérateur pour fournir, traiter et gérer de manière optimale, à l'échelle d'une zone industrielle ou d'une ville, l'ensemble des flux de matière et d'énergie. Or, cette optimisation peut se faire précisément par le biais de réseaux éco-industriels. Dans un contexte de libéralisation des marchés, les fournisseurs d'énergie, notamment, y voient une manière de fidéliser la clientèle et d'assurer ainsi leur survie, tout en ménageant l'environnement.

## Les biocénoses industrielles



Une idée voisine des parcs éco-industriels est celle de «biocénoses industrielles». En biologie, le concept de biocénose se réfère au fait que, dans les écosystèmes, les différentes espèces d'organismes se rencontrent toujours selon des associations caractéristiques. On peut étendre ce concept aux complexes industriels en cherchant à déterminer les «bonnes» associations, les meilleurs panachages, d'activités industrielles. Par exemple, au lieu d'implanter isolément une unité de production de sucre de betterave, on devrait, dès le départ, songer à réaliser un complexe intégré visant à utiliser de manière optimale tous les flux de matière et d'énergie liés à l'exploitation de la betterave, notamment pour la production de biocarburant. On peut ainsi envisager des complexes «pulpe-papier», «engrais-ciments», «aciéries-engrais-cimenteries», etc. (note 6). Comme dans les écosystèmes naturels, il existe des «espèces clés» dans les biocénoses industrielles. Les centrales thermiques constituent à l'évidence l'une des principales «espèces». Il est possible d'envisager toute une série de complexes éco-industriels autour des centrales thermiques, notamment en raison de la quantité considérable d'énergie gaspillée. D'où l'intérêt croissant dans nos pays pour les unités de co-génération, qui permettent la production simultanée de chaleur et d'électricité, par exemple à base de produits issus de la biomasse.

### Enjeux pour la planification et l'usage du territoire

Pour les collectivités locales, l'enjeu concerne également le développement économique : la valorisation de l'ensemble des flux de matière et d'énergie sur

un territoire donné peut amener de nouvelles entreprises à venir s'installer pour traiter ou tirer profit de ressources jusqu'alors inutilisées (chaleur perdue, sous-produits divers, etc.). Dans cette optique, il est probable que les études de métabolisme régional vont connaître un intérêt croissant, car elles permettent non seulement d'optimiser l'usage des ressources existantes dans une région donnée, mais également de détecter des ressources non- ou sous-utilisées, qui pourraient devenir la source de nouvelles activités économiques. Autrement dit, l'approche du métabolisme régional (dans une perspective d'écologie industrielle) pourrait devenir un outil crucial pour planifier le développement régional (mais également local et national), et donc gérer le territoire à différentes échelles (note 7).

### Les quatre axes de l'éco-restructuration

**D'une manière générale, l'enjeu consiste à restructurer en profondeur le système industriel, ce que l'on nomme parfois «l'éco-restructuration», pour tenter de le faire évoluer vers un mode de fonctionnement viable à long terme, compatible avec la Biosphère. Concrètement, dans l'optique de l'écologie industrielle, il s'agit de relever un quadruple défi:**

#### 1. Valoriser systématiquement les déchets :

A l'image des chaînes alimentaires dans les écosystèmes naturels, il faut créer des réseaux d'utilisation des ressources et des déchets dans les écosystèmes industriels, de sorte que tout résidu devienne une ressource pour une autre entreprise ou un autre agent économique (par exemple par le biais de réseaux éco-industriels). Le recyclage, au sens courant du terme, ne constitue donc qu'un

aspect de cette stratégie de valorisation en cascade des flux de matière.

## 2. Minimiser les pertes par dissipation:

Aujourd'hui, dans les pays industrialisés, la consommation et l'utilisation pollue souvent plus que la fabrication. Les engrais, les pesticides, les pneus, les vernis, les peintures, les solvants, etc., sont autant de produits totalement ou partiellement dissipés dans l'environnement lors de leur usage normal. Il s'agit de concevoir de nouveaux produits et de nouveaux services minimisant ou rendant inoffensive cette dissipation.

## 3. Dématérialiser l'économie:

Il s'agit de minimiser les flux totaux de matière (et d'énergie) tout en assurant des services au moins équivalents. Le progrès technique permet d'obtenir plus de services avec une quantité moindre de matière, notamment en fabricant des objets plus légers.

Plus généralement, l'une des meilleures manières de dématérialiser l'économie consiste à optimiser l'utilisation, autrement dit à vendre l'usage au lieu de l'objet (par exemple, un fabricant de photocopieurs qui vend le service «photopies» au lieu de la machine, a ainsi tout intérêt à ce que son photocopieur, dont il reste propriétaire, nécessite le moins de matière possible, ait une durée de vie fonctionnelle la plus longue possible, soit aisément recyclable, etc.). On appelle cette nouvelle approche «l'économie de fonctionnalité» (note 8).

## 4. Décarboniser l'énergie:

Depuis les débuts de la Révolution industrielle, le carbone sous forme d'hydrocarbures d'origine fossile

(charbon, pétrole, gaz) représente l'élément principal, la substance vitale irriguant toutes les économies industrielles. Or ce carbone fossile se trouve à la source de nombreux problèmes: intensification de l'effet de serre, smog, marées noires, pluies acides. Il faut donc rendre la consommation d'hydrocarbures moins dommageable (par exemple en récupérant le gaz carbonique issu de la combustion) et favoriser la transition vers une diète énergétique moins riche en carbone fossile (énergies renouvelables, économies d'énergie). En termes abstraits, il s'agit de séparer la fonction «énergie» de son substrat «carbone fossile» (note 9).

## L'évolution du système industriel



La notion d'écosystème industriel est une analogie qu'il convient de ne pas prendre au pied de la lettre. Néanmoins, cette analogie mériterait d'être explorée en détail, sur la base du savoir considérable accumulé depuis une cinquantaine d'années concernant le fonctionnement des écosystèmes naturels. Sur le plan théorique, les premiers jalons ont certes été posés, mais presque tout reste à faire pour analyser sérieusement la validité et les implications du concept d'écosystème appliqué au système industriel dans son ensemble (note 10).

Les connaissances sur l'évolution de la vie sur Terre offrent ainsi des perspectives intéressantes pour réfléchir sur l'évolution du système industriel, qui résulte, tout comme la Biosphère, d'une



longue histoire évolutive. Au début de la vie, les ressources potentielles étaient si vastes, et la quantité d'organismes si minime que leur présence exerçait un impact tout à fait négligeable sur les ressources disponibles. On peut décrire cette situation comme étant un processus linéaire, dans lequel les flux de matière sont indépendants les uns des autres. Les ressources apparaissent illimitées, et les déchets peuvent aussi être produits de manière illimitée. La vie a pu assurer les conditions de son développement à long terme, un processus dont la société industrielle pourrait s'inspirer, grâce à une longue succession d'«inventions»: fermentation anaérobie, puis aérobique, puis photosynthèse

L'analogie entre les premières étapes de la vie sur Terre et le fonctionnement de l'économie moderne est frappante: en fait, le système industriel actuel est moins un véritable «système» qu'une collection de flux linéaires qui s'ignorent entre eux. Ce fonctionnement, consistant simplement à extraire des ressources et à rejeter des déchets, se trouve à la source de nos problèmes environnementaux.

Pour devenir vraiment viables, les écosystèmes biologiques ont évolué jusqu'à devenir presque entièrement cycliques. Dans ce cas, il devient impossible de distinguer entre les ressources et les déchets, car les déchets d'un organisme constituent une ressource pour un autre organisme. Seule l'énergie solaire constitue un apport extérieur. Au sein d'un tel système, les nombreux cycles, interconnectés entre eux et auto-entretenus par l'énergie solaire, fonctionnent sur des échelles temporelles et spatiales

très variées. Idéalement, la société industrielle (y compris les matières infrastructures et l'agriculture) devrait s'approcher autant que possible d'un écosystème de ce type.

On le voit, l'écologie industrielle s'intéresse à l'évolution du système industriel dans sa globalité et à long terme. En tant que domaine explicitement constitué, l'écologie industrielle est jeune, à peine une dizaine d'années. Bien que l'idée en elle-même ne soit pas nouvelle, on peut dire que l'on assiste actuellement à la naissance d'un nouveau champ scientifique et technique, à la confluence de l'ingénierie, de l'écologie, de la bioéconomie et de nombreuses autres disciplines. Malgré sa jeunesse, l'écologie industrielle jouit déjà d'une reconnaissance académique certaine, comme en témoigne le lancement, au printemps 1997, du *Journal of Industrial Ecology* (MIT Press), la première revue scientifique consacrée à ce domaine en plein développement, ainsi que la création, début 2001, de l'*International Society for Industrial Ecology* (note 11). Le monde de l'économie n'est pas en reste : des entreprises comme AT&T, General Motors, Xerox, Dow, EDF, Gaz de France, parmi d'autres, intègrent désormais l'écologie industrielle dans leur réflexion stratégique.

Cette convergence d'intérêt entre les cercles académiques et les milieux d'affaires (suffisamment rare en ce domaine pour mériter d'être relevée), résulte sans doute du double projet de l'écologie industrielle, qui vise à mener de front une approche à la fois rigoureuse sur le plan théorique (l'écologie scientifique) et opérationnelle (en préconisant des actions concrètes, économiquement

viables). Les problèmes d'environnement ne constituent donc qu'un aspect, parmi d'autres, de l'écologie industrielle, qui oeuvre pour l'avènement d'un système industriel plus élégant, c'est-à-dire capable de générer plus de richesses et de bien-être avec moins d'impacts sur la Biosphère (note 12).

## Notes et références bibliographiques

(note 1)

Robert A. Frosch et Nicholas E. Gallopoulos: «Des stratégies industrielles viables», Pour La Science, N° 145, Novembre 1989, pp. 106-115.

(note 2)

Sur le métabolisme industriel, voir:

- Robert U. Ayres and Udo E. Simonis (eds.): Industrial Metabolism. Restructuring for Sustainable Development. Tokyo, New York, United Nations University Press, 1994.
- Peter Baccini and Paul Brunner: Metabolism of the Anthroposphere. Springer Verlag, Berlin, 1991.
- Adriaanse A. et al.: Resource Flows: The Material Basis of Industrial Economies. Washington, DC, World Resources Institute, 1997.
- Emily Matthews et al.: The Weight of Nations. Material Outflows from Industrial Economies. Washington, DC, World Resources Institute, 2000.
- Sur les études de flux de matière, le principal centre de recherche en Europe est l'Institut Wuppertal, près de Bonn. Site web: <http://www.wupperinst.org/>  
L'Institut Wuppertal héberge également le site web de ConAccount, le réseau européen pour les études de flux de : <http://www.conaccount.net>

(note 3)

John Ehrenfeld and Nicholas Gertler :

- Industrial Ecology in practice: The Evolution of Interdependence at Kalundborg. Journal of Industrial Ecology , Vol. 1, No. 1, 1997, pp. 67-79.
- On peut également consulter le site web de l'Institut de la Symbiose: <http://www.symbiosis.dk>

(note 4)

Sur les parcs et réseaux éco-industriels, voir :

- Raymond P. Côté & al.: Designing and Operating Industrial Parks as Ecosystems. Report of the project «The Industrial Park as an Ecosystem», Dalhousie University, School for Resource and Environmental Studies, August 1994.
- Voir les sites web : <http://www.mgmt.dal.ca/sres/research/Ecogroup.htm> et [www.dal.ca/eco-burnside](http://www.dal.ca/eco-burnside)

(note 5)

Suren Erkman et Jean-Claude Ray : Ecologie industrielle à Grande-Synthe. Première expérience française : pré-étude sur la zone industrielle des Deux-Synthe.

Ville de Grande-Synthe, Mission pour un Développement durable, Rapport final, Mai 2000. (Mairie de Grande-Synthe, BP 149, 59760 Grande-Synthe. Contact : M. Daniel Truy, Tél. : 03 28 62 77 82)

(note 6)

Nelson L. Nemerow : Zero Pollution for Industry. Waste Minimization Trough Industrial Complexes. New York, John Wiley & Sons, 1995.

(note 7)

Paul H. Brunner and Peter Baccini : Regional Material Management and Environmental Protection. Waste Management & Research, Vol. 10, pp. 203-212, 1992.

(note 8)

Robert Herman, Siamak A. Ardekani, and Jesse H. Ausubel: Dematerialization. In : Jesse H. Ausubel and Hedy E. Sladovich (eds.) : Technology and Environment. Washington, D.C., National Academy Press, 1989, pp. 50-69.

(note 9)

Nebojsa Nakicenovic : Freeing Energy from Carbon. In : Jesse H. Ausubel and H. Dale Langford (eds.) : Technological Trajectories and the Human Environment. Washington, D.C., National Academy Press, 1997, pp. 74-88.

(note 10)

Braden R. Allenby and William E. Cooper : Understanding Industrial Ecology from a Biological Systems Perspective, Total Quality Environmental Management , Vol. 3, No. 3, Spring 1994, pp. 343-354.

Thomas E. Graede I: On the Concept of Industrial Ecology. Palo Alto, CA, Annual Review of Energy and the Environment , Vol. 21, pp. 69-98, 1996.

(note 11)

Journal of Industrial Ecology, MIT Press ( <http://mitpress.mit.edu/JIE>).  
International Society for Industrial Ecolog : <http://www.is4ie.org/>

(note 12)

Pour une synthèse détaillée, voir : Suren Erkman: Vers une écologie industrielle. Paris, Editions Charles Léopold Mayer, 1998 (2 e édition, 2004).