

L'écologie industrielle : une approche écosystémique pour le développement durable

Par Carole TRANCHANT
École des sciences des aliments, de nutrition et d'études familiales
Université de Moncton (Canada - Nouveau-Brunswick)
tranchc@UMoncton.CA

Par L. VASSEUR
Titulaire de la Chaire K.C. Irving en développement durable
Université de Moncton (Canada - Nouveau-Brunswick)

Par I. OUATTARA
Département de philosophie
Université de Moncton (Canada - Nouveau-Brunswick)

Par J.-P. VANDERLINDEN
Département d'histoire et de géographie
Université de Moncton (Canada - Nouveau-Brunswick)

L'écologie industrielle (EI) appréhende les activités industrielles comme des écosystèmes particuliers, caractérisés par des flux de matière, d'énergie et d'information. En s'inspirant des connaissances sur le fonctionnement des écosystèmes, l'EI vise à réorganiser le système industriel pour le faire évoluer vers un fonctionnement compatible avec la biosphère et viable à long terme. L'EI se veut donc une étape dans la démarche vers le développement durable. Cette discipline émergente fournit un cadre conceptuel et des outils pour planifier le développement économique, au niveau régional en particulier, et propose des moyens pour mieux utiliser les ressources limitées et atténuer l'impact des activités humaines sur l'environnement. La vision systémique intégrée de L'EI et certains de ses outils sont pertinents pour le développement durable des pays les moins avancés.

Introduction

Pour créer les conditions d'un développement durable, il est indispensable de prendre en compte la sphère industrielle qui constitue une partie intégrante de la biosphère du XXI^e siècle. Le qualificatif « industriel » renvoie ici aux activités humaines ayant pour objet l'exploitation de matières premières, de sources d'énergie et leur transformation en biens de production et de consommation. Or, le système industriel actuel (l'ensemble des activités industrielles, y compris l'agriculture, le transport, le logement, les services médicaux, le tourisme et la restauration) pose une double problématique : au niveau des intrants (ressources naturelles limitées) et au niveau des extrants (production importante de déchets). Plusieurs caractéristiques de ce système contrastent singulièrement avec celles des systèmes écologiques naturels ou écosystèmes :

- l'énergie solaire (illimitée à l'échelle de temps humaine) est le moteur des écosystèmes ;
- une fraction importante du flux énergétique y est utilisée par les processus de décomposition qui permettent de rendre les éléments nutritifs disponibles ;
- il y a peu de gaspillage, c'est-à-dire peu de matières ne pouvant être recyclées ou absorbées de façon constructive ;
- les substances toxiques concentrées sont générées et utilisées localement ;
- chaque individu d'une espèce d'un écosystème peut agir indépendamment mais ses activités sont en interaction avec celles des autres espèces (interdépendance) ;
- les écosystèmes sont résilients et souvent résistants, et relativement stables grâce à la diversité des espèces qui sont organisées en réseaux complexes d'interrelations, incluant des relations de coopération et de compétition ;
- les relations sont entretenues par des processus autorégulés et non par des processus contrôlés par des niveaux supérieurs.

Plusieurs chercheurs considèrent donc que le système industriel actuel est immature ou primitif dans sa relation avec la nature. Ce système doit être mené à maturité pour le rendre compatible avec le fonctionnement « normal » des écosystèmes naturels (Erkman, 1997 ; Pizzacaro, 1998). Il s'agit de trouver des façons plus efficaces d'utiliser les ressources de la planète, notamment en transformant les activités industrielles en processus cycliques (« *closed loops* ») pour en diminuer au maximum les déchets. C'est ce que préconise l'écologie industrielle (EI), champ d'étude émergent¹ dont nous synthétisons ici les principales caractéristiques, méthodes et premières réalisations, et le potentiel comme stratégie de développement durable. Nous soulignerons les enjeux économiques, politiques, législatifs et sociaux de cette approche, et ses liens de complémentarité avec d'autres approches du développement durable comme l'économie écologique et l'éducation environnementale.

1. Principales caractéristiques de l'écologie industrielle

L'hypothèse fondatrice de l'EI est qu'il est opérationnel d'envisager le système industriel comme un cas particulier d'écosystème (Frosch et Gallopoulos, 1989). En effet, le système industriel peut être décrit comme une configuration particulière de flux et de stocks de matière, d'énergie et d'information. De plus, le système industriel tout entier repose sur les ressources et services fournis par la biosphère, dont il constitue un sous-système. Soulignons qu'il existe un large spectre d'écosystèmes industriels en interaction plus ou moins directe avec la biosphère, depuis certains écosystèmes agricoles, presque « naturels », jusqu'aux écosystèmes les plus artificiels comme les vaisseaux spatiaux (Erkman, 1998).

Le concept d'EI repose sur trois idées principales (Erkman et al., 2001) :

- Une vision d'ensemble, systémique et intégrée, de toutes les composantes du système économique industriel et de leurs relations avec la biosphère est nécessaire.
- Le substrat biophysique du système industriel, c'est-à-dire, la totalité des flux et stocks de matières et d'énergie liés aux activités humaines, constitue le champ d'étude de l'EI. Cette façon de considérer l'économie générale du système industriel se distingue des approches courantes qui l'appréhendent en termes d'unités monétaires abstraites ;
- Une dynamique technologique intégrative constitue un facteur crucial - mais non exclusif - pour favoriser l'évolution du système industriel actuel vers un système viable, i.e., un écosystème industriel inspiré par le fonctionnement de la biosphère.

L'EI cherche donc, en prenant les écosystèmes naturels comme modèles, à déterminer les transformations susceptibles de rendre le système industriel compatible avec le fonctionnement des écosystèmes planétaires (Allenby et Cooper, 1994 ; Ayres et Ayres, 1996 ; Graetel, 1996). Pour cela, l'étude du *métabolisme industriel*, c'est-à-dire de l'ensemble des composantes biophysiques du système industriel, est un préalable indispensable. Cette démarche essentiellement analytique et descriptive (application des principes de bilan de matière et d'énergie) 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 dans les processus bio-géochimiques (Ayres et Simonis, 1994 ; Agence environnementale européenne, 2000).

La perspective de l'EI correspond à un changement de paradigme puisque la nature est utilisée comme un modèle dont on imite les cycles et les écosystèmes, et non comme un simple « fournisseur » de ressources ou une limite biophysique (Isenmann, 2003). On comprend mieux l'originalité de l'EI en la comparant à l'approche conventionnelle qui sépare le monde de l'industrie de la biosphère et qui traite les impacts des activités humaines selon l'approche « end of pipe ». Dans l'approche conventionnelle (qui est insuffisante pour pallier les problèmes environnementaux et coûteuse à long terme), les pollutions sont traitées de façon cloisonnée et linéaire, en bout de chaîne, par des dispositifs techniques appropriés. Les idées de cycle et d'interdépendance sont négligées.

¹ L'EI s'est constituée à la même époque que le Sommet de Rio, à l'intersection de l'ingénierie, de l'écologie et du droit environnemental, de la gestion des ressources et de la bioéconomie. Elle s'est dotée d'une première revue scientifique spécialisée, le *Journal of Industrial Ecology* (MIT Press) en 1997, puis d'une société savante, l'*International Society for Industrial Ecology*, en 2001. Une seconde revue spécialisée a vu le jour en 2004, *Progress in Industrial Ecology - An International Journal* (Inderscience).

L'exemple historique de la symbiose industrielle de Kalundborg au Danemark a permis de montrer le caractère opérationnel de l'EI. Depuis les années 60, les principales entreprises de Kalundborg se sont rapprochées en commençant à échanger leurs déchets respectifs : eau, vapeur d'eau et autres sous-produits. Ce mode particulier d'organisation industrielle, baptisé *symbiose industrielle*, a résulté d'un processus spontané et graduel qui s'est mis en place sur la base commerciale classique des intérêts bien compris et par le jeu de négociations séparées et confidentielles. Les échanges ont toujours obéi aux lois du marché (vente directe ou échanges de bons procédés). Kalundborg est le prototype du concept de *parc ou réseau éco-industriel*, apparu au début des années 90 et basé sur l'idée que la coopération est plus importante que la compétition comme moteur d'évolution et d'innovation (Ehrenfeld et Gertler, 1997 ; Côté, 2001 ; Indigo Development, 2003). Le succès de ce type de partenariat croisé repose sur la confiance, la coopération, la proximité et la complémentarité des entreprises associées.

Cet exemple montre bien que l'EI est une discipline intégrative qui privilégie les relations entre systèmes, comme le fait l'écologie des paysages (on pourrait considérer l'EI comme l'écologie des paysages industriels). Allenby (1998) a souligné les liens qui existent entre l'EI d'une part, et les systèmes naturels, les systèmes technologiques, et les systèmes socioéconomiques et culturels d'autre part, ainsi que les rétroactions avec ce qui constitue la matrice du développement durable.

Mais l'EI ne se réduit pas à une meilleure gestion des déchets. Elle vise aussi à modifier les modes de production et de consommation, en diminuant la quantité de matière et d'énergie utilisée dans les processus industriels (dématérialisation et décarbonisation de la production), et en intégrant, dès la conception des produits, l'objectif de maîtrise des déchets et la réutilisation de leurs composants (principe de l'éco-conception). Certains auteurs vont plus loin et estiment que l'EI nécessite une modification radicale de la pensée économique : à la valeur d'échange, il faudrait substituer la valeur d'utilisation. Cette stratégie se fonde sur la fiabilité, l'entretien, la maintenance et l'adaptation technologique des produits : on ne remplacerait plus un produit, on l'adapterait. Une autre stratégie est de cesser de concevoir les produits comme des objets (biens matériels) pour les considérer comme des services (immatériels) (McDonough et Braungart, 2002 ; Thomas et al., 2003).

La mise en œuvre de l'EI – ou éco-restructuration – comprend quatre étapes principales : 1) optimiser l'usage des ressources, 2) fermer les cycles de matière et minimiser les émissions vers l'extérieur (émissions toxiques, en particulier), 3) dématérialiser les activités, i.e., minimiser la quantité totale de ressources nécessaires pour un résultat donné², et 4) réduire la dépendance par rapport aux sources d'énergie non renouvelables.

Les méthodes et outils associés à l'EI incluent l'analyse de cycle de vie (ACV) (approche soutenue par le PNUE et la SETAC suite au Sommet de Johannesburg), l'éco-conception (*Design for Environment* ou DFE), l'analyse des flux de matière (AFM) et l'Input-Output. DFE, ACV et P2 (prévention de la pollution) correspondent à une application de l'EI à l'échelle « micro » (échelle du produit ou du service). Les symbioses industrielles et les tableaux physiques Input-Output (TPIO) correspondent à l'échelle « méso » (régionale) de l'EI. Les TPIO sont aussi utilisés à l'échelle « macro » (nationale et globale).

2. Aspects économiques, politiques, législatifs, sociaux et culturels de l'EI

L'éco-restructuration industrielle ne touche pas seulement la question du design technique et environnemental, elle exige de tenir compte des dimensions économiques, politiques, sociales et culturelles qui déterminent le cadre structurel, les modalités et la dynamique du fonctionnement industriel.

La dimension économique de l'EI est essentielle parce que la plupart des choix liés à la restructuration du dispositif industriel comportent des coûts élevés, qui doivent être pris en compte dans une politique économique générale afin d'inciter les entreprises, les régions et les individus à prendre la voie de l'éco-industrialisation. Pour qu'une telle politique soit en phase avec les principes de viabilité, l'EI doit interagir avec l'économie écologique et la comptabilité environnementale. Il faut en effet développer un cadre théorique rigoureux qui établisse la nécessité du point de vue économique de tenir compte des effets de l'activité économique sur l'environnement, i.e., faire une évaluation plus complète de la durabilité de la

² Il est probable que les nouvelles technologies de l'information et de la communication auront un impact sur la dématérialisation et les flux de matière mais celui-ci n'est pas encore connu.

croissance qui inclut les actifs naturels non marchands et les pertes de revenu qui résultent de l'épuisement et de la dégradation du capital naturel (Bartelmus, 1999 ; PNUE, 2001). A la différence du système d'évaluation actuel, qui mesure la croissance d'après l'activité du marché et qui omet donc d'appliquer aux actifs naturels l'ajustement destiné à tenir compte de la dépréciation, les avancées récentes en économie environnementale ont permis non seulement d'améliorer les outils et les indicateurs classiques, mais aussi d'amorcer une transformation importante du cadre conceptuel et méthodologique de l'économie du bien-être (Duchin, 1991, 1996, 1998 ; Suh et Huppes, 2000 ; Haberl, 2001 ; Duchin et Hertwich, 2003 ; Gowdy, 2003). Grâce aux nouveaux concepts et outils développés (e.g., métabolisme sociétal, éco-produit intérieur net ou EPI, TIOP, AFM, AFE, ACV), le système intégré de comptabilité environnementale économique (SEEA) fournit les informations requises pour améliorer les politiques économiques selon les grandes lignes suivantes : 1) évaluation des performances économiques, 2) réforme des politiques économiques et 3) évaluation des effets de l'action des pouvoirs publics. La SEEA influence aussi l'élaboration des politiques environnementales (via les comptes environnementaux), en permettant l'identification des priorités environnementales et des points soumis à des pressions. Elle permet aussi d'évaluer les effets de l'action des pouvoirs publics et de développer des initiatives facilitant la gestion environnementale au niveau international (PNUE, 2001).

Au plan légal et politique, l'EI a le mérite de contribuer à la mise au point d'outils d'analyse et de planification précis (via l'économie écologique) qui aident les gouvernements à prendre des décisions fondées non plus sur des options idéologiques ou politiques, mais sur des données scientifiques et des objectifs en lien direct avec le cadre de la stratégie mondiale de développement durable. Ceci permet une plus grande rigueur dans la pratique législative et une meilleure cohérence des politiques gouvernementales à l'échelle mondiale. En complétant les instruments traditionnels de planification publique³, les outils de l'EI permettent de concevoir des normes et des règlements spécifiques, fondés sur une connaissance des flux réels de matière, d'énergie et d'émission, i.e., sur une connaissance précise des risques, enjeux et défis de la gestion durable des ressources (Bringezu et Moriguichi, 2002 ; Thomas et al., 2003). On peut ainsi procéder d'une manière systématique, holiste et prospective pour : 1) catalyser le développement durable en développant des systèmes d'information et des réseaux d'échanges, 2) promouvoir des synergies en finançant la création de réseaux d'entreprises, la recherche et le développement, 3) sensibiliser et former les acteurs économiques et sociaux et promouvoir les programmes d'éco-restructuration aux niveaux municipal et gouvernemental, 4) supprimer les barrières légales, institutionnelles, financières et fiscales, 5) définir de nouvelles politiques de conservation, de gestion des ressources naturelles et des terres, de réduction des émissions, de transport, d'utilisation de l'énergie et de substitution des matières rares ou en voie d'épuisement (PNUE, 2001 ; Wall, 2002).

La dimension sociale et culturelle, souvent négligée, est essentielle également puisque l'activité industrielle prend naissance et s'insère toujours dans un contexte socioculturel qui l'informe. La mise en œuvre de l'EI suppose donc l'élaboration de politiques de promotion fondées sur l'éducation, la formation et la sensibilisation du public pour donner naissance à des valeurs, normes et règles culturelles, sociales et politiques menant au développement d'une conscience citoyenne capable de transformer durablement les habitudes de production et de consommation (Goodwin, 2003). Au problème de production et de reproduction des valeurs culturelles via une éducation appropriée, il faut ajouter la question de l'éthique sociale, et notamment la nécessité de prendre en compte les exigences d'équité sociale⁴, puisqu'en l'absence d'une redistribution équitable des richesses produites (et d'une répartition équitable des contraintes et des coûts), l'objectif de durabilité ne pourra être atteint. Cette exigence d'équité (intra- et inter-générationnelle), essentielle au développement durable, est prise en compte par l'EI par le biais de l'économie écologique mais les développements actuels restent modestes étant donné les problèmes pratiques et les passions que soulève cette question (Hartwick, 1977 ; Chambers, 1992 ; Ackerman et al., 2000 ; Goodwin, 2003).

³ Exemples : système de comptabilité nationale (SNC), PIB, PNB, tableaux entrées-sorties (TES), tableaux économique d'ensemble (TEE), tableaux d'échanges inter-industriels (TEI), analyse entrées-sorties (AES).

⁴ En effet, si l'intérêt bien compris peut modifier les comportements individuels, il ne peut stabiliser ce changement. Il faut pour cela que l'engagement politique et le volontarisme éthique viennent renforcer l'intérêt. Or, un tel volontarisme normatif est plus difficile à obtenir lorsque les considérations portent sur l'avenir ou lorsque les personnes concernées n'ont pas les moyens d'une vie décente (Goodwin, 2003).

3. Critiques, contraintes et développements requis pour promouvoir et appliquer l'EI

Les critiques de l'EI concernent son statut et sa valeur épistémologique, et sa capacité à mener au développement durable. Certains considèrent que l'idée d'utiliser la nature comme modèle pour réorganiser le système industriel n'est pas assez précise et structurée et devrait être clarifiée afin de renforcer le profil scientifique de l'EI et la valeur heuristique et épistémologique de ce paradigme (Boons et Roome, 2001 ; Isenmann, 2003).

Bien que plusieurs projets soient en cours (y compris plusieurs parcs éco-industriels en opération), les données permettant de montrer que l'EI peut mener à la viabilité font défaut. La notion même de développement durable est de plus en plus contestée puisqu'il est possible que le développement, tel que défini par la croissance, ne soit pas compatible avec l'idéal de viabilité. Plusieurs critiques soulignent que l'EI ne réduit pas nécessairement les flux de matière, e.g., à cause de l'*effet rebond* (ce concept exprime le constat que l'amélioration des procédés industriels en termes d'efficacité écologique se traduit, paradoxalement, par une augmentation de la consommation matérielle parce que la baisse du prix de revient dégage un revenu supplémentaire disponible pour de nouvelles consommations). Dans le même ordre d'idées, on peut reprocher à l'EI de participer de la même logique industrielle qui est à l'origine de la crise environnementale et sociale actuelle, c'est-à-dire que, loin d'inciter à la réduction de la production et de la consommation, l'EI conduirait au contraire à renforcer le cadre de valeurs problématiques du système industriel. Ces critiques font une autre interprétation de l'EI : dénaturation de l'écologie d'une part, et instrument d'une nouvelle mutation du capitalisme d'autre part⁵. Pour plusieurs auteurs, la décroissance matérielle devra nécessairement passer par une croissance relationnelle sociale et spirituelle, incluant une distribution différente des préférences de consommation, i.e., des choix portant davantage sur des biens immatériels basés sur les relations humaines que sur des biens matériels.

L'EI pourrait aussi engendrer une dépendance envers les déchets ou sous-produits. Ceci pourrait s'avérer particulièrement dangereux si des barrières analogues aux barrières entre espèces ne sont pas développées pour éviter le recyclage et la propagation de composants indésirables. L'EI pourrait aussi rigidifier les infrastructures et le fonctionnement industriels, étouffer l'innovation et encourager la dépendance envers les combustibles fossiles (à moins que les émissions gazeuses puissent être comptabilisées). Ces craintes ne pourront être dissipées que lorsque les données manquantes auront été réunies et que les coûts véritables de l'EI auront été déterminés, ce qui suppose le développement de méthodes de mesure adéquates. Il faudra également que les réglementations soient élaborées d'un point de vue réellement systémique et que la société dans son ensemble adopte un mode de fonctionnement véritablement écologique.

Un facteur important qui limite l'adoption de l'EI est sa vision à long terme, les acteurs économiques et sociaux étant principalement motivés par des résultats à court terme (Christesen et al., 1999). Aussi, l'approche multisystémique qui caractérise l'EI pousse à une forte interdisciplinarité qui n'est facilitée ni par la culture scientifique actuelle, ni par l'organisation des structures institutionnelles et économiques qui demeurent très sectorialisées et compartimentées. Les développements requis pour promouvoir et appliquer les idées de l'EI concernent : 1) les mécanismes de mise en œuvre de l'EI (notamment via les quatre étapes de l'éco-restructuration), 2) la recherche, 3) l'éducation - aux niveaux universitaire et pré-universitaire, 4) la communication (information et formation), 5) le cadre politique et réglementaire, et 6) l'économie et les finances (Erkman et al., 2001 ; Thomas et al., 2003). Le besoin d'une meilleure intégration entre l'EI et l'éducation environnementale a été souligné par Filho (2002). Cette analyse abonde dans le sens de la nécessité d'une plus grande interdisciplinarité (alliance des disciplines génie industriel, biologie, écologie, géographie, économie, administration et politique, entres autres). Un concept intéressant, celui de *BioSoMa* (Biologie, Société et Machines), a été développé par Bugliarello (2001) pour inciter les jeunes à penser en termes d'interactions et d'intégration des dimensions biologiques, socioéconomiques et techniques.

⁵ Dans un marché mondial compétitif où les seules sources possibles de profit proviennent de l'optimisation des procédés de production, soit par la réduction des pertes (en leur trouvant d'autres débouchés), des coûts (e.g., dépenses énergétiques) ou des externalités (moins de pollution donc moins de taxes), les principes de l'EI deviennent une des « recettes » du succès économique. Ainsi, loin de correspondre à un nouveau référentiel, l'approche proposée est en fait une nécessité et constitue une nouvelle mutation du capitalisme.

4. Application des idées de l'écologie industrielle dans les pays en développement

La pertinence des idées et surtout des outils de l'EI pour les pays en développement est un sujet de débat, notamment en ce qui concerne leur perception et leur potentiel d'adoption par les acteurs locaux (Saur et al., 2003). On s'accorde cependant pour dire que la mise en œuvre d'une approche systémique intégrée, telle que celle de l'EI, est indispensable pour créer des conditions de production et de consommation viables dans les pays en développement qui doivent aussi tirer le meilleur parti de ressources naturelles limitées et vulnérables (Erkman et Ramaswamy, 2001 ; Saur et al., 2003 ; Kituyi, 2004 ; PNUE, 2004). Les principes de l'EI peuvent aussi renforcer les stratégies de planification du développement économique, notamment au niveau régional (Burström et Korhonen, 2001 ; Erkman et Ramaswamy, 2001), ce qui s'intègre bien aux stratégies de développement basées sur des approches par région - ou par terroir - privilégiées dans certains pays.

Plusieurs auteurs ont recommandé que l'ACV, constituant majeur de la gestion du cycle de vie (GCV) des produits et services, soit intégrée aux programmes de développement national des pays du Sud et qu'elle soit utilisée pour élaborer les réglementations environnementales de ces pays, même si la GCV et les dispositifs qui s'y rattachent ne sont pas mis en œuvre dans leur totalité (Saur et al., 2003 ; Kituyi, 2004 ; PNUE, 2004). Les impacts ont toutes les chances d'être tangibles et bénéfiques si cette approche s'intègre dans des programmes de développement qui ciblent des domaines clés de l'économie tels que l'énergie, l'agriculture, la production alimentaire, la gestion des déchets solides et les mines. Les activités économiques « informelles » qui occupent une place importante dans les pays en développement doivent aussi être prises en compte, ce qui nécessite des approches et des outils spécifiques (Erkman et Ramaswamy, 2001).

Plusieurs initiatives et publications récentes soulignent les besoins et les possibilités d'application des concepts inhérents à l'EI (e.g., ACV) dans le contexte des pays africains, ainsi que les principaux facteurs qui en limitent l'utilisation (Saur et al., 2003 ; Kituyi, 2003, 2004 ; PNUE, 2004). Le manque de sensibilisation, de personnel qualifié (industries et gouvernements en particulier), de données de base et de collaboration entre les rares experts locaux dans le domaine sont des obstacles importants. La formation des principaux intervenants, le leadership institutionnel, la recherche pour générer les données nécessaires et développer des outils adaptés, la création de réseaux de collaborations et d'échange d'informations et de données, et le commerce avec des pays qui utilisent les principes de l'EI, sont appelés à jouer un rôle majeur pour promouvoir l'adoption de l'EI en Afrique (Saur et al., 2003 ; Kituyi, 2004 ; PNUE, 2004). Kituyi (2004) a souligné l'importance de mettre l'accent sur les aspects sociaux, culturels, institutionnels et politiques plutôt que sur les aspects techniques des approches préconisées.

En conclusion, l'EI préconise l'utilisation des systèmes naturels comme modèles pour l'ensemble des activités industrielles. Cela suppose une autre vision économique du monde, celle que préconise l'économie écologique et celle qui découle de l'écologie scientifique qui sert de cadre conceptuel à l'EI. Cette vision prend en compte le long terme, l'échelle globale (régionale voire planétaire) et la complexité dans le but de mieux comprendre et respecter la résilience des systèmes naturels. Les analyses de flux et de cycles sont privilégiées pour tirer parti des liens entre systèmes industriels et naturels. Dans cette perspective évolutionnaire originale (elle sous-entend une co-évolution des systèmes industriels, socioéconomiques et naturels), les agents de production économique deviennent des instruments essentiels pour atténuer les impacts sur l'environnement au lieu d'être simplement des « fauteurs de trouble » qu'il faut combattre. L'EI n'est pas la solution miracle au développement durable, notamment parce qu'elle ne se préoccupe directement que de deux des six facteurs du développement authentique (facteurs économiques et environnementaux). Elle n'en demeure pas moins un élément de solution prometteur, surtout si les efforts de restructuration du système industriel se poursuivent dans le cadre de démarches intégrées de développement durable qui prennent pleinement en compte les dimensions sociales, culturelles, politiques et éthiques.

Références

- Ackerman F, Goodwin N, Dougherty L, Gallagher K, Eds (2000). *The Political Economy of Inequality*. Island Press, Washington, DC.
- Agence environnementale européenne (2000). ConAccount : <http://www.conaccount.net>

- Allenby BR (1998). "Earth systems engineering: the role of industrial ecology in an engineered world". *Journal of Industrial Ecology*, 2:73-93.
- Allenby BR, Cooper WE (1994). "Understanding industrial ecology from a biological systems perspective". *Total Quality Environmental Management*, 3:343-54.
- Ayres RU, Ayres LW (1996). *Industrial Ecology - Towards Closing the Material Cycle*. Edward Elgar, Cheltenham, UK.
- Ayres RU, Simonis UE, Eds (1994). *Industrial Metabolism. Restructuring for Sustainable Development*. United Nations University Press, New York.
- Bartelmus P (1999). "Economic growth and patterns of sustainability". Wuppertal Papers N° 98.
- Boons F, Roome N (2000). "Industrial ecology as a cultural phenomenon: on objectivity as a normative position". *Journal of Industrial Ecology*, 4:49-54.
- Bringezu S, Moriguchi Y (2002). "Material flow analysis." In: Ayres and Ayres Eds, *A Handbook of Industrial Ecology*. Edward Elgar, Cheltenham, UK.
- Bugliarello G (2001). "Technology literacy". *National Forum on Thematic, Cross-Disciplinary Approaches to Scientific and Technological Literacy in K-12 Education*, MAGSET Consortium, Washington, DC.
- Burström F, Korhonen J (2001). "Municipalities and industrial ecology". *Sustainable Development*, 9:36-46.
- Chambers R (1992). "Sustainable livelihoods: the poor's reconciliation of environment and development". In: Ekins and Max-Neef Eds, *Real-Life Economics: Understanding Wealth Creation*. Routledge, New York.
- Christesen I, Scott JA, Krishnamohan K, Gabric A, Herat S (1999). "What is needed to encourage adoption of industrial ecology?" *Proceedings of the 2nd Asia Pacific Cleaner Production Roundtable*, Brisbane.
- Côté RP (2001). "A primer on industrial ecosystems. A strategy for sustainable development". Disponible sur le web : <http://www.mgmt.dal.ca/sres/pdfs/PRIMER.pdf>
- Duchin F (1991). "Strategies for environmentally sound economic development". In: Takeuchi and Yoshino Eds, *The Global Environment*. Springer-Verlag, Heidelberg.
- Duchin F (1996). "Ecological economics: the second stage". In: Costanza, Segura and Martinez-Alier, *Down to Earth: Practical Applications of Ecological Economics*. Island Press, Covelo.
- Duchin F (1998). *Structural Economics: Measuring Change in Technology, Lifestyles and the Environment*. Island Press, Washington, DC.
- Duchin F, Hertwich E (2003). *Industrial Ecology. International Society for Economics Internet Encyclopaedia of Economical Economics* : <http://www.ecologicaleconomics.org/publica/encyc.htm#Duchin>
- Ehrenfeld J, Gertler N (1997). *Industrial ecology in practice: the evolution of interdependence at Kalundborg*. *Journal of Industrial Ecology*, 1:67-79. Et : Symbiosis Institute : <http://www.symbiosis.dk>
- Erkman S (1997). "Industrial ecology: a historical view". *Journal of Cleaner Production*, 5:1-10.
- Erkman S (1998). *Vers une écologie industrielle*. Éditions Charles Léopold Mayer, Paris.
- Erkman S, Ramaswamy R (2001). *Industrial Ecology as a Tool for Development Planning: Case Studies in India*. Sterling Publishers, New Delhi. Aussi : Cleaner production at the system level: industrial ecology as a tool for development planning. *UNEP 6th High-Level Seminar on Cleaner Production*, Montréal (2000).
- Erkman S, Francis C, Ramaswamy R (2001). "Industrial ecology: an Agenda for the long-term evolution of the industrial system". « Cahier de propositions ». *Industrial Ecology Workshop*, Geneva.
- Filho WE (2002). "Towards a closer integration of environmental education and industrial ecology". *International Journal of Sustainable Development*, 1:20-31.
- Frosch RA, Gallopoulos NE (1989). « Strategies for manufacturing ». *Scientific American*, 261:94-102.
- Goodwin NR (2003). *Equity. International Society for Economics Internet Encyclopaedia of Economical Economics* : <http://www.ecologicaleconomics.org/publica/encyc.htm#Goodwin>
- Gowdy J (2003). "Contemporary welfare economics and ecological economics valuation and policy". *International Society for Economics Internet Encyclopaedia of Economical Economics* : <http://www.ecologicaleconomics.org/publica/encyc.htm#Gowdy>
- Graedel TE (1996). On the concept of industrial ecology. *Annual Review of Energy and the Environment*, 21:69-98.

- Haberl H (2001). "The energetic metabolism of societies, part I: accounting concepts". *Journal of Industrial Ecology*, 5:11-33.
- Hartwick JM (1977). "Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible resources". *American Economic Review*, 67: 972-4.
- Indigo Development (2003) : <http://www.indigodev.com>
- Isenmann R (2003). "Industrial ecology: shedding more light on its perspective of understanding nature as a model". *Sustainable Development*, 11:143-58.
- Kituyi EN (2003). "Towards sustainable charcoal production and use in sub-saharan Africa: a system approach". *Proceedings of the 2003 Open Meeting of the Human Dimensions of Global Environmental Change Research Community*, Montréal.
- Kituyi EN (2004). "Integrating life cycle approaches to African national development policies: considering the institutional dimension of industrial ecology". *Progress in Industrial Ecology*, 1, sous presse.
- McDonough W, Braungart M (2002). *Cradle to Cradle*. North Point Press, New York.
- Pizzacaro S (1998). Steps to industrial ecology: reflections on theoretical aspects. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*. 5:229-38.
- PNUE (2001). *Comptabilité environnementale et économique intégrée. Manuel des opérations*. Nations unies. « Etudes méthodologiques », New York.
- PNUE (2004). *The African Life Cycle Assessment Network (ALCAN)*. LC.Net Issue 3. Disponible sur le web : http://www.uneptie.org/pc/sustain/lcinitiative/LC_net_Issue3/LC_net_Issue3c.htm
- Saur K, Donato G, Cobas Flores E, Frankl P, Astrup Jensen A, Kituyi E, Lee KM, Swarr T, Tawfic M, Tukker A (2003). Draft Final Report of the LCM Definition Study. UNEP/SETAC Life Cycle Initiative.
- Suh S, Huppes G (2000). *Gearing input-output model to LCA, part I: general framework for hybrid approach*. CML Working Papers 2000.007. CML, Leiden University. Leiden.
- Thomas V, Theis T, Lifset R, Grass D, Kim B, Koshland C, Pfahl R (2003). Industrial ecology: policy potential and research needs. *Environmental Engineering Science*, 20:1-9.
- Wall L (2002). "Eco-industrial development: benefits and roles for governments. Opportunities for Eco-Industrial Development in Canada, the US and Asia". Globe 2002 Workshop Proceedings, Vancouver.