



Écologie industrielle et apprentissage organisationnel : des concepts à la pratique

Olivier Boiral

Professeur agrégé
Faculté des sciences de l'administration
Université Laval
Québec, Canada G1K 7P4
Tél : (418) 656 2131, poste 4776
Fax : (418) 656 2624
E-mail : Olivier.Boiral@mng.ulaval.ca
Site WEB :
<http://www3.fsa.ulaval.ca/personnel/boiralo/>

Jean Kabongo

Doctorant
Faculté des sciences de l'administration
Université Laval
Québec, Canada G1K 7P4
Tél : (418) 656 2131, poste 8312
Fax : (418) 656 2624
E-mail : Jean.Kabongo@fsa.ulaval.ca

Résumé

La récupération et la valorisation des matières résiduelles représentent des enjeux stratégiques pour les entreprises industrielles, confrontées à une augmentation rapide des coûts liés à la gestion et à l'entreposage des déchets. Depuis les années 90, les réflexions sur ce thème s'articulent autour du concept d'écologie industrielle, qui est l'objet d'un nombre croissant d'études et de recherches. Cependant, ces travaux demeurent surtout centré sur des approches techniques et sur des modèles théoriques qui tendent à ignorer les implications concrètes de cette démarche sur la gestion des entreprises. Peu d'études empiriques permettant de comprendre les aspects stratégiques et organisationnels relatifs au processus de mise en œuvre des pratiques d'écologie industrielle ont été réalisées. Pour mieux comprendre ce processus, des entretiens auprès des vingt-sept gestionnaires d'entreprises canadiennes impliquées dans la valorisation des matières résiduelles ont été réalisés. Les résultats de cette étude montrent que l'utilisation des

résidus comme intrants dans des procédés répond d'abord et avant tout à des objectifs de productivité. Le succès de ces pratiques dépend, en grande partie, de la maîtrise de connaissances et de savoir-faire qui s'inscrivent dans une démarche d'apprentissage organisationnel irréductible aux seuls aspects technologiques. L'enquête réalisée contribue à mieux comprendre les tenants et les aboutissants des actions de revalorisation et de transformation des résidus industriels à partir des perceptions des acteurs en charge de ces pratiques à l'intérieur des organisations. L'écologie industrielle n'apparaît pas comme une démarche à vocation environnementale, mais plutôt comme un ensemble de mesures contingentes et complexes visant à améliorer l'efficacité des activités de production dans un contexte de plus en plus compétitif.

1. INTRODUCTION

Constituée comme un domaine d'étude et de recherche dans les années 1990, l'écologie industrielle se présente comme une approche du management environnemental innovante et intégrée (Tibbs, 1993). Même si ses objectifs sont loin de faire l'unanimité aux yeux de bien des chercheurs (O'Rourke, Connelly et Koshland, 1996), l'optimisation de l'usage des ressources est au centre des préoccupations des spécialistes de l'écologie industrielle. Elle constitue un point de départ qui oriente les recherches dans plusieurs directions : l'analyse de flux de matière et d'énergie, leur utilisation dans des procédés industriels, la restructuration des modes de production, l'échange des résidus interentreprises, entre autres. Cette utilisation optimale suppose, d'une part, la réduction de flux de matière et d'énergie dans les systèmes de production et de consommation et, d'autre part, leur substitution par les résidus industriels et les sous-produits (Frosch et Gallopoulos, 1989; Erkman, 1998; Allen, 2002).

Le rôle des entreprises dans le développement de l'écologie industrielle est souligné par plusieurs chercheurs (Tibbs, 1993; Allenby, 1999; van Berkel, Willems et Lafleur, 1997). L'utilisation des résidus industriels comme matières premières présente des opportunités d'affaires (Tibbs, 1993), ce qui intéresse de nombreux industriels et des instances gouvernementales (Boiral et Croteau, 2001a). D'une part, cela présente des alternatives dans la quête de solutions aux problèmes de gestion d'énormes quantités de déchets générés chaque année par l'industrie (Boiral et Croteau, 2001a). D'autre part, utiliser les résidus industriels ouvre des voies vers des stratégies

organisationnelles (Jauch et Osborn, 1981; Bantel et Osborn, 1995). En effet, les responsables d'entreprises, en utilisant les résidus comme intrants principaux dans leurs procédés de production industrielle, cherchent à améliorer les performances et à maîtriser certains coûts, ainsi qu'à se différencier sur les marchés et à répondre aux exigences de nombreux acteurs (Bansal et Roth, 2000; Preston et Sayin, 2000; King et Lenox, 2001).

Cependant, les pratiques d'écologie industrielle dans les entreprises demeurent relativement peu étudiées. Quelques travaux ont souligné les facteurs de réussite de sa mise en œuvre au sein des entreprises, en particulier le design de nouvelles technologies (Ausubel et Langford, 1997; Grubler, 1998; Chertow, 2001), l'adaptation des procédés aux matières résiduelles à utiliser (Ausubel, 1996; Hendrickson *et al.*, 2002), le développement des réseaux d'échanges des matériaux, sur l'approvisionnement constant de ces derniers (Côté et Cohen-Rosenthal, 1998), ou encore la révision des mécanismes réglementaires (Graedel et Allenby, 1995; Allenby, 1999). Ces travaux ont permis de mieux comprendre, dans une perspective élargie, les principes de l'écologie industrielle, de théoriser les mécanismes d'échanges et de transformation des flux de production et, de façon plus générale, de montrer le potentiel de la généralisation de cette démarche à un niveau macro-économique. En revanche, peu de recherches se sont attachées à comprendre les défis que cela implique pour les organisations confrontées à ces transformations. L'étude de l'écologie industrielle repose, pour l'essentiel, sur des réflexions spéculatives qui tendent à ignorer les enjeux stratégiques, humains et organisationnels sous-jacents aux efforts de réduction et de valorisation des matières résiduelles.

L'objectif principal de cet article est d'analyser ces efforts à partir des perceptions de gestionnaires d'entreprises industrielles canadiennes ayant adopté des mesures innovantes et significatives dans ce domaine. Les résultats de cette étude remettent en cause la portée des seules approches techniques et scientifiques en soulignant, en particulier, le rôle fondamental des processus d'apprentissages organisationnels, tant dans l'identification des opportunités de valorisation résiduelle que dans l'amélioration de l'efficacité de leur mise en œuvre.

Dans un premier temps, l'article s'attachera à décrire les principes de l'écologie industrielle à partir des principaux travaux dans ce domaine. Dans un second temps, la méthodologie qui a été suivie dans la réalisation de la présente recherche sera présentée. Enfin, les résultats de l'étude sont analysés à partir notamment du paradigme de l'apprentissage organisationnel.

2. LA QUÊTE DU « ZÉRO DÉCHET »

Depuis les années 1990, l'écologie industrielle connaît un développement rapide, tant sur le plan institutionnel qu'au niveau conceptuel. La mise en œuvre de cette démarche intéresse de nombreux acteurs économiques et politiques, en particulier dans les pays les plus industrialisés. L'implantation des parcs éco-industriels sur le modèle de Kalundborg, une municipalité Danoise ayant mis en œuvre ce type de parc en collaboration avec diverses entreprises (notamment une usine électrique, une raffinerie, une fabrique de placoplâtre et une entreprise biotechnologique), a fait l'objet de nombreuses recherches (Ébrahimi *et al.*, 1997; Ehrenfeld et Gertler, 1997; Grann, 1997). Ce modèle européen, devenu une référence incontestable, a inspiré d'autres expériences, notamment aux États-Unis (à Brownsville, Texas, à Baltimore, Maryland, à Cape Charles, Virginie et à Chattanooga, Tennessee), au Canada (à Burnside, Nouvelle-Écosse) ou encore au Japon (Côté et Smolenaars, 1997; Côté et Cohen-Rosenthal, 1998). Bien que le cas de Kalundborg ait eu lieu dans un contexte bien précis qu'il semble difficile de transplanter ailleurs (Erkman, 1998; Desrochers, 2001; Lifset et Graedel, 2002), il a montré la pertinence opérationnelle des principaux concepts utilisés aujourd'hui dans les travaux sur l'écologie industrielle. La mise en œuvre de ces concepts, qui gravitent essentiellement autour de la recherche d'un « bouclage des systèmes productifs » afin de minimiser le volume des résidus inutilisés, appelle cependant des remises en causes et l'apprentissage de nouvelles pratiques auxquelles les organisations sont souvent mal préparées.

2.1. DU « BOUCLAGE DES SYSTÈMES PRODUCTIFS » À LA « DÉMATÉRIALISATION » DE L'ÉCONOMIE

La recherche du « zéro déchet » apparaît comme une sorte de quête à jamais inachevée, dont les principes d'écologie industrielle s'attachent à définir les principaux paramètres. À l'image du

« zéro défaut » dans le domaine de la qualité totale, cette quête est, par nature, insatiable et illimitée puisqu'elle représente un absolu qui ne peut se satisfaire de demi-mesures ou de résultats imparfaits. Cependant, sa pertinence sociale et son caractère mobilisateur en ont fait un des leitmotivs des promoteurs de l'écologie industrielle. Comme le déclare Hawken, un des principaux auteurs dans ce domaine : « nous devons nous soumettre à l'idée que les déchets sont des ressources et éliminer la notion de déchet de notre système de production industrielle » (Hawken, 1993, p. 209). D'autres associent l'écologie industrielle à une démarche plus générale de mise en œuvre du principe de développement durable (Lowe et Evans, 1995; Keoleian & Garner, 1994; Ehrenfeld, 1997). Ainsi, selon Boiral et Croteau, les principes de l'écologie industrielle représentent l'application la plus concrète et la plus complète du concept de développement durable. Dans cette perspective, l'écologie industrielle peut se définir comme « une approche intégrée d'analyse et de réduction des flux de matières et d'énergies visant à améliorer l'éco-efficacité des métabolismes industriels par la promotion de technologies, de valeurs et de pratiques destinées à assurer la protection, la durabilité ainsi que le renouvellement des ressources nécessaires au développement » (Boiral et Croteau, 2001b, p.17).

L'écologie industrielle se traduit donc par une recherche d'optimisation de l'usage des ressources qui vise, d'une part, la réduction de la quantité de déchets dans les systèmes de production et de consommation et, d'autre part, leur utilisation comme matières premières dans différents procédés industriels. En effet, un système dit « éco-industriel », en plus de réduire la production des déchets, s'attache à maximiser l'usage des matières résiduelles ou des produits à la fin de leurs vies utiles en les réintroduisant, lorsque c'est possible, comme matières premières dans d'autres procédés de production. La revalorisation et la transformation des déchets industriels peuvent se traduire par des opportunités d'affaires pour les entreprises : les déchets industriels et ménagers sont récupérés comme matières premières, revalorisés et transformés en produits à valeur ajoutée pour des différents marchés, ou encore utilisés comme des sources alternatives d'énergie en substitution des combustibles conventionnels. La diversité de ces opportunités se reflète dans la multiplicité des concepts et des pratiques associées à l'écologie industrielle. Parmi ces concepts, citons notamment le « bouclage des systèmes productifs », « l'analyse des flux de matières et d'énergie », « l'analyse de cycle de vie des produits et des procédés », le

développement des «réseaux d'échange des déchets entre entreprises », la «dématérialisation et la transmatérialisation » des économies.

2.2. L'APPRENTISSAGE DE NOUVELLES PRATIQUES ORGANISATIONNELLES

Dans le développement actuel du domaine, les méthodologies et les outils de sa mise en œuvre de l'écologie industrielle s'apparentent souvent à des principes généraux que les industries sont conviées à appliquer de façon plus ou moins dogmatique. Ainsi, des concepts tels que le « zéro déchet » ou encore la « dématérialisation de l'économie » apparaissent comme des idéaux qui risquent, s'ils sont appliqués à la lettre, de déboucher sur une quête d'absolu plus que sur des solutions réalistes. Cette vision trop souvent monolithique de l'écologie industrielle tend à ignorer les conditions concrètes d'application et les défis organisationnels que soulèvent la mise en œuvre de principes généralement définis à partir d'une perspective, certes séduisante et innovante, mais encore relativement abstraite. Cependant, du point de vue industriel, ces principes peuvent s'apparenter, dans une large mesure, à une logique pragmatique de réduction du gaspillage à travers une meilleure utilisation des matières et de l'énergie, et donc d'une meilleure productivité (1). Si elle ne semble pas, en soi, nouvelle, la mise en œuvre d'une telle logique ne saurait reposer sur des ajustements sporadiques et édulcorés, en continuité avec les opérations habituelle des entreprises. Elle suppose au contraire la mobilisation de savoirs techniques, opérationnels, juridique ou encore marketing afin de repenser l'activité de l'entreprise en fonction des opportunités de valorisation internes ou externes des résidus industriels. Ces changements sont susceptibles de déboucher sur une transformation assez radicale des activités habituelles.

Ainsi, Interface, une entreprise américaine spécialisée dans la fabrication de tapis et de produits textiles a recentré ses activités et ses méthodes de production autour de pratiques directement inspirées de l'écologie industrielle (Johansen, 1998). Pour favoriser l'engagement des quelque 6300 employés dans cette démarche audacieuse, des groupes de travail, appelés « QUEST » (Quality Utilizing Employee Suggestions and Teamwork) ont été développés dans l'ensemble de l'entreprise. L'objectif de ces groupes était de solliciter l'implication des travailleurs dans la

réduction des déchets, du gaspillage et dans l'amélioration de l'efficacité des procédés. Un programme ambitieux de formation, « One World Learning », a également été mis en oeuvre pour promouvoir l'esprit d'équipe et le partage des connaissances dans le développement de pratiques d'écologie industrielle. Enfin, plusieurs environmentalistes, comme David Brower, ancien président du Sierra Club, ou encore Paul Hawken, auteur d'un livre à succès sur l'écologie industrielle (Hawken, 1993) (2), ont été régulièrement invités comme conférenciers et comme conseillers de l'équipe de direction d'Interface. Ces initiatives pour promouvoir l'apprentissage de nouvelles valeurs et de nouveaux comportements verts sont au centre de la vision de l'entreprise, qui s'attache à « permettre à chaque personne de continuellement apprendre et à se développer » et à « devenir le premier nom dans le domaine de l'écologie industrielle » (3). Depuis 1994, les efforts pour mettre en oeuvre cette vision ont permis d'économiser près de 80 millions de dollars et d'augmenter les revenus de 20 % tout en réduisant de façon très significative les déchets et la consommation de matières premières.

Les connaissances et les changements qui ont permis à une entreprise comme Interface de réduire les pertes et le gaspillage associés aux déchets ne sauraient se réduire à des mesures d'ingénierie environnementale placées sous la seule responsabilité de services techniques. L'ampleur des changements réalisés montre au contraire le développement d'une véritable logique d'apprentissage s'articulant autour d'une redéfinition des compétences clés de l'entreprise et reposant sur une large participation des employés. Quintas, Lefrere et Jones définissent la gestion des connaissances et l'apprentissage organisationnel comme « le processus continu de management des savoirs de tout ordre afin de répondre aux besoins existants et émergents, d'identifier et exploiter l'actif de connaissance acquis et développer de nouvelles opportunités » (Quintas, Lefrere et Jones, 1997, p.387). Compris comme étant le processus d'acquisition, de diffusion et de production de connaissances permettant à une organisation de s'adapter collectivement aux changements de l'environnement et de promouvoir de nouvelles pratiques (Senge, 1990; Garvin, 1991; Argyris, 1999; Quintas, Lefrere et Jones, op.cit.), l'apprentissage organisationnel semble inhérent aux mesures de réduction et de valorisation des résidus industriels.

En effet, comme le montrent les exemples d'Interface ou de Kalundborg, l'écologie industrielle appelle des changements profonds dans les modes de production industrielle. Ces changements s'effectuent à travers un processus de transformation, de réinvention et d'innovation continus (Drejer, 2002). L'innovation technologique et la mise en œuvre de nouveaux équipements sont souvent indispensables pour transformer et valoriser les déchets générés «in situ». Dans la déconstruction et la reconstruction de nouvelles idées qui caractérisent ce processus d'innovation, les résultats attendus dépendent de la capacité de l'entreprise à s'adapter à un environnement de plus en plus instable (Lowe, 1995). Cette capacité d'adaptation ne repose pas seulement sur la mobilisation de connaissances explicites, mais aussi sur des savoir-faire implicites et des informations circonstancielles liées à l'expérience de travail des employés, en particulier les opérateurs de procédés. En effet, parce qu'ils font corps avec l'outil de production, les opérateurs sont souvent les mieux placés pour en comprendre les aléas et trouver des solutions visant à réduire les rejets à la source, contribuant ainsi au «bouclage des systèmes productifs» (Boiral, 2002). Comme le dit Hart à propos du développement des habiletés nécessaires à la mise en œuvre d'une stratégie de réduction des rejets à la source, «la nature décentralisée et tacite de cette capacité la rend difficile à observer en pratique (ses causes sont ambiguës) et, par conséquent, difficile à dupliquer rapidement» (Hart, 1995, p. 999).

Par leur spécificité, leur caractère plus ou moins tacite (donc difficile à imiter), et les économies qu'elles peuvent apporter, les connaissances associées aux pratiques d'écologie industrielle peuvent être considérées comme un «noyau de compétences» (core competences) susceptible de déboucher sur des avantages compétitifs durables. En effet, selon l'approche des ressources de la stratégie (Wernerfelt, 1984; Prahalad et Hamel, 1990), les savoir-faire organisationnels représentent une des principales sources de différenciation et d'avantage compétitif. L'approche des ressources propose donc de centrer l'analyse stratégique sur les savoirs tangibles et intangibles (informations, connaissances, méthodes de travail, technologies, etc.) développés par l'entreprise et qui la distinguent de ses concurrents. Parce qu'elles résultent d'un apprentissage collectif de nouvelles pratiques et de nouvelles technologies et qu'elles reposent sur la mobilisation de connaissances spécifiques relatives aux procédés, aux matières résiduelles et aux différentes façons de les valoriser, les pratiques d'écologie industrielle sont susceptibles de constituer des compétences clés pour les organisations.

Cependant, quelle est la nature précise de ces compétences? Comment les pratiques d'écologie industrielle sont-elles perçues et intégrées à l'intérieur des organisations? Quels sont les défis et les difficultés que ces pratiques soulèvent, en particulier en terme d'apprentissage organisationnel? C'est pour tenter de répondre à ces questions, pour le moment éludées dans la littérature sur ce thème, qu'une étude a été réalisée auprès d'une trentaine de responsables environnement et de gestionnaires ayant mis en œuvre une démarche d'écologie industrielle.

3. MÉTHODOLOGIE

L'objectif principal de l'étude réalisée était de comprendre les caractéristiques des pratiques d'écologie industrielle ainsi que les changements organisationnels et les compétences que supposent ces pratiques à partir des perceptions de gestionnaires ayant adopté des mesures innovantes dans ce domaine. Ces pratiques incluent en particulier la récupération, le conditionnement et l'utilisation des matières rebutées ou des sous-produits dans les processus de production. Les pneus hors d'usage, les scories des aciéries, les batteries à plombs acides, les sous-produits animaliers, les résidus provenant des entreprises de pâtes et papiers ou encore les résidus miniers représentent quelques exemples parmi d'autres des sous-produits valorisés dans les organisations visitées. Étant donné la complexité, la spécificité et le caractère pluridimensionnel de ces pratiques de valorisation, l'étude réalisée a reposé sur une approche qualitative et inductive. L'objectif de cette démarche est moins de vérifier une hypothèse ou de valider des relations de cause à effet préalablement définies que de comprendre, par comparaisons et par inférences systématiques, un phénomène complexe et encore mal étudié dans la littérature (Glaser et Strauss, 1967).

La collecte de données a été centrée, pour l'essentiel, sur des entretiens individuels semi-directifs auprès de gestionnaires de 9 entreprises intervenant dans quatre principaux secteurs d'activités: la transformation et la valorisation des pneus usagés, la production et la valorisation de métaux, les cimenteries, et la transformation de produits d'origine animale. Dans chacune des entreprises, 2 à

4 entretiens ont été réalisés en fonction de la complexité des procédés, de la richesse des données obtenues et de la disponibilité des répondants.

Les enregistrements d'entretiens ont tous été intégralement retranscrits sur traitement de texte afin de réaliser des « verbatim ». L'analyse des données a été faite à partir d'une démarche de catégorisation, de regroupement et de comparaison des informations collectées. Le logiciel d'analyse qualitative NUD*IST Vivo a été utilisé pour faciliter ce processus de catégorisation qui est au centre de la « grounded theory » (Glaser et Strauss, 1967; Strauss et Corbin, 1990).

4. LES PRATIQUES D'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE : UN « NOYAU DE COMPÉTENCES » AU SERVICE DE LA PRODUCTIVITÉ

Les pratiques de récupération et de valorisation des matières résiduelles des entreprises visitées ne semblent pas relever d'une application monolithique et uniforme des principes d'écologie industrielle. Elles illustrent plutôt l'élasticité de ce concept et la grande diversité des mesures dans ce domaine. Cette diversité tient de la variété des matières résiduelles valorisées, des procédés, des secteurs d'activités ou encore des produits fabriqués. L'utilisation qui est faite des matériaux récupérés et transformés est également très variable d'une entreprise à l'autre. Ces matériaux peuvent par exemple être transformés en produits finis ou semi-finis à valeur commerciale, servir à renforcer la qualité des produits existants ou encore être introduits comme source énergétique par la combustion. En dépit de cette diversité, les pratiques relevant de l'écologie industrielle sont au centre des activités de la plupart des cas observés. Ces pratiques ne constituent donc pas des opérations annexes ou en marge par rapport au métier de l'entreprise, se réduisant à des programmes sporadiques de recyclage, d'amélioration de la productivité ou de réduction du gaspillage, mais bien des activités clairement engagées dans la valorisation des matières résiduelles :

- « Notre compagnie est spécialisée dans le traitement, le recyclage et la récupération des matières plombifères. Sa principale matière première, ce sont des batteries automobiles rebutées et des batteries de toutes sortes, des déchets d'usines et toutes les matières qui contiennent du plomb. On est donc habilité à les transformer, les recycler et les récupérer

- ici. À part les batteries, il y a essentiellement des déchets d'usines qui produisent du plomb, de la peinture, du plomb chrome, etc. » (un vice-président aux opérations) ;
- « L'entreprise a deux schémas particuliers de la revalorisation : en premier lieu, la revalorisation à 100 % des scories d'acier inoxydable de types 300 et 400 (4). Ce qui constitue l'une des principales activités de l'entreprise. On est la seule entreprise en Amérique qui fait de la revalorisation des scories d'acier inoxydable. Dans un deuxième plan, on fait de la revalorisation de stérile de minerai de fer » (un directeur général);
 - « On fabrique, à partir des pneus rebutés, de la granule de caoutchouc qui sert à différents clients pour réaliser des produits, soit en utilisant directement la granule, soit en la transformant davantage pour en faire des pièces » (un directeur général);
 - « La revalorisation dans notre site le site ici, c'est surtout au niveau des combustibles de remplacement : les huiles usées, les pneus hors d'usage, le bois traité, le bois contaminé, et les combustibles granulaires solides, et des boues séchées d'une usine de traitement des eaux usées. On a aussi un produit que l'on utilise comme remplacement des matières premières. Parce que pour faire du ciment, ça prend du calcium, de la silice, de l'alumine et du fer. Ce sont les 4 minéraux essentiels. Si on n'a pas ça, on ne fait pas de ciment ou de béton. Et maintenant, on remplace de l'alumine par des catalyseurs usés de raffinerie de pétrole » (un directeur énergie et environnement).

Pour la plupart des dirigeants rencontrés, ces différentes activités de récupération et de revalorisation des matières résiduelles témoignent de l'engagement environnemental de l'entreprise, de ses « performances » dans ce domaine, voire de son caractère avant-gardiste. D'une part, des investissements assez significatifs ont souvent été nécessaires pour récupérer et transformer les matières plombifères, les pneus usagés, ou encore les scories d'acier utilisées dans les processus de production. D'autre part, ces activités présentent souvent des risques et des impacts environnementaux qui ont exigé des systèmes de traitement des contaminants parfois très coûteux. Enfin, dans tous les cas étudiés, les initiatives dans le domaine de l'écologie industrielle relèvent d'un engagement volontaire et non d'une réponse à des contraintes réglementaires ou sociétales. Le caractère volontaire et souvent innovateur de ces initiatives tend à conforter l'image de « bons citoyens corporatifs » des dirigeants, qui soulignent volontiers leur avance par

rapport à des entreprises concurrentes. Cependant, de façon paradoxale, ces attitudes «vertes» reflètent une sorte de satisfaction rétrospective par rapport à des actions qui, au départ, n'ont pas été mises en œuvre à des fins strictement environnementale. Ainsi, les actions qui s'inscrivent dans une logique d'écologie industrielle sont d'abord et avant tout présentées par les personnes interrogées comme des réponses logiques à des impératifs de productivité, de compétitivité ou de gestion des opérations plus ou moins indépendants de leur teneur «écologique» :

- « Nous sommes là dans l'entreprise pour faire l'argent et non pas pour le simple fait d'utiliser les matières résiduelles » (un vice-président, chef des opérations);
- « Nous ne regardons pas les choses en rapport avec l'environnement. Nous avons plutôt une préoccupation terre à terre : nous ne regardons que le produit comme tel. C'est la matière qui nous intéresse le plus. Son utilisation postérieure dans les différents types d'industries et même à la limite, l'industrie d'où proviennent ces matières ne nous intéresse pas, tout simplement parce que c'est la matière qui nous intéresse » (un coordinateur environnement).
- « Je ne crois pas que l'objectif premier soit de revaloriser des matières résiduelles » (un directeur technique et ingénierie);
- « À travers des années, nous avons investi beaucoup dans la technologie. Elle est devenue plus «écologique». Mais ce n'est pas le ministère de l'environnement qui nous a dit de faire ceci ou cela. Nous avons toujours pris l'initiative pour précéder les demandes qui peuvent apparaître au sujet des questions environnementales. Nous avons été persuadés dès le démarrage que la pérennité d'une entreprise comme la nôtre reposait sur deux choses : la rentabilité économique et le respect le plus total de l'environnement » (un vice-président aux opérations).

Ces propos très pragmatiques semblent plus ou moins en rupture par rapport aux concepts relativement théoriques et «engagés» de l'écologie industrielle. En dépit de leur pertinence pour décrire le cadre général des opérations de valorisation résiduelle observées, ces concepts paraissent assez éloignés du pragmatisme économique qui caractérise les entreprises dans la définition de leurs objectifs et leurs opérations dans ce domaine. En fait, dans la plupart des cas, les entreprises visitées font de l'écologie industrielle sans le savoir et sans chercher vraiment à

poser des gestes à vocation environnementale. Ainsi, bien que les dirigeants soient bien informés du profil environnemental de leur entreprise, ils le sont beaucoup moins des théories sur l'écologie industrielle qui entendent rendre compte de leurs opérations de valorisation. D'une part, les activités de récupération et de revalorisation ne sont pas envisagées comme autonomes par rapport aux opérations de base et aux objectifs de productivité propres à toute entreprise industrielle. Ces activités sont au contraire largement subordonnées ou « incrustées » aux préoccupations économiques, au point que parler de préoccupations environnementales ou, mieux encore, d'écologie industrielle, est perçu comme plus ou moins idéaliste voire subversif par les répondants. D'autre part, à une ou deux exceptions près, les dirigeants rencontrés ignorent à peu près tout de la signification des concepts associés à l'écologie industrielle. Qu'il s'agisse des « bouclages de systèmes productifs », de « l'analyse des flux de matières et d'énergie », du « cycle de vie des produits », de « l'éco-efficience » ou de la « dématérialisation de l'économie », ces concepts, lorsqu'ils ont été évoqués par les enquêteurs, ont surtout suscité de l'étonnement, voire des doutes. Réagissant au concept « d'éco-efficience », un des rares répondants à avoir entendu parler de ce concept explique :

- " Pour nous l'éco-efficience constitue une question purement théorique. J'ai entendu des universitaires parler de ça. Pour nous, dans les 100 millions des dollars dont je vous ai parlés pour toute l'usine, il y a 40 millions des dollars d'investissement dans des équipements, des procédés, etc. qui ont une saveur purement écologique. Tout est fait en fonction de ça, et quand on arrive à maximiser notre rentabilité, ce n'est jamais fait au détriment de l'environnement. Mais la fonction écologique est avant tout économique " (un vice-président aux opérations).

Ce constat sur « l'empirisme athéorique » des pratiques d'écologie industrielle montre bien que les actions dans ce domaine résultent non pas d'une volonté d'appliquer des principes environnementaux présentés comme innovateurs dans la littérature, mais bien de promouvoir des activités perçues de façon plus prosaïque comme de simples opportunités d'affaires. Il montre également que les entreprises demeurent encore relativement imperméables à ce cadre théorique, même lorsque leur métier dépend directement de la récupération et de la valorisation des matières

résiduelles. Dans cette perspective, la « nouveauté » de l'écologie industrielle mériterait certainement d'être sérieusement questionnée en regard de l'histoire et de l'anthropologie économiques. En effet, les sociétés humaines n'ont jamais hésité, lorsque c'était possible et économiquement avantageux, à considérer les « déchets » comme des matières premières. En toute hypothèse, pour les entreprises visitées, le véritable enjeu n'est pas environnemental mais bien économique. La question n'est pas de savoir si l'écologie industrielle existe, si certaines entreprises l'appliquent, si cela « fonctionne ». C'est plutôt d'analyser dans quelles conditions ces pratiques peuvent être économiquement viables, indépendamment des subventions que certaines entreprises sont susceptibles de recevoir dans le cadre des activités de récupération. En fait, les entretiens réalisés ont montré que les opportunités de récupération et de valorisation envisagées par les entreprises visitées sont fort nombreuses. Mais toutes, loin s'en faut, n'ont pas été explorées et certaines ont été abandonnées parce qu'elles se sont révélées à l'usage non rentables, en dépit de leur pertinence sociale et environnementale.

Cette rentabilité dépend en partie de facteurs que ne maîtrise pas l'entreprise : le prix des matières vendues, la disponibilité et le prix des matières récupérées, etc. Mais elle dépend également, dans une large mesure, du développement de compétences clés associées à la maîtrise de procédés, de pratiques, et de technologies qui ont permis aux entreprises visitées de rentabiliser des opportunités de valorisation ignorées par d'autres organisations. Ces compétences clés ont également permis, dans la plupart des cas, de se démarquer par rapport à la concurrence. Elles résultent d'un processus d'apprentissage interne plus ou moins long ou, dans des secteurs d'activités plus standardisés (en particulier les cimenteries), de transferts de connaissances entre plusieurs organisations du même type :

- « Nous avons donc acheté l'entreprise des mains des Allemands qui étaient déjà dans le domaine de recyclage mais sans être rentables. Et ils nous ont donnés certaines facilités pour le faire. À partir de 1984 on a fait pas mal de transformations, de sorte qu'à compter de juin 1985 on était rentable. C'est demeuré une compagnie privée. Ce que nous avons fait, c'est apprendre à réorganiser tout cela : organisation du travail, motivation du personnel, etc. Pour ma part, j'ai appris sur-le-champ ce qu'est la pyro-métallurgie et le recyclage » (un vice-président aux opérations);

- « Je dirais que dans 80 % des cas, nous comptons sur l'expertise interne. Dans d'autres cas, on est obligé d'utiliser les services de consultants. Quand on parle par exemple d'un projet d'essai de combustible, on doit faire des mesures d'émissions spécifiques. Ce sont des consultants spécialisés qui font ce travail pour nous. Il y a une panoplie de gens associés aux pratiques de revalorisation dont l'usine est obligée de solliciter les services » (un coordinateur environnement).

Ces exemples montrent que la maîtrise des pratiques d'écologie industrielle s'apparente à des « core competences » au sens de Prahalad et Hamel (1990). Ce noyau de compétences se développe à l'issue d'un processus d'apprentissage contingent et relativement peu formalisé. Le caractère émergent, spécifique et collectivement construit de ce savoir-faire le rend, dans la plupart des cas, difficile à imiter et à formaliser. Il constitue donc une source plus ou moins durable d'avantage comparatif par rapport à des entreprises concurrentes qui n'en ont pas fait l'apprentissage.

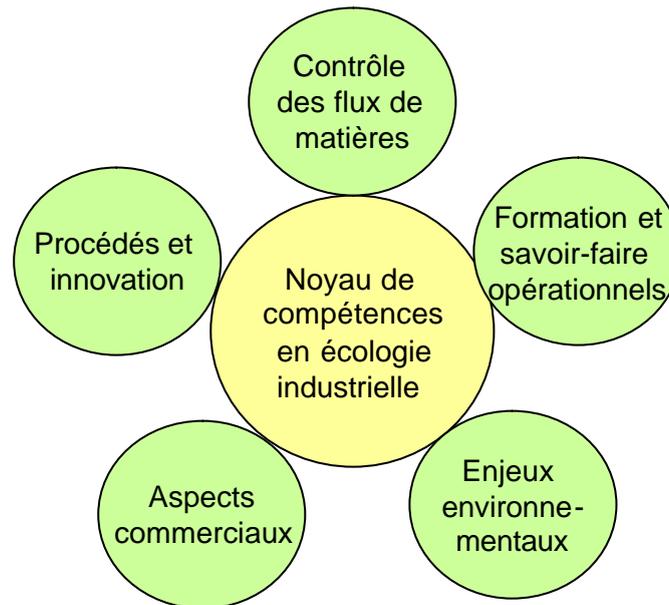
5. UN APPRENTISSAGE INTERDISCIPLINAIRE ET TRANSVERSAL

Si l'écologie industrielle ou les activités qui s'inscrivent plus ou moins explicitement dans sa logique peuvent effectivement représenter une source significative de productivité et d'avantage compétitif, il convient de s'interroger sur les connaissances qui jouent un rôle déterminant dans cette démarche. En raison de leur spécificité, de leur collégialité et de leur caractère très opérationnel, ces connaissances sont souvent de nature tacite et donc plus ou moins « invisible » pour un observateur externe. Ce qui fait la richesse et le caractère difficilement imitable de ce « noyau de compétences » représente donc un écueil de taille pour les chercheurs qui tentent d'en comprendre les arcanes. Les entretiens réalisés permettent cependant de dessiner les principaux traits de ces connaissances. Ces dernières ne relèvent pas de savoirs techniques ou environnementaux liés à l'expertise d'une fonction spécialisée. Elles se développent plutôt à partir d'un apprentissage interdisciplinaire et transversal qui exige la maîtrise et l'intégration de compétences liées à plusieurs fonctions ou activités (voir figure 1) :

- la maîtrise des procédés et de l'innovation technologique;
- la maîtrise de la variabilité des flux de matières résiduelles à valoriser;

- la maîtrise des activités de formation et le développement de savoir-faire opérationnels;
- la maîtrise des enjeux environnementaux;
- la maîtrise des aspects commerciaux.

Figure 1 : le « noyau de compétences » des pratiques d'écologie industrielle



En premier lieu, les opérations de valorisation résiduelle soulèvent souvent des défis technologiques inédits pour les entreprises. Qu'il s'agisse de la mise en place d'un procédé pyrométallurgie, de l'électrolyse de la serpentine ou encore de l'introduction de produits toxiques pour la fabrication de béton à haute performance, les pratiques d'écologie industrielle appellent l'expérimentation de nouveaux procédés. Ces procédés sont d'autant plus innovants que les débouchés pour les entreprises sont souvent étroits et supposent des stratégies de niches dans lesquelles les technologies développées sont spécifiques, voire uniques :

- « Nous avons mis au point un procédé jusque là unique au monde, et nous avons déjà produit 5,000 tonnes. Nous utilisons un produit toxique pour fabriquer 2 produits ayant une valeur commerciale. À partir des brasques usées en provenances des alumineries, on en fait une fritte de verre et on fait moudre la fritte de verre pour obtenir une poudre qui,

quand on y ajoute 25 % de ciment, cela augmente les propriétés du béton. Cela diminue la perméabilité du béton aux ions chlore, aux sels et on obtient des bétons à 65 MPa (5). Le béton que vous achetez est à 30 MPa. Le béton à 65 MPa chauffe moins » (un directeur exploitation).

Ces exemples illustrent le caractère émergent, non standardisé et «sur mesure » des technologies de valorisation des matières résiduelles. Leur développement repose généralement sur un processus «d'essais-erreurs » dont le résultat est rarement prévisible. Une fois ces technologies en place, la maîtrise de leur utilisation et des coûts qui lui sont associés exige du temps. Bien que la « courbe d'apprentissage » semble très variable d'un cas à l'autre, il est clair que cette dernière joue un rôle de premier plan dans la rentabilisation des procédés mis en œuvre. En fait, une des principales sources de coûts associés à ces procédés ne semble pas être les intrants en soi, mais plutôt la façon de les utiliser, de les transformer, bref le savoir-faire et la technologie investis dans cette démarche. Ce défi est évidemment particulièrement important dans les situations de démarrage d'usine :

- « La problématique était au niveau purement technologique, celui des équipements et des matériaux. C'était d'opérer l'usine sur une base continue en trouvant des solutions à tous les problèmes technologiques et d'équipements à travers le temps. C'est en fait une problématique de démarrage d'usine » (un directeur technique et ingénierie).

La seconde facette de ce «noyau de compétences » est la maîtrise de la variabilité des flux de matières résiduelles à valoriser. En effet, contrairement aux approvisionnements traditionnels, ces matières sont rarement standardisées, tant au niveau de leur composition que de leur dimension et de la régularité des approvisionnements. Ces irrégularités exigent des adaptations continues et l'apprentissage de pratiques «sur mesure ». Dans le cas d'une cimenterie visitée par exemple, le remplacement des combustibles traditionnels se fait au moyen de plus de 30 matières résiduelles différentes. Celles-ci viennent de secteurs variés et se composent de matières aussi diverses que des huiles usées, des pneus hors d'usage, du bois traité provenant de chemins de fers ou de poteaux de téléphone, etc. Ces résidus ne sont pas interchangeables, et leur valorisation exige la prise en compte de nombreux paramètres comme la valeur calorifique des matériaux récupérés, leur entreposage, leur humidité, leur dimension ou encore leur toxicité. De façon plus générale,

les activités de valorisation tendent à apparaître comme des « recettes » qui évoluent sans cesse en fonction de paramètres contingents et difficilement prévisibles :

- « On n'est pas dans un domaine où l'approvisionnement est prévisible dans le temps. Nous sommes toujours appelés à nous ajuster au niveau des opérations, de l'approvisionnement et des recettes. Et cela demande beaucoup d'énergie pour toujours s'ajuster. Le niveau d'adaptation constant est le plus difficile dans notre secteur. Parce que ça devient difficile à prévoir » (un vice-président, chef des opérations).

Le troisième aspect de ce « noyau de compétences » concerne les ajustements au niveau de la gestion des ressources humaines qu'impliquent les pratiques d'écologie industrielle. D'une part, la diversité des matériaux utilisés et, dans certains cas, leur toxicité exigent des efforts constants pour former les opérateurs, lesquels sont appelés à manipuler des produits potentiellement dangereux. Cette formation est d'autant plus nécessaire que ce sont souvent les résidus les plus dangereux qu'il est le plus « rentable » de valoriser. C'est le cas, par exemple, de certains matériaux inflammables utilisés dans les fours des cimenteries. Outre la transformation de ces matériaux, leur transport et leur stockage exigent des précautions particulières. D'autre part, la spécificité des procédés et des pratiques mises en œuvre, implique des programmes de formation « sur mesure ». Ces programmes sont généralement plus longs et plus difficiles à développer puisqu'ils concernent des connaissances peu standardisées. Dans ce contexte, la rétention du personnel bien formé aux activités de l'entreprise constitue un véritable défi, dont plusieurs répondants ont souligné l'enjeu :

- « Il y a aussi le problème de roulement du personnel. En Beauce, il y a beaucoup d'entreprises qui demandent souvent du personnel et ceux-ci sont toujours attirés par de nouvelles offres d'emplois. Ce qui occasionne un taux de roulement élevé des employés de la base » (un directeur de production).

Le quatrième aspect concerne plus directement la gestion des questions environnementales. Les pratiques d'écologie industrielle tendent en effet à rendre plus complexes ou plus intenses les problèmes administratifs, techniques et sociétaux associés au management environnemental. Au niveau administratif, le transport, l'entreposage et l'utilisation des matières résiduelles nécessitent des autorisations et des procédures généralement perçues comme très tatillonnes par les

répondants. Pour plusieurs d'entre eux, la lenteur, la lourdeur et les contraintes de ces aspects administratifs constituent même le principal obstacle aux pratiques de valorisation des résidus. La situation semble d'autant plus paradoxale que ces pesanteurs bureaucratiques, en particulier concernant la réglementation sur la gestion des déchets sont généralement imposées par le ministère de l'Environnement. Au niveau technique, la transformation des matières résiduelles implique des impacts environnementaux qui doivent être mesurés et contrôlés. Enfin, au niveau sociétal, les activités d'écologie industrielle suscitent souvent des réactions négatives voire hostiles de la part des citoyens. Le syndrome « pas dans ma cour » est d'autant plus présent que la toxicité des résidus transformés est reconnue ou que les externalités négatives sont très perceptibles. Le cas d'Alex Couture est à ce titre bien connu des résidents de la rive sud de la région de Québec. Cette entreprise d'équarrissage, qui récupère des résidus organiques provenant de boucheries, d'abattoirs ou d'entreprises agroalimentaires pour produire des farines animales et autres produits de transformation, génère en effet des odeurs qui sont l'objet de pressions continues et largement médiatisées. Ainsi, les pratiques d'écologie industrielle constituent, en regard des enjeux environnementaux, des « solutions problématiques » dont la maîtrise exige des compétences juridiques, relationnelles et institutionnelles :

- « Le problème le plus important est la perception sociale. La population qui vit autour de notre usine a entendu dire qu'on veut utiliser les matières résiduelles. Dans les années 1989-99, on a tenté d'expliquer aux gens pourquoi on voulait essayer à utiliser 4 familles des déchets : les huiles usées, les solvants chlorés, les BPC (6) et les déchets domestiques. Pendant près d'un an, la population s'y est opposée. Le projet consistait à brûler ces matières pendant une semaine afin de voir les résultats dans le cadre d'une étude d'impacts qu'on devrait présenter au ministère de l'environnement. Ce qui est curieux dans cette affaire est le fait que ce soit un groupe écologique qui soit venu nous le proposer, parce qu'ils avaient entendu que cela pouvait se faire dans une entreprise comme la nôtre » (un directeur de recyclage énergétique).
- « Nous avons investi plusieurs milliers des dollars dans des projets de recherche et développement dans le but de se battre contre les fonctionnaires du ministère de l'environnement qui ne bougeaient pas. Ils prêchent les 3RV mais ils ne les mettent pas en pratique. Nous sommes arrivés plusieurs fois avec des projets concrets, mais on a été

freiné. On nous impose des conditions difficiles qui n'ont parfois rien à voir avec ce que nous faisons. C'est ça notre principale problématique » (un directeur général);

- « La dimension la plus difficile aujourd'hui c'est faire affaire avec le ministère de l'environnement. Je pense que la réglementation environnementale est très limitative » (un directeur recyclage énergétique).

Le dernier aspect concerne les compétences stratégiques et commerciales nécessaires au développement de filières de récupération, de valorisation et de commercialisation de produits élaborés à partir de matières résiduelles. Dans certaines entreprises, la diversité de ces matières a exigé la mise sur pied de véritables équipes commerciales chargés d'établir des contacts avec d'autres industries pour examiner les possibilités de valorisation de certains résidus et pour établir des ententes commerciales. Ces équipes s'attachent également à définir la composition, la forme, le mode de stockage et de transport des résidus. Enfin, les ententes avec les entreprises qui fournissent des matières résiduelles doivent s'assurer de la régularité et de la qualité des approvisionnements. Ce dernier point est d'autant plus crucial que la pérennité des pratiques d'écologie industrielle dépend directement de l'acheminement de matériaux qui ne correspondent généralement pas à des produits standardisés qu'il est aisé de se procurer auprès de nombreux fournisseurs, au cas où l'un d'entre eux ferait défaut. Cette dépendance par rapport à des approvisionnements atypiques et irréguliers rend les activités de revalorisation particulièrement vulnérables à des changements réglementaires, administratifs ou industriels qui peuvent hypothéquer la disponibilité des matériaux utilisés. Elle tend également à augmenter la vulnérabilité de l'entreprise face au développement d'activités concurrentes qui peuvent diminuer la disponibilité et augmenter le prix des matériaux récupérés. Plus en aval de la filière de valorisation des matières résiduelles, les entreprises doivent également développer des compétences marketing et commerciales pour promouvoir la distribution de produits dont le caractère "environnemental" est souvent mis de l'avant. Par exemple, une des entreprises étudiées, qui produit notamment des paillassons à partir de pneus usagés, a basé son positionnement commercial sur le caractère écologique de la récupération des matériaux. Les tapis d'entrée de maison étant des produits très banalisés, les activités de récupération et leur caractère local constituent un moyen opportun pour se différencier d'une concurrence très vive. Ainsi, le développement de l'écologie industrielle ne peut se faire sans une bonne connaissance

des filières industrielles et commerciales qui, de l'amont vers l'aval, rendent possible la valorisation de matériaux normalement mis à l'écart des circuits de distribution :

- « Nous sommes continuellement obligés de nous battre. C'est une concurrence féroce. Alors, nous achetons de plus en plus loin les unités. Or il faut demeurer concurrentiel malgré les distances que l'on doit parcourir pour aller chercher notre matière première. Car à ce moment-là, on est dans le territoire d'autres producteurs et recycleurs de plomb. Disons que si nous dépassons un rayon de 800 kilomètres, nous ne pouvons plus offrir nos produits à des prix compétitifs, à moins de faire de gros sacrifice sur l'achat des matières premières. Tout cela est lié aux coûts des matières premières, au coût des résidus industriels et au facteur transport. Comme les coûts augmentent, cela devient moins économique. C'est directement lié à la concurrence dans la récupération des matières résiduelles » (un vice-président aux opérations).

6. CONCLUSION

Les résultats de cette étude ont permis de mieux comprendre la façon dont les pratiques d'écologie industrielle peuvent se concrétiser dans les entreprises, ainsi que les difficultés concrètes rencontrées par ces dernières dans la mise en œuvre d'une démarche qui répond à des préoccupations industrielles et commerciales assez éloignées des élaborations conceptuelles dans ce domaine. Si les exemples observés permettent d'illustrer assez aisément des principes comme le « bouclage des systèmes productifs » ou encore le « cycle de vie des produits » et donc d'offrir une meilleure consistance opérationnelle au cadre théorique de l'écologie industrielle, les entretiens réalisés montrent que ce cadre théorique est largement ignoré par les intervenants. L'objectif des entreprises est d'abord et avant tout de saisir des opportunités d'affaires dont le caractère environnemental est inféodé à des préoccupations économiques qui déterminent le choix des entreprises. Dans ce contexte, l'écologie industrielle ne semble avoir d'intérêt, pour les intervenants rencontrés, que par rapport aux opportunités de profit qu'elle est susceptible d'engendrer et non en tant que pratique innovante à vocation environnementale. Ce constat s'explique en partie par l'activité des entreprises visitées, laquelle s'articule essentiellement autour de la valorisation des matières résiduelles. Cette activité ne résulte donc pas de pressions réglementaires ou sociétales à laquelle les organisations répondraient pour améliorer leur image

ou pour assurer la pérennité de leur processus de production. Elle apparaît au contraire comme une initiative volontaire visant à exploiter des opportunités d'affaires liées à la production croissante de matières résiduelles. Le potentiel de valorisation de ces matières est souvent négligé par les entreprises, qui considèrent rarement leurs déchets comme des ressources. Si la valorisation des matières résiduelles n'est pas toujours possible ni rentable, les entretiens réalisés sur ce thème nous incitent à croire que son potentiel de développement est encore largement sous-exploité. Les perceptions sociales négatives sur les déchets, considérés implicitement comme des matières inutiles, corrompues et dont il faut se débarrasser au plus vite contribuent sans doute à une telle situation. Cependant, les entretiens réalisés montrent que la promotion des pratiques d'écologie industrielle exige surtout la mobilisation de compétences complexes dont le développement est long et laborieux.

Ces compétences s'articulent principalement autour de la maîtrise de savoir-faire associées à cinq principaux domaines : les procédés et l'innovation technologique, la variabilité des flux de matières résiduelles utilisées, la formation des employés, le contrôle des aspects environnementaux et la connaissance des filières de valorisation. La mobilisation et la combinaison de ces savoir-faire représente un « noyau de compétences » susceptible de déboucher sur un avantage concurrentiel plus ou moins durable pour les entreprises au sens de la « théorie des ressources ». Cependant, la pérennité des pratiques d'écologie industrielle est souvent hypothéquée par la précarité endémique des conditions même qui permettent leur développement : forte dépendance par rapport à certains approvisionnements, qualité incertaine des matières résiduelles, transport et stockage impliquant de nombreuses contraintes, impacts environnementaux liés à la manipulation de certaines matières, etc. Cette précarité explique sans doute pourquoi les activités de valorisation des matières résiduelles sont surtout contrôlées par des PME. La flexibilité et la créativité de ces entreprises favorisent en effet l'adaptation aux remises en causes continues que supposent l'acheminement, la transformation et la commercialisation de matériaux dont la disponibilité et la qualité demeurent très volatils.

La compréhension de cette faculté d'adaptation face aux aléas de l'écologie industrielle et l'approfondissement des conditions de développement de cette démarche nécessiteraient une étude beaucoup plus approfondie. En effet, en raison de son caractère exploratoire et de ses

limites méthodologiques, les conclusions de la présente recherche demeurent préliminaires et sa validité externe est limitée. Des recherches ultérieures pourraient notamment reposer sur un échantillon plus élargi, sur des secteurs industriels plus diversifiés et sur des entretiens auprès de responsables des différents acteurs autour desquels gravitent les pratiques d'écologie industrielle : entreprises de pré-conditionnement des matières, fournisseurs, entreprises réceptrices des résidus, organismes de subventions, fonctionnaires des ministères concernés, etc.

NOTES

1. Cette amélioration de la productivité par une réduction des matières résiduelles est au cœur du principe « d'éco-efficience ».
2. Cet ouvrage est à l'origine de la « conversion » du dirigeant et fondateur de l'entreprise, Ray Anderson, à l'environnementalisme et a été utilisé pour définir la stratégie verte de l'entreprise.
3. Extraits du « Sustainability Report » publié par l'entreprise.
4. Classification d'acier inoxydable selon sa structure métallurgique. Cette nomenclature a été définie par AISI (American Iron and Steel Institute).
5. MPa (mégapascal) : unité de mesure de la résistance du béton à la compression. 1 MPa = la force de 1 Newton par mm².
6. Biphényles polychlorés.

RÉFÉRENCES

Allen, D., « Waste as Raw Material », in Robert U. Ayres et Leslie W. Ayres (dir.) *A Handbook of Industrial Ecology*, Cheltenham, UK, Northampton, MA, USA, Edward Elgar Publishing, 2002.

Allenby, B.R., *Industrial Ecology. Policy Framework and Implementation*, Upper Saddle River: NJ, Prentice Hall, 1999.

Argyris, C., *On Organization Learning*, Malden: Mass., USA, Blackwell, 1999.

Ausubel, J.H., « Can Technology Spare the Earth? », *American Scientist*, vol. 84, n° 2, 1996, p. 166-178.

Ausubel, J.H. et H. D. Langford (eds.), *Technological Trajectories and the Human Environment*, Washington: D.C., National Academy Press, 1997.

Bansal, P. and K. Roth, « Why Companies Go Green: A Model of Ecological Responsiveness », *Academy of Management Journal*, vol. 43, n° 4, 2000, p. 717-736.

Bantel, K. and N.R Osborn, « The Influence of Performance, Environment and Size on the Identifiability of Firm Strategy », *British Journal of Management*, vol. 6, 1995, p. 235-248.

- Boiral, O. (2002), «Tacit Knowledge and Environmental Management », *Long Range Planning*, vol. 35, n° 3, 2002, p. 291-317.
- Boiral, O. et G. Croteau, «Développement durable et synergie des sous-produits : quelques exemples au Québec », *Nouvelles tendances en management*, vol. 3, n° 2, 2001a, p. A1-A2.
- Boiral, O. et G. Croteau, «Du développement durable à l'écologie industrielle, ou les métamorphoses d'un concept caméléon », *X^e Conférence de l'Association internationale de management stratégique*, Québec, 11-13 juin 2001b.
- Chertow, M.R., «The IPAT Equation and Its Variants: Changing Views of Technological and Environment Impact », *Journal of Industrial Ecology*, vol. 4, n° 4, 2001, p. 13-29.
- Côté, R. et E. Cohen-Rosenthal, «Designing Eco-industrial Parks: A Synthesis of Some Experience », *Journal of Cleaner Production*, vol. 6, n° 3-4, 1998, p. 181-188.
- Côté, R.P et T. Smolenaars (1997), «Supporting pillars for industrial ecosystems », *Journal of Cleaner Production*, vol. 5, n° 1, 1997, p. 67-74.
- Desrochers, P., «Cities and Industrial Symbiosis: Some Historical Perspectives and Policy Implications », *Journal of Industrial Ecology*, vol. 5, n° 4, 2001, p. 29-44.
- Drejer, A., «Situations for innovation management: towards a contingency model », *European Journal of Innovation Management*, vol. 5, n° 1, 2002, p. 4-17.
- Ébrahimi, M; T. Pauchant et S. Laurent, « Enraciner l'économie dans l'écologie : des grappes industrielles aux écosystèmes industriels », *Gestion*, vol. 22, n° 2, 1997, p. 60-65.
- Ehrenfeld, J.R., «The importance of LCAs-Warts and All », *Journal of Industrial Ecology*, vol. 1, n° 2, 1997, p. 660-682.
- Erkman, S., *Vers une écologie industrielle. Comment mettre en pratique le développement durable dans une société hyper-industrielle*, Paris, Éditions Charles Léopold Mayer, 1998.
- Frosch, R.A. et N.E. Gallopoulos (1989), «Strategies for Manufacturing », *Scientific American*, vol. 261, n° 3, septembre 1989, p. 144-152.
- Garvin, D.A., «Building a Learning Organization », *Harvard Business Review*, (novembre-décembre 1991, p. 78-91.
- Glaser, B.G. et A. Strauss, *The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research*, New York, Aldine de Gruyer, 1967.
- Graedel, T.E. et B.R. Allenby, *Industrial Ecology*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1995.
- Grann, H., «The Industrial Symbiosis at Kalundborg, Denmark », in D.J. Richards (ed.) *The Industrial Green Game*, Washington, DC: National Academy Press, 1997.
- Grübler, A., *Technology and Global Change*, Cambridge, UK., Cambridge University Press, 1998.

Hart, S.L., «A Natural-Resource-Based View of the Firm », *Academy of Management Review*, vol. 20, n° 4, 1995, p. 986-1014

Hawken, P., *The Ecology of Commerce*, New York, Harper Collins, 1993.

Hendrickson, C.T. *et al.*, «Industrial Ecology and green design », in Ayres, R.U. et L.W. Ayres, *A Handbook of Industrial Ecology*, Cheltenham, UK, Northampton, MA, USA, Edward Elgar Publishing, 2002, p. 457-466.

Jauch, L.R. et N.R. Osborn, «Toward an Integrated Theory of Strategy », *Academy of Management Review*, vol. 6, n° 3, 1981, p. 491-498.

Johansen, D. (1998), «Interface Inc: Taking the Lead Toward Sustainability », *Corporate Environmental Strategy*, vol. 5, n° 3, 1998, p. 53-59.

Keoleian, G.A. et W.A. Garner, *Industrial Ecology: An Introduction*, University of Michigan : National Pollution Prevention Center, 1994.

King, A. et M.J. Lenox, «Does It Really Pay to Be Green? An Empirical Study of Firm Environmental and Financial Performance », *Journal of Industrial Ecology*, vol. 5, n° 1, 2001, p. 105-116.

Lifset, R. and T.E. Graedel (2002), «Industrial ecology: Goals and definitions », in Ayres, R.U. et L.W. Ayres, *A Handbook of Industrial Ecology*, Cheltenham, UK, Northampton: MA, USA, Edward Elgar Publishing, 2002, p. 3-15.

Lowe, P., *The Management of Technology: Perception and Opportunities*, London, Chapman & Hall, 1995.

Lowe E.A. et L. K. Evans, «Industrial Ecology and Industrial Systems », *Journal of Cleaner Production*, vol. 3, n° 1-2, 1995, p. 47-53.

O'Rourke, D., L. Connelly et C. Koshland (1996), «Industrial Ecology: A Critical Review », *International Journal of Environment and Pollution*, vol. 6, n° 2-3, 1996, p. 89-112.

Prahalad, C.K. et G.K. Hamel, «The core competencies of the corporations », *Harvard Business Review*, vol. 68, n° 3, 1990, p. 79-91.

Preston, L. et G. Sa yin, *Building Sustainable Businesses. A Handbook for All Managers*, Haas School of Business, University of California, 2000.

Quintas, P., Lefrere, P. and G. Jones (1997), «Knowledge Management: A Strategic Agenda », *Long Range Planning*, vol. 30, n° 3, 1997, p. 385-391.

Senge, P., *The Fifth Discipline*, New York, Doubleday, 1990.

Strauss, A. et J. Corbin, *Basics of Qualitative Research: Grounded Theory Procedures and Techniques*, London, Sage Publications, 1990.

Stewart, T., *Intellectual Capital-the New Wealth of Organizations*, London, Nicolas Brealey Publishing, 1997.

Tibbs, H., *Industrial Ecology. An Environmental Agenda for Industry*, Emeryville, CA, Global Business Network, 1993.

van Berkel, R., E. Willems et M. Lafleur (1997), «Development of an industrial ecology toolbox for the introduction of industrial ecology in enterprises-I », *Journal of Cleaner Production*, vol. 5, n°. 1-2, 1997, p. 11-25.

Wernerfelt, B., «A Resource-based View of the Firm », *Strategic Management Journal*, vol. 5, 1984, p. 171-180.