

RECHERCHE DE SYNERGIES MATIÈRES/ÉNERGIE ENTRE SECTEURS INDUSTRIELS RÉFLEXIONS ET PERSPECTIVES

Adoue Cyril*, Ansart Arnaud**, Vincent Frédérique***

*Laboratoire CREIDD, **EDF R&D - Département éco-efficacité et procédés industriels, ***ISIGE

L'écologie industrielle, domaine scientifique émergent, propose une approche systémique de la société industrielle. Un de ses principaux axes de travail concerne la valorisation systématique des flux de déchets et d'énergie en créant des réseaux d'échange de ces flux.

La multiplication des synergies entre les différentes entités du tissu industriel nécessite un développement de la connaissance de ces compatibilités.

Cette réflexion, effectuée à partir de l'étude de quatre secteurs industriels et de leurs liens potentiels, propose d'analyser l'intérêt d'aborder la recherche des synergies sous l'angle sectoriel, d'examiner les limites de l'approche, et l'importance de la dimension fonctionnelle des flux de matières et d'énergie.

Industrial Ecology is an emerging field, which gives a systemic approach of the industrial world. Recycling of industrial waste or energy excess by implementing trophic networks is one of its main tasks.

Knowledge of the synergies or of the potential connections between the different industry components is a key point to increase the number of those exchanges.

This paper, based on survey of for different sectors, attempts to test the interest from a sectorial point of view, and also features the limits of this approach. It then assesses the importance of a mass and energy flow functional description.

INTRODUCTION

L'écologie industrielle

Cette approche systémique de la société industrielle, qui tente de la réintégrer dans la Biosphère en tant qu'écosystème particulier [1], propose de relever plusieurs défis [2]. Un, cependant, occupe une place essentielle : la valorisation systématique des déchets et des surplus d'énergie. Par analogie

avec les écosystèmes [3], l'objectif est de créer des chaînes alimentaires industrielles où ces flux, autrefois perdus (mis en décharge, incinérés...), seraient réutilisés par d'autres industriels ou collectivités.

Cette démarche possède un double avantage : celui de faire croître la compétitivité du système et celui de diminuer l'impact de ses activités sur l'environnement en limitant la pollution et en utilisant la matière de manière plus intensive. L'éco-efficacité de ce système croît (rapport « Valeur du produit ou service/Impact environnemental » [4]). Les entreprises participant à ces chaînes alimentaires voient le coût de leurs flux entrants et sortants diminuer, et parfois même de nouvelles sources de revenus se créent lorsque les flux sortants sont commercialisés. L'écologie industrielle ne reste pas qu'un concept : plus d'une quarantaine de parcs ou réseaux éco-industriels ont vu le jour en 10 ans et mettent ses principes en pratique de par le monde. Une majorité se trouve en Asie [5], Amérique du Nord et en Europe. Le parc le plus célèbre et le plus étudié se situe à Kalundborg [6] au Danemark. Les relations de collaborations et d'échanges de déchets et d'énergie qui le caractérisent se sont mises en place spontanément. Ce système d'échange s'est créé flux par flux durant une vingtaine d'années. Un seul souci animait ses membres : réaliser des gains. Les chiffres avancés sont spectaculaires : 10 millions de dollars de revenus annuels sont dégagés par ces relations symbiotiques (économies en ressources, vente de déchets...).

Un autre réseau construit spontanément se trouve en Styrie, province autrichienne de 1,2 millions d'habitants. Une quarantaine de synergies a permis à une trentaine d'entités (entreprises, collectivités) d'échanger plusieurs centaines de milliers de tonnes de matériaux divers (laitiers, écorces, boues, métaux non-ferreux...) [7].

Ainsi à travers son axe le plus caractéristique, les synergies matières/énergies entre différentes composantes, l'écologie industrielle se présente comme un « outil pour atteindre et maintenir un développement durable » [8], susceptible de mener l'ensemble de la société vers cet objectif.

La connaissance des synergies

Les avancées de la valorisation des déchets et des surplus

d'énergie, cœur de l'écologie industrielle, passent notamment par une progression de la connaissance des relations synergiques.

Aujourd'hui, les progrès dans ce domaine restent essentiellement liés à la diffusion d'informations (publications...) concernant des synergies spontanément identifiées entre des entreprises, ou au retour d'expérience des quelques projets de parcs éco-industriels. Ces deux sources permettent de caractériser précisément des liens synergiques réalisables (voire réalisés) et sont ainsi extrêmement précieuses. Cependant, de par le faible nombre de parcs éco-industriels ou de synergies spontanées, ces données empiriques restent extrêmement discriminantes, car liées à des cas particuliers (faible nombre de secteurs concernés, nombre de procédés limité).

Ce travail tente d'évaluer la pertinence d'une approche intersectorielle (entre les secteurs industriels) de la recherche de synergies.

MATÉRIEL & MÉTHODE

Les réflexions qui vont suivre ont été menées à partir de l'étude de quatre secteurs :

- La fabrication de pâte à papier
- La fabrication de papier
- L'imprimerie
- Les traitements et revêtements de surface (TRS)

Ces études ont permis de dresser pour chacun un bilan des entrées et sorties possibles pour une entreprise du secteur.

Les secteurs industriels sont relativement hétérogènes : ils regroupent des entreprises de tailles variées qui peuvent utiliser des procédés et des techniques totalement différents. Cette mixité rend illusoire l'acquisition de données précises sur les dimensions physiques de l'ensemble des flux. Les bilans entrées/sorties (E/S) réalisés ne recensent donc de manière systématique que la nature des flux qui peuvent

traverser un secteur.

Une fois les études sectorielles réalisées, les quatre bilans E/S ont été confrontés de manière à identifier les synergies possibles entre des entreprises des quatre secteurs.

Seules les synergies de type « substitution » d'un flux entrant par un flux sortant d'un autre secteur ont été recherchées. Il convient cependant de souligner que des synergies de type « mutualisation » de l'approvisionnement ou du traitement d'un déchet pourraient également être examinées.

RÉSULTATS

Le croisement des quatre bilans E/S a permis d'identifier 88 pistes de synergies dont le tableau 1 présente quelques exemples.

Ce nombre élevé regroupe ainsi dans un souci d'exhaustivité des pistes de synergies qui pourraient ponctuellement être réalisées, ainsi que des pistes plus extravagantes. A titre d'exemple, dans le cas des effluents photographiques d'imprimerie, des flux de quelques litres par semaine et contenant un peu de soude, ne pourraient pas se substituer aux dizaines de kg de soude utilisés par une usine de fabrication de pâte à papier.

Parmi les 88 pistes, certaines complémentarités déjà effectives ont été identifiées. L'échange de vapeur entre la fabrication de pâte et la production de papier, par exemple, est une des raisons de l'intégration de la production de papier à certaines usines de pâte (sur 18 usines de pâte en France, 13 intègrent la production de papier) [9]. Ce type de synergie participe à la diminution du coût énergétique de la production globale de papier (diminution, en 10 ans, de 20 % de la consommation d'énergie par unité produite).

La dimension fonctionnelle des flux

Malgré les nombreuses pistes de synergies, ces résultats n'étaient pas satisfaisants : l'étude des pistes de synergie entre les 4 secteurs analysés a en effet fait apparaître une insuffisance sérieuse de la focalisation sur l'aspect

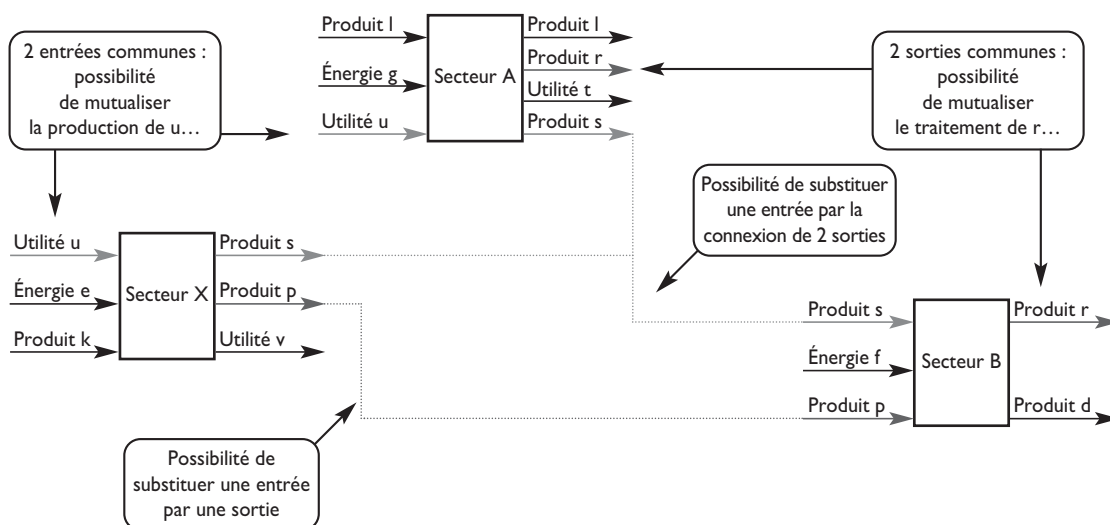


Figure 1 : Les différents types de synergies

Tableau 1 : Exemples de pistes de synergies

Inventaire des Entrées et Sorties		Secteurs industriels			
		Production de pâte à papier	Production de papier	Traitements et revêtements de surface	Imprimerie
Soude (NaOH)	E S	Consommé		Consommé Rejeté	Consommé Rejeté
Savon	E S		Consommé		Rejeté
Ammoniaque (NH ₄ OH)	E S	Consommé		Consommé Rejeté	
Acide Chlorhydrique (HCl)	E S			Consommé Rejeté	Consommé Rejeté

souci de précision, l'approche fonctionnelle des flux permet d'ouvrir un champ nouveau et parfois de s'affranchir de l'existant en proposant des solutions innovantes. Un industriel du secteur de la première transformation de l'aluminium utilise par exemple de la lessive de soude pour décaper les outils de mise en forme. Au cours du décapage, elle se charge en aluminium. L'aluminate de soude (NaAlO₂) peut cependant remplir la fonction « déphosphater » par

matières/énergie.

Cet unique angle de vue auquel est subordonnée la recherche d'éventuels liens condamne en effet certains déchets à rester des déchets. Le blanchet, par exemple, est une pièce d'environ 1 m² de caoutchouc et de tissu employée en imprimerie offset pour déposer l'encre sur le papier à imprimer. Ce produit, même usé, est extrêmement résistant aux contraintes mécaniques et à la chaleur, absorbe l'eau et est un bon isolant thermique. Pourtant, malgré des qualités intrinsèques intéressantes, un flux de blanchets ou de « caoutchouc & tissus » a peu de chance de trouver un débouché dans un autre secteur.

Pour pallier cette insuffisance, les fonctions remplies par les flux entrants des 4 secteurs ont été caractérisées. Les fonctions potentielles des flux sortants ont été déterminées à partir des fonctions déjà remplies dans les divers secteurs industriels. L'acide chlorhydrique ayant déjà été utilisé pour « décaper » et « fournir un acide », tout flux sortant d'HCl, quelle que soit son origine, peut donc potentiellement remplir ces deux fonctions. Les qualités intrinsèques de la matière ont également fait apparaître d'autres fonctions potentielles. Les blanchets usés d'imprimerie ont ainsi été identifiés comme étant susceptibles d'« isoler ». Le tableau 2 met en évidence de nouvelles pistes de synergies. Sur la globalité du champ de l'étude, 43 pistes supplémentaires ont ainsi été trouvées.

Dans une phase exploratoire où l'exhaustivité remplace le

précipitation, utilisée par les stations d'épuration urbaines. Cette synergie, déjà ponctuellement effective, souligne l'importance d'associer à ce type de flux de soude usée une fonction qu'il est susceptible de remplir de nouveau dans d'autres circonstances.

Si elle s'avère a priori incontournable lors de la recherche intersectorielle des synergies, cette approche pourrait également permettre à d'autres outils de valorisation des déchets (bourses aux déchets...) d'offrir de nouvelles perspectives à leurs utilisateurs.

DISCUSSION

Applications de l'approche intersectorielle

Le principal intérêt de l'approche intersectorielle des synergies est la possibilité offerte de répondre aux problèmes d'entrants/sortants de chaque entreprise en dehors de tout projet de parc ou réseau éco-industriel, démarches multi-acteurs (entreprises, collectivités...) extrêmement complexes à mettre en place. L'approche intersectorielle, systématique, doit en effet permettre d'analyser les entrées et sorties de tous les secteurs, tous procédés confondus. Ainsi, au-delà des quelques secteurs partiellement étudiés à travers les rares expériences de parcs ou de réseaux, cette démarche peut offrir de nouvelles perspectives aux entreprises. Ces dernières pourraient en effet ainsi dépasser de classiques et coûteuses solutions individuelles (changement de procédés, dépollution...) pour accroître leur éco-efficacité, éco étant pris au sens économique et écologique.

La codification des secteurs d'activité (codes NAF en France) et la connaissance de leur répartition géographique permettent en outre de localiser une entreprise à partir du secteur auquel elle appartient. La localisation précise d'entités potentiellement synergiques est donc rendue possible.

Tableau 2 : Exemple de fonctions associées aux flux et de nouvelles pistes de synergies

Flux entrants	Secteurs industriels				Fonctions potentielles des flux sortants
	Pâte à papier	Papier	Traitements et revêtements de surface	Imprimerie	
Acide chlorhydrique (HCl)			Décaper Fournir acide	Décaper	Décaper Fournir acide
Acide sulfurique (H ₂ SO ₄)			Décaper	Fournir acide	Décaper Fournir acide
Blanchet				Absorber eau Restituer encre	Absorber eau Restituer encre Isoler

Certes, la création de ce type de connexions bi-ou tripolaires d'entreprises ne reflète pas l'approche systémique du tissu industriel que prône l'écologie industrielle et qui dirige les projets modernes de parcs et réseaux éco-industriels. Si cette approche reste sans doute optimale pour le bouclage des flux sur un territoire donné, il convient de rappeler que les vitrines de l'écologie industrielle, le parc de Kalundborg et le réseau de Styrie, ne sont qu'une somme de ces connexions bi-ou tri-polaires spontanément formées au fil du temps. L'aspect écosystémique n'a été identifié qu'à posteriori.

Des perfectionnements nécessaires

Dans la perspective d'une poursuite de la recherche intersectorielle de synergies, des améliorations sont bien évidemment à apporter à la méthode utilisée jusqu'à présent. La création d'une syntaxe claire et rigoureuse pour la caractérisation des flux, mais surtout pour le libellé des fonctions, est indispensable et déterminante. Elle devra être garante de l'identification des pistes lors du croisement des bilans E/S en évitant par exemple qu'un même type de produit soit désigné de manières différentes (acide chlorhydrique ou muriatique ou HCl...) ou qu'à chaque nouveau flux soient créés de nouvelles fonctions.

Enfin, la recherche de données quantitatives sur les flux lors des études sectorielles n'est pas systématique, car la complexité d'une telle opération est souvent réhibitoire. Cette évaluation quantitative incontournable est naturellement transférée au niveau local lors de l'étude des pistes de synergies. Ainsi, il paraît indispensable d'optimiser l'étape de recherche des pistes par le recueil de données sectorielles suffisamment discriminantes afin d'éviter une quantité de pistes à étudier à son tour réhibitoire.

Limites de l'approche

L'approche intersectorielle de la recherche de synergies présente des limites inhérentes au caractère synthétique des données qu'elle utilise (études de secteurs).

Tout d'abord, un certain nombre de facteurs « situationnels » essentiels dans la concrétisation d'une synergie ne peuvent être pris en compte :

– *L'aspect socioculturel* : culture du recyclage, de la collaboration, sensibilité environnementale d'un type d'industrie ou pression concurrentielle. L'expérience de Grande-Synthe montre combien ces facteurs sont importants dans ce type de démarche. Une première tentative de mettre en application les principes de l'écologie industrielle sur cette partie de la zone industrielle de Dunkerque a permis de constater le potentiel synergique sur la zone, mais aussi l'indifférence d'une majorité des sites, étrangers à ce type de démarche de collaboration (la première réunion sur le sujet en novembre 1999 n'avait intéressé que deux entreprises^[10]). Le travail d'information et de communication accompli depuis par l'association Ecopal autour des industriels les plus « motivés » a permis de dépasser ces manques culturels et de créer une dynamique : coopération des entreprises dans la

recherche de synergies, extension de la promotion de l'écologie industrielle à d'autres parties de la zone industrielle... Il est intéressant de noter que les entreprises motrices possédaient un système de management environnemental.

– *La faisabilité technico-économique* d'une éventuelle synergie (purification, concentration...) très liée à des données étroitement dépendantes de la situation : taille des flux, qualité (proposée et demandée). L'exemple du transformateur d'aluminium et des lessives de soude est à ce sujet explicite : une production annuelle de 200 t de lessive de soude contenant 50 g/l d'aluminium ne peut être absorbée que par traitement des eaux d'une ville d'au moins 50 000 habitants. Le flux ne nécessite pas de transformation (épuration...) et se trouve directement compétitif face à de l'aluminate de sodium classique. Les besoins de la station d'épuration et l'offre de l'industriel doivent cependant être adaptés.

– *Le bénéfice environnemental*, facteur important pour la concrétisation d'une connexion entre deux entités dépendant de données liées à chaque cas particulier. Les méthodes d'évaluation (ACV...) utilisent en effet des informations précises (quantités...).

– *La dimension réglementaire* : concernant les flux de matières identifiés comme des déchets, la réglementation peut diminuer l'intérêt d'une synergie. Le statut de déchet peut impliquer par exemple pour l'industriel récepteur une autorisation au titre de la rubrique I67 de la nomenclature ICPE (Traitement des déchets industriels provenant d'installations classées). Ce type de démarche a un coût qui peut faire perdre à la synergie son intérêt économique.

Enfin, l'utilisation de bilans E/S axés uniquement sur la nature des flux génère un grand nombre de résultats qui ne sont que des pistes de synergies. Ce type d'approche ne paraît pas pouvoir révéler des synergies « clé en main », directement applicables. Il implique donc une vérification ultérieure de la faisabilité de chaque piste (adéquation des grandeurs physiques des flux sur le terrain...). La recherche des connexions s'effectuera ainsi en deux temps.

CONCLUSION

Cette tentative d'aborder la recherche de synergies matières/énergie par les secteurs d'activités a permis de révéler le potentiel certain de cette approche. Malgré des limites inhérentes à son caractère synthétique, elle offre ainsi la possibilité de créer un outil performant d'identification des liens entre deux ou plusieurs entreprises. Cependant la liste des pistes de synergies réalisée à partir des données intersectorielles devra être confrontée ensuite aux réalités du terrain.

L'analyse des premiers résultats obtenus a par ailleurs souligné une dimension essentielle pour le développement de la valorisation des déchets et des surplus d'énergie en général, et de l'approche intersectorielle en particulier : la dimension fonctionnelle des flux.

Le vaste chantier que représente l'étude des liens entre les secteurs d'activités constitue un nouvel axe de progrès pour

la quête systématique de valorisation, pilier de l'écologie industrielle. Ce nouveau champ d'investigations est susceptible de faire progresser rapidement la connaissance des synergies et sa diffusion. Les outils créés pourraient permettre à toute entreprise, quelle que soit son activité ou sa taille, d'accroître son éco-efficacité, et donc globalement celle de la société industrielle. L'approche intersectorielle se présente ainsi comme un moyen de mettre à la portée de toutes les entreprises ou collectivités un développement durable jusqu'ici réservé à de grandes structures.

*Adoue Cyril

Doctorant - UTT, Laboratoire CREIDD, 12 rue Curie, BP2060, 10010 Troyes Cedex

**Ansart Arnaud

Ingénieur chercheur - EDF R&D, Département éco-efficacité et procédés industriels, Site des Renardières, 77818 Moret sur Loing Cedex - Tél. : 01 60 73 63 14

***Vincent Frédérique

Directeur adjoint - ISIGE, 35 rue St Honoré, 77305 Fontainebleau Cedex

Bibliographie

[1] Moszkowicz P., *Ecologie Industrielle, beurre et argent du beurre*, Déchets Sciences & Techniques, 2001, N° 22.

[2] Erkman S., *Vers une écologie industrielle*. Paris : Charles Léopold Mayer, 1998, 147p. ISBN : 2-84377-027-0.

[4] Bidwell R., Verfaillie H., *Measuring Eco-Efficiency* [En ligne]. Ed. WBCSD, Genève, Suisse, 2000. Disponible sur www.wbcd.org (consulté le 30.10.2001).

[5] Lowe E., *Eco-industrial Park Handbook for Asian Developing Countries* [En ligne], USA, 2001. Disponible sur www.indigodev.com (consulté le 08.07.2002).

[6] [En ligne] Informations disponibles sur www.symbiosis.dk (consulté le 29.03.2002).

[7] Schwarz E., *The Styrian Recycling System*. [En ligne] Disponible sur www.kfunigraz.ac.at/inmwww/styria.html (consulté le 29.03.2002).

[8] Allenby B., *Achieving Sustainable Development Through Industrial Ecology*. International Environmental Affairs, 1992, vol.4, n°1.

[9] [En ligne] Informations disponibles sur www.copacel.fr (consulté le 09.07.2002).

[10] Erkman S., Ray J.C., *Ecologie Industrielle à Grande-Synthe*, Ville de Grande-Synthe, 2000, 41p.

DECHETS SCIENCES & TECHNIQUES

REVUE FRANCOPHONE D'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE

NOTE AUX AUTEURS

Déchets ,Sciences & Techniques revue francophone d'écologie industrielle publie les résultats de travaux réalisés dans le domaine de l'écologie industrielle, principalement consacrés aux déchets, aux sols pollués et aux impacts environnementaux. Les articles peuvent être proposés par des laboratoires scientifiques ou relater des expériences industrielles. La revue est ainsi le lieu privilégié des échanges entre recherche et expertise.

Les thématiques abordées sont les suivantes :

- 1) Approche bio-physico-chimique du déchet;
- 2) Procédés de traitement des déchets;
- 3) Caractérisation et traitement des sols et sites pollués;
- 4) Évaluation environnementale et management des systèmes et des procédés;
- 5) Ecotoxicologie, toxicologie et santé;
- 6) Économie, droit, sociologie, évaluation des politiques publiques;
- 7) Communication, formation.

CONDITIONS GÉNÉRALES DE PUBLICATION

1 - La langue de rédaction est le français. Les articles doivent être accompagnés d'un résumé en français de 100 mots environ, et d'un résumé en anglais plus conséquent (200 mots environ).

2 - Présentation des articles. L'article type comportera environ 5 pages imprimées incluant textes, figures et références soit l'équivalent de 15 000 signes. Les textes originaux doivent être expédiés sur disquette en mentionnant les logiciels utilisés.

3 - L'auteur doit adresser une version papier en 3 exemplaires pour le comité scientifique, comportant tableaux, figures, ou photographies éventuels. Les fichiers de tableaux ou de figures existants doivent être joints sur la disquette avec originaux papier.

L'article doit impérativement comporter les éléments suivants :

- Titre;
- Nom, qualité et coordonnées de l'auteur ou des auteurs;
- Résumés en français et anglais;
- Mots clés;
- Texte principal;
- Références;
- Nomenclatures (symboles et unités).

4 - L'article doit être accompagné d'une note précisant, la ou les thématique(s) souhaitée(s) par l'auteur, selon la répartition de la revue (de 1 à 7).

5 - Les mises au point et revues bibliographiques sont acceptées dans les mêmes conditions que les articles.

6 - La revue est également ouverte :

- aux résumés de thèse;
- aux résumés de mémoires de DEA et DESS;
- aux rapports de stage de Mastère;
- aux informations sur les colloques et séminaires relatifs aux thématiques de la revue.

ENVOI DES ARTICLES

Coordinatrice et contact: Frédérique Dutel - Insa de Lyon - Domaine scientifique de la Doua - Bâtiment Sadi Carnot - LAEPSI, 9 rue de la Physique - 69621 Villeurbanne cedex - Tél: (33) 4 72 43 82 42 - Fax: (33) 4 72 43 87 17 - Mél: fdutel@insa-lyon.fr

Les articles de la revue sont consultables sur le site pro-environnement.com

Rédacteur en Chef: Pierre Moszkowicz, Directeur du Laboratoire d'analyse environnementale des procédés et des systèmes industriels (Laepsi) à l'Insa de Lyon.