

Cyril ADOUE
PROMOTION 2001
Note de Synthèse

**Recherche de Synergies Matières/Energie/Utilités
entre Secteurs Industriels :**
Perspectives et Réflexions Méthodologiques



DIRECTION STRATEGIE ET DEVELOPPEMENT

Introduction

La société industrielle se développe à une allure soutenue depuis environ 200 ans. Pendant longtemps, aucune limite ne semblait pouvoir enrayer cette croissance. Une foi sans bornes dans le progrès technique a créé la certitude qu'il pourrait toujours réparer les dommages collatéraux d'une telle explosion industrielle.

La fin du XX^e siècle a vu la société prendre conscience des dangers représentés par cette marche forcée qui arrivait à dérégler la complexe horloge planétaire et mettait ainsi en péril la survie de l'espèce. Un défi sans précédent lui était proposé : continuer à progresser sans se mettre en danger. L'objectif à atteindre s'est dessiné à la fin des années 80. Il est symbolisé par un concept, le développement durable. EDF, en tant que groupe énergétique de rang mondial, s'est engagé sur cette voie, et étudie notamment les possibilités offertes par un des tout premiers outils du développement durable : l'écologie industrielle. Ce domaine est né au début des années 90 et s'intéresse en particulier et d'un point de vue systémique à la valorisation des déchets et des surplus d'énergie générés par certaines activités.

Si elle peut s'avérer être un chemin à suivre pour une entreprise, l'écologie industrielle pourrait éventuellement se présenter comme un moyen de mettre ce développement durable à la portée de ses clients et fournisseurs à travers des services d'un nouveau type.

Une approche singulière de la valorisation systématique des déchets et surplus d'énergie consiste à s'intéresser aux liens entre secteurs industriels. Ce document propose d'en expliquer l'intérêt, d'en présenter les limites, et de partager l'expérience acquise autour de l'étude des synergies entre 4 secteurs industriels. Il souligne également une dimension importante, à intégrer à la recherche de ces connexions entre secteurs, mais également à d'autres outils de valorisation des déchets et des surplus d'énergie (bourses aux déchets...) : la dimension fonctionnelle de ces flux.

L'écologie industrielle, un outil du développement durable

Le développement durable et la société industrielle

Popularisé en 1987 par le Rapport Brundtland, le développement durable a été consacré à Rio en 1992 au Sommet de la Terre comme un « développement qui répond au besoins présents sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs ». Cet objectif englobe les aspects sociaux, économiques mais également environnementaux de l'activité humaine. Il se présente à la fois comme une dernière chance et un aboutissement pour la société industrielle du XXI^e siècle.

Le monde industriel joue évidemment un rôle incontournable dans chacune des 3 dimensions de ce développement durable. Une rapide prise de conscience a abouti à la création du World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)¹ qui au bout de 10 ans regroupe 150 compagnies membres (Dow, Shell, l'Oréal, Suez...). L'éco-efficacité, combinaison ambivalente d'efficacité économique et écologique, est au cœur de la philosophie de ce conseil. Elle est représentée par le rapport [Valeur du produit ou service / Impact environnemental] et est notamment axée sur la revalorisation de déchets de production par d'autres industries.

Certains considèrent que depuis 1987 le terme « développement durable » a souvent été abusivement utilisé, galvaudé. Ce qui n'était qu'un concept abstrait perdu dans un labyrinthe de recommandations a peu à peu pris corps à travers les travaux et actions qu'il a suscités. Le monde industriel a pourtant amené sa contribution, a cherché quelles étaient les voies à suivre (WBCSD...) et a pris des engagements clairs : Shell s'est engagé à faire 50 % de son C.A. sur

¹ www.wbcsd.ch

des énergies renouvelables d'ici 10 ans², EDF à installer 250 à 500 MW d'électricité éolienne d'ici 2005³... Ces actions montrent ainsi ce l'on peut faire de concret pour aller vers ce développement durable lui donnant ainsi une forme palpable, un visage.

L'écologie industrielle

Née vers la fin des années 80 avec l'article fondateur « Strategies for manufacturing »⁴ écrit par R.Frosch et N.Gallopoulos (General Motors), l'écologie industrielle ne possède pas encore de définition officielle.

L'association de ces 2 termes peut paraître surprenante tant ils nous paraissent inconsciemment incompatibles. « Ecologie », en dehors de toute dimension idéologique, désigne l'écologie scientifique, l'étude des écosystèmes. « Industrielle » fait référence, au-delà du système de production industrielle, à la société industrielle dans son ensemble⁵ (production mais aussi services, consommation, transports, agriculture...).

Elle est ainsi une approche systémique de cette société industrielle et se focalise sur l'étude des flux et stocks de matières et d'énergie qui la traversent et la composent. Ce domaine scientifique émergent propose de relever plusieurs défis. Un, cependant, occupe une place essentielle : la valorisation systématique des déchets et des surplus d'énergie. Par analogie avec les écosystèmes naturels⁶, le but 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. Si le bénéfice environnemental de ce type de réseau paraît assez clair (utilisation plus intensive signifie par exemple moindre ponction dans les ressources de la planète...), le gain économique semble moins trivial. Le traitement des déchets représente pourtant un coût de plus en plus important : 17 Milliards de francs en 1997 pour les entreprises françaises. Si de nouveaux débouchés se dessinent à travers des échanges entre entreprises, ces coûts vont diminuer. Devenu marchandise, le déchet peut même s'avérer une nouvelle source de revenus.

De plus, de tels échanges permettent d'acquérir des matières premières moins chères : les coûts d'extraction ont disparu, ceux de transformation se limitent à purifier ou légèrement modifier des flux souvent proches du besoin. Des chercheurs de l'Université de Cornell (USA) ont évalué que des industriels membres d'un tel « écosystème » pouvaient obtenir des rendements supérieurs de 20 à 30 %⁷.

L'écologie industrielle ne reste pas qu'un concept : de nombreuses réalisations mettent ses principes en pratique de par le monde. Plus d'une vingtaine de parcs ou réseaux éco-industriels ont vu le jour en 10 ans. Une majorité se trouve en Amérique du Nord et en Europe. Si l'éclosion de tels projets a pu survenir, notamment grâce à l'action du PCSD⁸ sous l'administration Clinton, c'est qu'il existe des résultats probants de leur éco-efficacité dans toute son ambivalence.

Le parc le plus célèbre et le plus étudié se situe à Kalundborg⁹ au Danemark. Les relations de collaborations et d'échanges de déchets et d'énergie qui le caractérisent se sont mises en place spontanément et impliquent entre autre la municipalité, une centrale thermique, une raffinerie,

² source : www.pwcrecruite

³ « Pour un développement durable - Bilan Environnement 2000 » - EDF

⁴ « Strategies for manufacturing » - R.Frosch & N.Gallopoulos - Scientific American - Nov. 1989

⁵ « Vers une écologie industrielle » - S.Erkman - Ed. Charles Léopold Mayer

⁶ B. Allenby cité dans « Industrial Ecology : an introduction » - A.Garner & G.A.Keoleian - NPPC

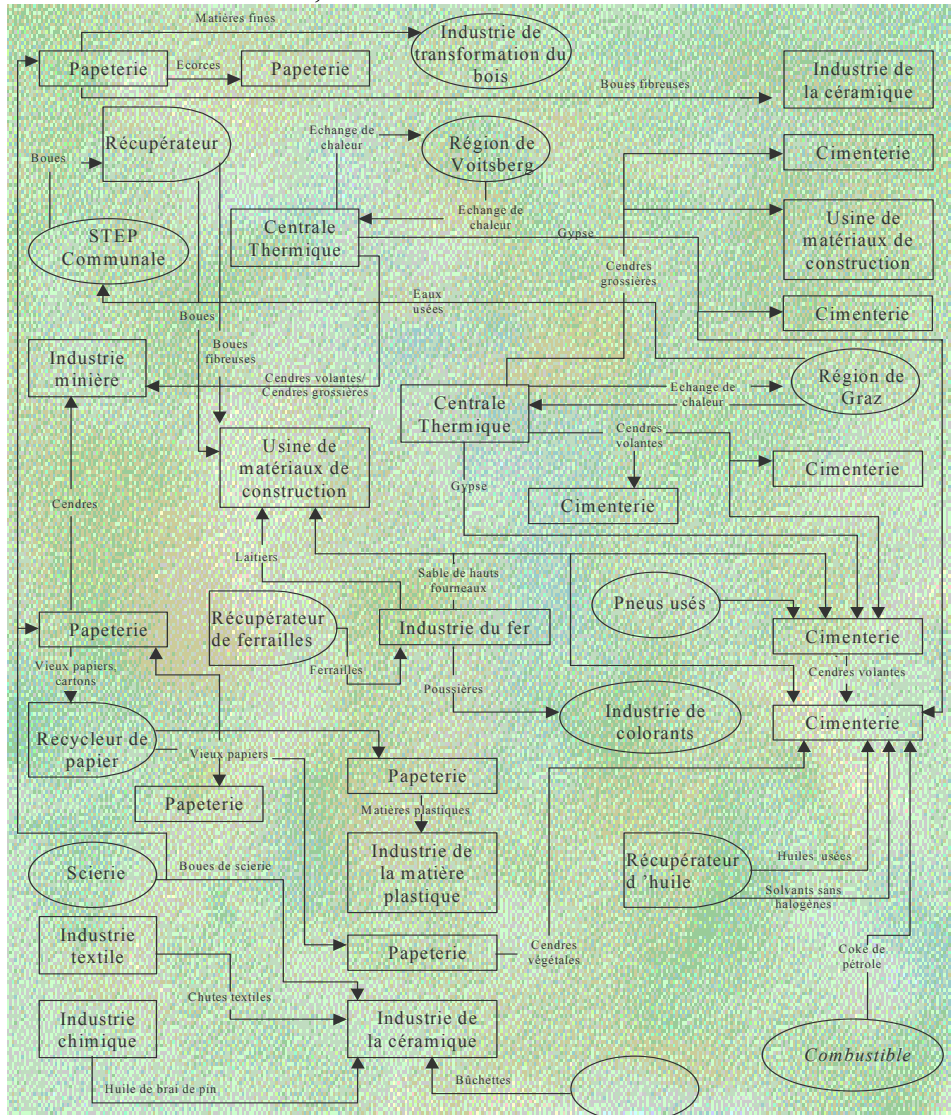
⁷ « Designing Eco- Industrial Parks » - E. Cohen-Rosenthal, T.McGaillard, M.Bell - www.cornell.edu

⁸ President Council for Sustainable Development

⁹ www.symbiosis.dk

une usine d'acide sulfurique, une usine de panneaux de construction ...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 exemple connu de réseau, qui s'est lui aussi construit spontanément, est localisé en Styrie, province autrichienne de 1,2 Millions d'habitants.



The Styrian Recycling System¹⁰

En 1992 les quantités suivantes étaient réutilisées par le système¹⁰ :

- 34 000 tonnes de gypse
- 200 000 tonnes de laitiers d'aciérie
- 85 000 tonnes de laitiers de hauts fourneaux
- 28 300 tonnes de sciure
- 445 000 tonnes de déchets de bois
- 310 tonnes de chutes textiles
- 5 500 tonnes de pneus usés
- 4 500 tonnes de coke de pétrole
- 5 400 tonnes de déchets d'abattoirs
- 130 000 tonnes de métaux non-ferreux
- ...

¹⁰ Source : www.kfunigraz.ac.at/inmwww/styria.html

L'écologie industrielle : un outil pour aller vers un développement durable

Malgré le rapide essor qu'a connu ce nouveau domaine en une dizaine d'années, la tâche à effectuer pour faire croître l'éco-efficacité de la société industrielle est considérable. Sa progression reste liée à celles de la connaissance et à l'évaluation (économique et environnementale) des relations synergiques entre les composantes d'un système. L'écologie industrielle introduit 2 nouvelles données dans la société industrielle : la coopération et l'utilisation de déchets. L'obstacle culturel est considérable : la réticence à « ré-utiliser » et l'isolationnisme naturel des composantes du système industriel généré par la règle de la concurrence en sont les principales dimensions. Cette règle de la concurrence a cependant laissé des portes ouvertes dans les entreprises, multinationales ou PME. Elle a en effet mis sur les rails une machine qui peut permettre de franchir ces obstacles : la compétitivité. Les réelles perspectives d'améliorer cette dernière sont des moteurs d'adhésion à des écosystèmes industriels et aux changements qu'ils imposent. 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 » (B.Allenby⁶) susceptible de mener l'ensemble de la société vers cet objectif.

Intérêt d'une approche intersectorielle des synergies

Un moyen de progresser rapidement

Les avancées de la valorisation des déchets et surplus d'énergie, cœur de l'écologie industrielle, passent par un approfondissement de la connaissance des relations synergiques. Aujourd'hui, les progrès dans ce domaine restent essentiellement liés à 2 facteurs.

Tout d'abord, des créations spontanées de synergies entre 2 entreprises peuvent alimenter ce savoir si elles sont documentées (publications...).

Ensuite, l'autre précieuse source d'informations reste évidemment la vingtaine voire trentaine de parcs ou réseaux industriels. Cette dernière comporte cependant de sérieuses limites. Les parcs et réseaux sont relativement peu nombreux et ne regroupent qu'un nombre réduit d'entreprises ; ainsi seul un très faible segment des activités de la société industrielle est observé. Certaines de ces réalisations ne concernent qu'un nombre très réduit de secteurs comme celle de la province de Styrie qui touche essentiellement des cimenteries, des papeteries et des centrales thermiques, ou encore le projet de démonstration initié 1997 par le WBCSD à Tampico, au Mexique¹¹ : sur les 21 entreprises participantes, 13 appartenaient au même secteur de la pétrochimie. Ces projets, souvent liés à une configuration locale bien particulière, sont ainsi relativement discriminants.

L'approche intersectorielle est fondamentalement différente. Son but est de rechercher toutes les pistes de synergies possibles entre les secteurs industriels. Le souci de précision propre à la recherche de synergies réalisables est remplacé par un souci d'exhaustivité dans la recherche des pistes de synergies. Des secteurs sont abordés partiellement, voire délaissés dans les projets de parcs ou réseaux à cause de la taille de leurs flux ou simplement de leur absence de la zone étudiée. Ils seront désormais analysés dans toute leur variété (et non plus seulement un ou 2 de leurs procédés). L'approche intersectorielle s'affranchit ainsi du contexte local qui caractérise parcs et réseaux et qui concentre les efforts sur l'étude d'un nombre d'interconnexions obligatoirement limité par les activités précises d'un nombre fini d'entreprises ou collectivités. Elle n'est plus discriminante, offre un nouveau champ d'investigations permettant de capitaliser aisément les informations et de faire progresser plus vite la connaissance des synergies matières/énergie/utilités¹².

¹¹ « By-Product Synergy : A demonstration project, Tampico, Mexico » - BCSD Gulf of Mexico - www.wbcd.ch

¹² Utilité : résultat de la transformation d'une énergie primaire sous une forme directement utilisable : vapeur, air comprimé...

Pourquoi « intersectorielle » ?

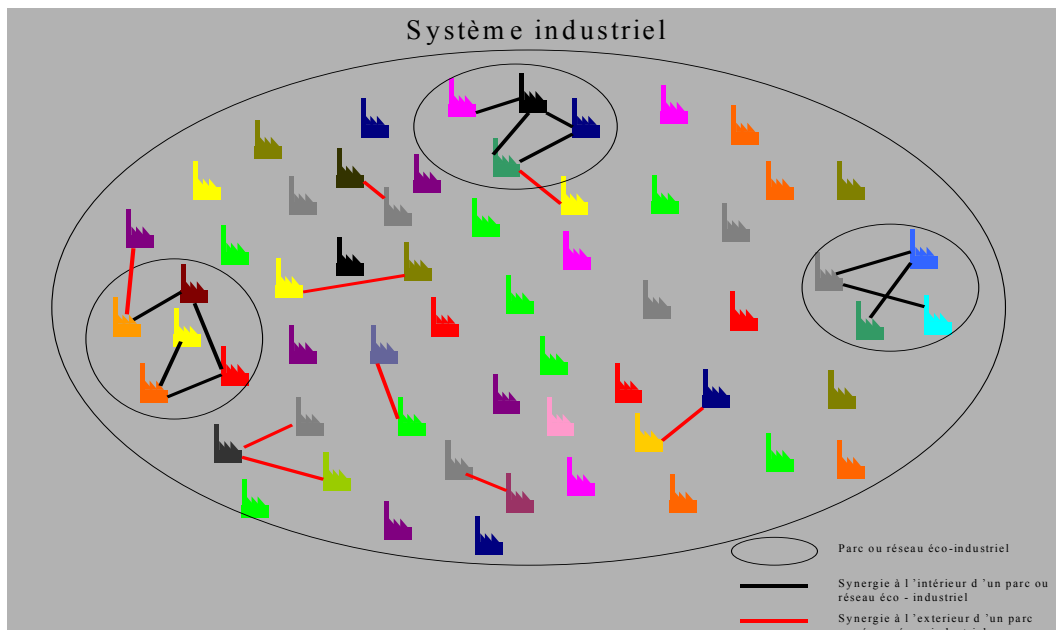
Chaque secteur regroupe souvent plusieurs procédés qui peuvent être radicalement différents : en imprimerie, les principaux sont l'offset et l'héliogravure. Dans le secteur du papier, la pâte est fabriquée de diverses manières, chimique ou mécanique... Les flux de matières et d'énergie sont conditionnés par la nature du procédé mis en œuvre : dans le cas de la fabrication de pâte à papier, les procédés chimiques consomment des produits chimiques (soude...), de l'eau et de la chaleur ; les procédés mécaniques utilisent essentiellement de l'énergie mécanique. Ainsi, les procédés régissant les flux, la question sur l'opportunité de fixer au niveau sectoriel le champ d'investigations apparaît effectivement naturelle.

La raison de ce choix est très pragmatique. Elle est essentiellement liée à l'exploitation future de la connaissance des synergies. En France, comme dans beaucoup de pays (USA...), la société industrielle est subdivisée en secteurs d'activités. Environ 700 codes NAF (Nomenclature d'Activités Françaises) les identifient de manière assez précise sans toutefois distinguer les différents procédés. Cette codification et la localisation ainsi rendue possible offrent des perspectives intéressantes pour l'exploitation de ces données et expliquent ainsi une approche sectorielle.

Les applications et les limites

Les applications possibles d'une connaissance des synergies entre les secteurs industriels ouvrent de nouveaux horizons. Ce savoir pourrait évidemment faciliter la conception de parcs ou réseaux éco-industriels. Son aspect systématique l'amènera à broser l'ensemble des secteurs d'activités et permettra d'étudier les types d'entreprises jusque là en dehors du rayon d'action de l'écologie industrielle. L'application la plus importante semble toutefois la possibilité offerte aux entreprises ou collectivités de dépasser les solutions individuelles (modification de procédés) pour faire croître leur éco-efficacité en dehors de tout projet de parc ou réseau. Une base de données qui capitaliserait les résultats de cette approche permettrait à tout entrepreneur motivé de valoriser ses déchets ou de trouver des sources d'approvisionnement moins chères. Grâce à l'enregistrement obligatoire de leurs activités avec un code NAF, il pourrait identifier les secteurs et localiser les industriels susceptibles de devenir des clients pour les déchets ou des fournisseurs de matières premières et d'énergie/utilités.

Cette approche singulière peut ainsi générer une multiplication des connexions bi- ou tri-polaires à travers le système industriel global en dehors de tout parc ou réseau éco-industriels. L'éco-efficacité de ce système serait ainsi améliorée et le développement rapide de nouvelles synergies est par ailleurs susceptible d'en faire émerger de nouvelles formes (mutualisation...).



Un résultat de l'application de l'approche intersectorielle des synergies : la multiplication des connexions dans le système industriel.

La principale limite de l'approche intersectorielle réside dans sa dimension synthétique. La quantité importante de travail que nécessite la constitution d'une base de données intersectorielles ne sera sans doute pas suffisante pour fournir des informations suffisamment précises pour être exploitées directement. La recherche de synergies devra ainsi se faire en 2 temps : une identification rapide des pistes puis une sélection précise des connexions viables sur le terrain. Une approche détaillée de la société industrielle, acteur par acteur, serait certes idéale et permettrait de distinguer immédiatement les synergies effectivement réalisables. Il ne semble cependant pas nécessaire de développer les raisons pour lesquelles cette tâche titanesque ne semble pas dans le domaine du possible.

Une autre limite réside dans l'aspect non-systémique d'une de ses principales applications. L'approche systémique reste la plus judicieuse pour boucler de manière optimale les flux de matières/énergie/utilités circulant au sein d'un système. Or, l'application la plus originale de la connaissance intersectorielle des synergies est la recherche pour une entité (entreprise ou collectivité) des éventuelles connexions de ses flux de matières ou d'énergie à d'autres entités proches. Ce regard « égocentrique » est fondamentalement différent d'une vue systémique. Il convient toutefois de rappeler que les principaux exemples concrets d'écologie industrielle que sont le réseau de Styrie et le parc de Kalundborg sont en fait une somme de connections bi- ou tri- polaires constituées spontanément au fil des années. La dimension systémique s'est seulement dessinée à posteriori. Cet aspect non-systémique peut ainsi se révéler un aspect facilitant la création de synergies (moins d'acteurs, moins d'inertie), non une limite de ce type d'application.

Intérêt commercial de l'approche intersectorielle

Actuellement, une très large majorité des solutions proposées aux entreprises et aux collectivités depuis des années pour résoudre le problème des déchets sont du type « end-of-pipe » (bout-de-tuyau). Elles consistent à détruire ou mettre en décharge cette matière (après un éventuel traitement destiné à réduire la toxicité) et sont souvent très coûteuses.

En milliers de tonnes

	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Incinération	795,99	898,57	909,79	984,43	1 022,37	1 210,15	1 193,35	1 287,74
Mise en décharges de classe 1	538,36	658,49	617,58	773,15	718,85	727,70	746,57	692,91
Traitements physico-chimiques	395,89	377,00	343,38	368,03	343,77	340,32	324,20	318,88

(France métropolitaine)

Source : ADEME - Agences de l'eau

Déchets industriels spéciaux traités en externe selon les principaux modes de traitement⁹

La gestion des déchets a coûté plus de 17 Milliards de francs aux entreprises en 1997⁹ et représente pour elles le principal poste de dépenses environnementales.

Les connaissances sur les synergies qu'est susceptible de fournir l'approche intersectorielle peuvent changer cet état de fait.

Dans l'absolu, ces connaissances peuvent permettre de trouver d'autres solutions moins coûteuses que la mise en décharge ou l'incinération : la reprise des déchets par d'autres industriels préalablement identifiés et localisés. De nouvelles sources de revenus sont même susceptibles de se créer à travers d'éventuelles ventes de déchets, de surplus d'énergie (vapeur...) ou de nouveaux gisements de matières premières.

La maîtrise de ce savoir peut donc permettre de proposer individuellement à d'autres entreprises ou collectivités un type de services absolument révolutionnaires par rapport à l'ensemble des solutions « end-of-pipe ». De la simple résolution d'un problème de déchets, le conseil peut porter sur l'ensemble des flux entrants et sortants voire même sur les conditions techniques (traitements intermédiaires...) et la communication environnementale autour de la concrétisation d'une synergie. Ce dernier aspect est beaucoup moins trivial qu'il n'y paraît. La méfiance vis à vis de l'utilisation de déchets reste vivace, et il convient d'amener les preuves, notamment dans sa dimension environnementale¹³, de son intérêt. Des outils d'évaluation du type ACV peuvent par exemple être utilisés pour mesurer le bénéfice environnemental d'une synergie et aider les entreprises à asseoir leur communication.

Les services auprès des collectivités locales peuvent également porter sur l'aménagement de zones d'activités qui accueilleraient des industries « complémentaires ».

La connaissance des synergies entre secteurs industriels peut permettre un autre positionnement à son détenteur : à l'interface entre les producteurs et les consommateurs de déchets qu'il aura préalablement identifiés et localisés, il peut proposer une reprise des déchets à des prix inférieurs à une mise en décharge ou une incinération. Après un éventuel traitement/conditionnement qui représenterait la valeur ajoutée, ces nouvelles matières premières seraient revendues à un client.

Cette connaissance se présente ainsi comme un moyen de réduire coûts et impact environnementaux pour ses détenteurs. Elle peut même permettre de trouver de nouvelles sources de revenus. Ses applications peuvent également, à travers des prestations de services innovantes, mettre à portée de toute entreprise ou collectivité, sans discrimination liée à la taille ou aux activités, ce développement durable encore réservé aux grandes structures.

¹³ Voir l'article « La fausse valorisation ou les excès du recyclage » - M.Lassus - Environnement & Techniques - n°=207

Réflexions méthodologiques - Une approche fonctionnelle indispensable

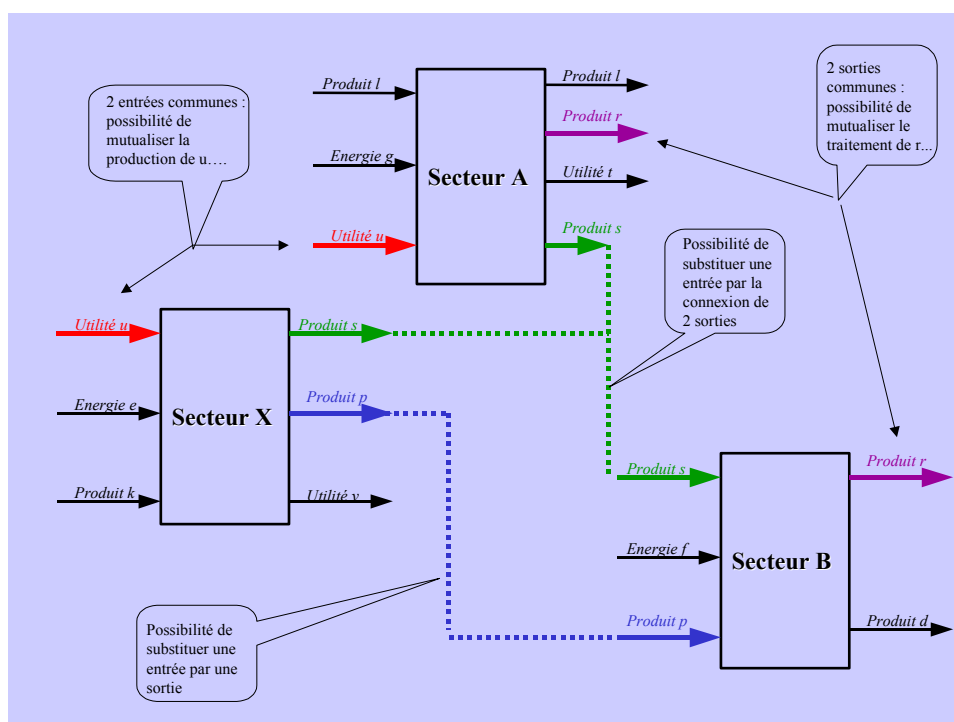
Les réflexions développées dans le paragraphe suivant reposent sur l'analyse de 3 études sur 4 secteurs d'activités, effectuées entre mars et août 2001 au sein de la Direction Stratégie et Développement de EDF dans le cadre de la mission professionnelle du Mastère Spécialisé en Ingénierie et Gestion de l'Environnement proposé par l'ISIGE¹⁴. Ces études concernent les secteurs de la production de pâte et de papier¹⁵, de l'imprimerie¹⁶ et des Traitements et Revêtements de Surface (TRS)¹⁷.

Un but : constituer une base de données - Un outil : l'étude sectorielle

Les applications de l'approche intersectorielle précédemment évoquées imposent la création d'un outil capable de répondre au minimum aux 3 questions suivantes :

- **Un flux f** (matière ou énergie/utilité) est émis par une ou plusieurs entreprises dans la ville Y, quelles sont les connexions possibles et avec quelles entités, situées à quel endroit ?
- **Quelles sont les entités susceptibles d'avoir des liens synergiques avec l'entreprise X**, située dans la ville de Y et dont l'activité est identifiée par le code NAF Z ? Où se trouvent elles ?
- **Quels sont les liens potentiels entre n entreprises** identifiées dont les activités sont repérés par les codes NAF A, B, C, D.... ?

L'outil le plus adapté pour exploiter cette « connaissance intersectorielle » se dessine sous la forme d'une base de données. Contenant les flux entrants et sortants de chaque secteur, elle doit être construite de manière à pouvoir répondre à ces questions.



Un exemple d'utilisation d'une base de données intersectorielles

¹⁴ Institut Supérieur d'Ingénierie et Gestion de l'Environnement - www.isige.ensmp.fr

¹⁵ « Synergies Intersectorielles : le secteur du papier » A. Ansart, C.Adoue - EDF HE-55/01/006/A.

¹⁶ « Synergies Intersectorielles : le secteur de l'imprimerie » A. Ansart, C.Adoue - EDF HE-55/01/007/A.

¹⁷ « Synergies Intersectorielles : le secteur des Traitements et Revêtements de Surface (TRS) » A. Ansart, C.Adoue - EDF HE-55/01/012/A.

Comme le montre le schéma précédent, les formes des pistes de synergie peuvent être variées et amener à toutes sortes de collaborations entre des entreprises (2 entrées communes : mutualisation de l'approvisionnement ou de la production : air comprimé..., 2 sorties communes : mutualisation du traitement : déchets, eaux usées...). L'essentiel repose tout de même sur la substitution (totale ou partielle) d'un flux entrant par un flux sortant d'une autre entité.

Les 2 temps imposés par ce type de démarche (identification des pistes puis sélection des synergies viables sur le terrain) libèrent la première phase du souci de précision. L'entame de la construction de la base de données sectorielles, outil principal de la phase d'identification des pistes, a donc été dirigé par un souci d'exhaustivité. Cet état d'esprit est primordial. Il permet d'ouvrir largement le champ d'investigations et d'identifier un maximum de possibilités de connexions, même les plus saugrenues ou celles aux formes les plus singulières. Les produits ou démarches innovants ont souvent un caractère surprenant au premier abord. La synergie entre la fabrication de pâte à papier et l'industrie pharmaceutique autour des stéroïdes contenus dans les tanins des liqueurs noires (effluents liquides récupérés après cuisson des fibres) pour fabriquer des anticholestérols¹⁸ est un exemple concret de ce type de synergie originale. Elle conforte l'idée que cet état d'esprit est utile et nécessaire.

L'unité de cette base de données intersectorielle est l'étude sectorielle, centrée sur le bilan des entrées et sorties du secteur. Avant tout qualitatif, il recense au minimum la nature de ces différents flux .

Une analyse comporte essentiellement 4 volets :

- **Une analyse technico-économique** succincte du secteur (parts des différents procédés, nombre d'entreprises, tailles...). Les sources d'informations sont essentiellement de 3 natures : données du SESSI¹⁹, Cahiers de l'Industrie (Ministère de l'Industrie), syndicats ou associations professionnelles.
- **Une étude des principaux procédés** utilisés en France, généralement disponibles dans des livres spécialisés (exemples : « Le bois, la pâte, le papier »²⁰, « Traité de galvanotechnique »²¹, Techniques de l'Ingénieur, périodiques sectoriels : Caractères ...). Les procédés sont également parfois décrits dans d'autres ouvrages généralistes (Encyclopaedia Universalis...). Les centres techniques, souvent liés à un syndicat ou une association, peuvent également être des sources d'information. L'entretien avec un industriel permet de répondre aux dernières interrogations.
- **Le bilan des divers flux entrants et sortants.** L'étude des procédés donne déjà beaucoup d'informations à ce sujet, mais il est bien souvent nécessaire de la compléter. L'entretien est l'outil le plus performant. Des organismes spécialisés (ADEME²², CEREN²³, CITEPA²⁴...) sont susceptibles de fournir des données sur la nature exacte des flux, voire des informations quantitatives. Des agences ou ministères étrangers de l'industrie ou de l'environnement peuvent également se révéler de prolifiques sources d'informations (US EPA²⁵, NCDENR²⁶).
- **Un recensement des différentes synergies existantes ou des idées de connexions** de flux à d'autres secteurs.

¹⁸ Source : Utopies News Service

¹⁹ Service des Statistiques Industrielles

²⁰ « Le bois , la pâte, le papier » - P. Valette, C. de Choudens

²¹ « Traité de galvanotechnique » - Louis Lacourcelle - Galva-Conseil Editions

²² Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie - www.ademe.fr

²³ Centre d'Etudes et Recherches Economiques sur l'ENergie

²⁴ Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique

²⁵ US Environment Protection Agency - www.epa.gov

²⁶ North Carolina Department of Environment and Natural Resources - www.p2pays.org

La mise en forme des bilans entrées/sorties est déterminante pour l'exploitation de la base données. La recherche de pistes de synergies entre les 4 secteurs étudiés a fait apparaître les contours d'une syntaxe qui doit régir de manière rigoureuse la composition de ces bilans.

Premiers résultats et pistes d'amélioration

Le croisement des 4 premiers bilans Entrées/Sorties des secteurs de la production de pâte, de la production de papier, de l'imprimerie et des Traitements et Revêtements de Surface a permis d'identifier de nombreuses pistes de synergies : 88 possibilités de connexions de type « substitution » (c'est à dire lorsqu'un flux entrant peut être substitué en partie ou totalement par un flux sortant d'une autre entité). Les synergies du type « mutualisation » n'ont pas été comptabilisées.

Pistes de synergies entre les secteurs étudiés Approche Matière/Energie-Utilités					
Matières/Energie/ Utilités	Pâte	Papier	TRS	Imprimerie	Possibilités de synergies/ Commentaires
Soude (NaOH)	<ul style="list-style-type: none"> • Consommée pour la fabrication de pâte chimique: défibrer la cellulose (dissolution de la lignine). 		<ul style="list-style-type: none"> • Consommée pour dégraisser chimiquement, décaper des non-ferreux (aluminium), pour fournir une base lors de l'assemblage des bains de revêtements électrolytiques (Cr, Sn, Cu/Sn, Cu, Cd, Zn, Zn/Ni...) ou chimiques (Cu, Ni). • Rejetée en partie avec les bains usés. 	<ul style="list-style-type: none"> • Consommée en offset, pour fournir une base aux bains révélateurs de films ou de plaque. • Rejetée avec les bains 	4 possibilités de synergies
Savon	<ul style="list-style-type: none"> • Consommé pour désencrer les papiers recyclés. 		<ul style="list-style-type: none"> • Rejeté avec les bains de dégraissage usés (saponification des acides gras). 		1
Ammoniaque (NH ₄ OH)	<ul style="list-style-type: none"> • Consommé pour la fabrication de certaines pâtes chimiques : défibrer la cellulose (dissolution de la lignine). 		<ul style="list-style-type: none"> • Consommé pour fournir une base lors de l'assemblage des bains de revêtements électrolytiques (Zn/Ni, Cu) et chimiques (Ni) ou pour neutraliser après passage dans une solution acide (anodisation). • Rejeté avec les bains usés et la solution de neutralisation usée. 		1
Acide sulfurique (H ₂ SO ₄)	<ul style="list-style-type: none"> • Consommé pour produire du ClO₂ utilisé pour blanchir les pâtes. 		<ul style="list-style-type: none"> • Consommé pour décaper, fournir un acide lors de l'assemblage de bains de revêtements électrolytiques (Cd, Cu, Cr) ou des solutions d'anodisation. • Rejeté avec les bains et les solutions usés. 	<ul style="list-style-type: none"> • Consommé pour fournir un acide aux bains de cuivrage des formes imprimantes en héliogravure. • Rejeté avec les bains usés. 	4

Les synergies comptabilisées sont uniquement du type « substitution » : un flux rejeté est consommé par un autre secteur, se substituant partiellement ou totalement au flux entrant existant.

Exemples de pistes de synergies

Cette tentative d'aborder les échanges de matières ou d'énergie/utilités sous l'angle sectoriel a mis en lumière les défauts de jeunesse des études sectorielles alimentant la base de données. Le premier concerne la discrimination à l'égard de certains procédés marginaux. La contrainte temporelle n'a en effet pas permis de détailler ces derniers. Dans le cadre d'une poursuite de l'exploration intersectorielle et d'une éventuelle exploitation commerciale, il convient de corriger ce type d'insuffisance pour pouvoir répondre de manière optimale aux besoins de tout client.

Ensuite, la variabilité de la syntaxe a posé quelques problèmes lors du croisement des 4 bilans Entrées/Sorties. Un produit chimique était parfois identifié par un de ses noms (acide muriatique par exemple) ou par un autre (acide chlorhydrique) ou tout simplement par sa

formule chimique (HCl). L'informatisation de la base de données qu'impose une poursuite des travaux nécessite une syntaxe claire et rigoureuse : le fonctionnement de l'outil en dépend.

Des oublis concernant certaines activités génériques (nettoyage, transport...) indépendantes du procédé ont également été remarqués. Ce type d'activité possède pourtant un fort potentiel synergique de par sa quasi-omniprésence. Il convient donc de bien identifier les activités génériques afin d'éviter tout oubli et de rendre une approche synthétique, certes centrée autour des procédés, la plus complète et donc la plus proche du terrain possible.

Enfin, la recherche intersectorielle s'impose en 2 temps : identification des pistes puis sélection en confrontant chaque possibilité aux réalités du terrain. Uniquement qualitative, la première phase va automatiquement produire un nombre important de résultats à examiner et générer ainsi une quantité considérable de travail dans un deuxième temps. Un premier dégrossissement semble s'imposer avant la confrontation aux réalités du terrain pour éviter que cette phase ne soit rédhibitoire. Une possibilité consiste à lier à chaque flux une liste d'indicateurs suffisamment discriminants. Ils concerneraient l'ordre de grandeur de certaines de leurs caractéristiques physiques : taille/débit, densité, continuité, pureté, concentration...mais aussi une dimension importante : la valeur de la matière ou de l'énergie/utilité. La recherche de ces informations, même si elle s'avère importante, ne devra toutefois pas devenir un point bloquant.

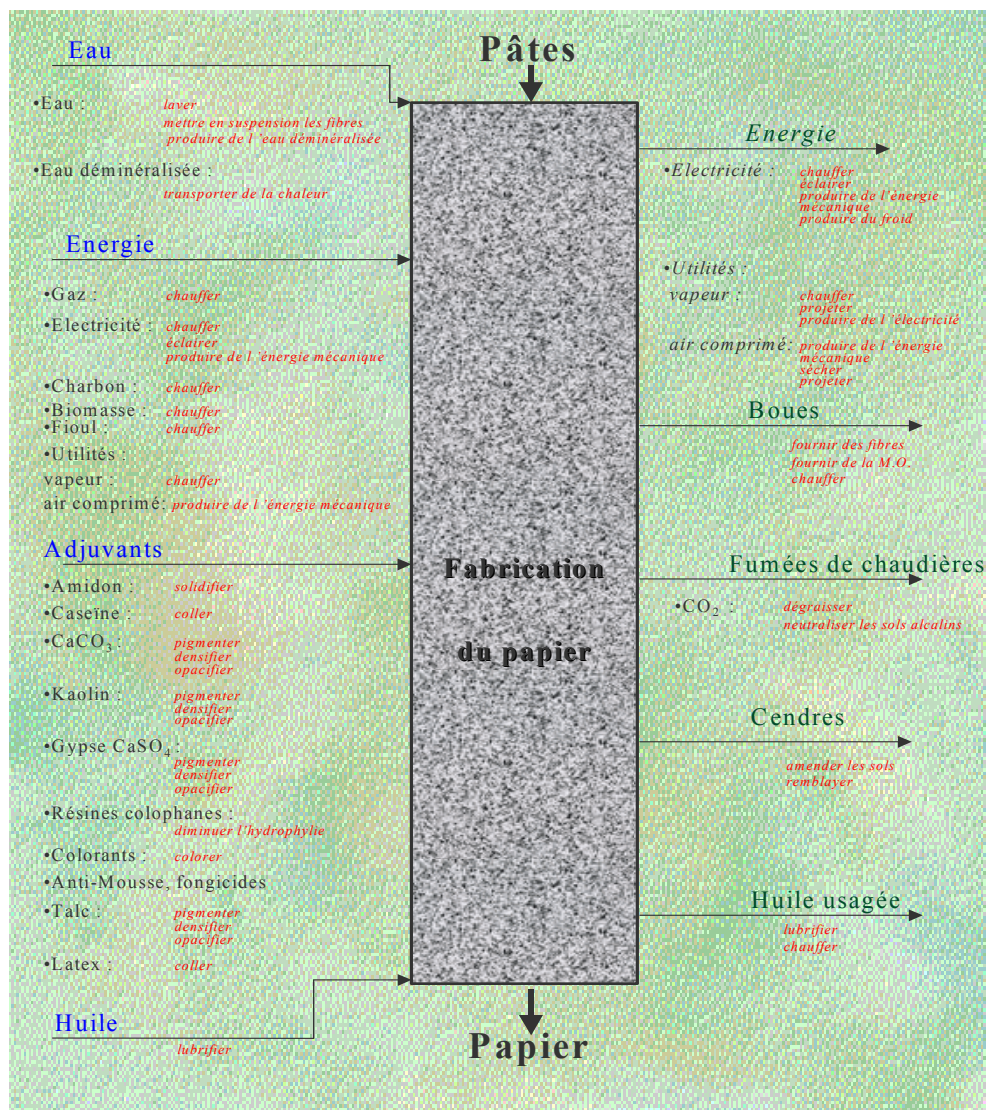
Des défauts structurels sont par ailleurs apparus. Ils sont liés au type même de l'approche et concernent des facteurs situationnels variables d'un cas à l'autre et qui ne peuvent pris en compte par une base de données sur les secteurs, par essence synthétique.

- **L'aspect socioculturel** est de ceux-là : la culture du recyclage, de la collaboration, la stigmatisation environnementale d'un type d'industrie ou la pression concurrentielle sont des facteurs qui peuvent jouer un rôle déterminant lors de la concrétisation d'une synergie. Leur influence est cependant à géométrie variable et peut être très différente d'un industriel à l'autre. Si ce type d'informations peut constituer une aide pour gérer plus efficacement les tentatives de réalisation de synergies, il ne semble pas être un indicateur suffisamment objectif pour révéler si, a priori, une synergie économiquement et techniquement possible se réalisera.
- **La dimension technique d'une éventuelle synergie** (purification, concentration...) est également très liée à des facteurs étroitement dépendants de la situation : taille des flux, qualité (proposée et demandée)...la faisabilité peut ainsi varier d'un cas à l'autre. De plus, la technique évolue très vite et une réalisation impossible hier peut rendre demain une piste de synergie viable.
- **Le bénéfice environnemental**, facteur déterminant pour la concrétisation d'une connexion entre 2 entités, est également dépendant de données liées à chaque cas particulier. Les méthodes d'évaluation (ACV...) utilisent en effet des informations précises (quantités...) que l'approche intersectorielle ne peut fournir.
- **La dimension réglementaire**, surtout à travers les arrêtés d'autorisation des ICPE particuliers à chaque entreprise, peut enfin varier d'un cas à l'autre. Certaines informations réglementaires pourraient toutefois venir compléter les données sectorielles : la référence des textes en vigueur pour chaque flux, leur classification (DIS, DIB...).

La dimension fonctionnelle : de nouvelles possibilités de synergies

L'étude des pistes de synergie entre les 4 secteurs analysés a fait apparaître une insuffisance sérieuse de la focalisation sur l'aspect matières/énergie/utilités. Cet unique angle de vue auquel était subordonnée la recherche d'éventuels liens condamnait certains déchets à rester des déchets. Le blanchet, par exemple, est une pièce d'environ 1m² de caoutchouc et de tissu employée en imprimerie offset pour déposer l'encre sur le papier à imprimer. Ce produit est extrêmement résistant aux contraintes mécaniques et à la chaleur, absorbe l'eau et est un bon isolant thermique²⁷. A peine usé, il est réformé par l'imprimeur pour éviter toute variation de la qualité de la production. Dans une base de données importante où il serait uniquement identifié par son nom ou sa composition, les chances de trouver un débouché pour les blanchets sont quasiment nulles malgré des qualités pourtant intéressantes. Intuitivement, le caractère isolant, par exemple, semble susceptible de pouvoir être utilisé ailleurs (bâtiment, automobile...).

Pour pallier à cet inconvénient, en entrée, à chaque flux entrant a été associé l'ensemble des fonctions remplies dans les divers procédés du secteur. En sortie sont indiquées toutes les fonctions déjà remplies (donc susceptibles de l'être à nouveau) par le type de matière, d'énergie ou d'utilité concernée.



²⁷ Revue « Caractères » n°= 500

*Exemple d'un bilan E/S intégrant une double approche
matières/énergie/utilités + fonctions*

Cette approche permet de s'affranchir de l'existant et de proposer des solutions innovantes. Un industriel X qui par exemple utilise de l'acide sulfurique comme source d'acide peut parfois en utiliser d'autres types, mais c'est le faible coup de H_2SO_4 qui a déterminé son choix. La focalisation sur la dimension matières/ énergie/utilités conduit ainsi à prospecter et trouver des liens uniquement centrés sur la nature de l'acide : sulfurique. Toutes les pistes de synergies concernant une substitution du flux par un autre flux d'acide usé (raisonnablement), de nature différente (chlorhydrique...) mais convenable, sont d'emblée éliminées. L'association à ce flux de sa fonction « fournir un acide » permet d'élargir sérieusement l'éventail des possibilités : pratiquement tout les flux d'acides usés deviennent des « prétendants ».

Exemples de pistes de synergies trouvées grâce à une approche par fonctions

Fonction	Pâte	Papier	TRS	Imprimerie	Possibilités de synergie
<i>Chauffer</i>	Remplie par du gaz ou de l'électricité ou du charbon ou de la biomasse ou de la vapeur produite <i>Proposée</i> par la combustion boues, d'écorces, de sciures, de refus de recyclage, de déchets du parc à bois, d'huile, de MO contenue dans les liqueurs noires, par de l'électricité éventuellement produite, de la vapeur excédentaire	Remplie par du gaz ou de l'électricité ou du charbon ou de la biomasse ou du fioul ou de la vapeur produite <i>Proposée</i> par la combustion boues, d'huile, par de l'électricité éventuellement produite, de la vapeur excédentaire	Remplie par du gaz ou de l'électricité ou de la vapeur produite <i>Proposée</i> par la combustion de solvants chargés en graisses, d'huile, de boues graisseuses, de COV ou par de la chaleur excédentaire	Remplie par du gaz ou de l'électricité ou de la vapeur produite <i>Proposée</i> par la combustion d'huile, de papier, de palettes, de chiffons, ou par de la chaleur excédentaire en offset (incinération de COV)	12
<i>Eclairer</i>	Remplie par de l'électricité <i>Proposée</i> par de l'électricité éventuellement produite	Remplie par de l'électricité <i>Proposée</i> par de l'électricité éventuellement produite	Remplie par de l'électricité	Remplie par de l'électricité.	6 (-6 : un seul type de flux)
<i>Produire de l'énergie mécanique</i>	Remplie par de l'électricité, de l'air comprimé <i>Proposée</i> par de l'électricité, de l'air comprimé éventuellement produits	Remplie par de l'électricité, de l'air comprimé <i>Proposée</i> par de l'électricité, de l'air comprimé éventuellement produits	Remplie par de l'électricité, de l'air comprimé <i>Proposée</i> par de l'air comprimé éventuellement produit	Remplie par de l'électricité, de l'air comprimé	9
<i>fournir un acide</i>			Remplie par H_2SO_4 , HF , HNO_3 <i>Proposée</i> par des bains usés contenant HCl (décapage), H_2SO_4 , HF , HCH_3SO_3 , HF , HNO_3 (revêtements), par les installations de cataphorèse.	Remplie par H_2SO_4 <i>Proposée</i> par HCl et H_2SO_4 des bains usés de gravure des cylindres (héliogravure)	2
<i>Laver/rincer/nettoyer</i>	Remplie par de l'eau	Remplie par de l'eau	Remplie par de l'eau et de l'eau déminéralisée (rincer)	Remplie par des chiffons, de l'eau, des solvants : C_2H_5OH , alcools, cétones, essence, toluène <i>Proposée</i> par des solvants usagés : C_2H_5OH , alcools, cétones, éthers de glycol, toluène	3 (-3)
<i>Transporter de la chaleur</i>	Remplie par de l'eau déminéralisée	Remplie par de l'eau déminéralisée		Remplie par de l'eau déminéralisée (héliogravure)	0
<i>Dissoudre</i>	Remplie par $NaOH$ (dissoudre la lignine)		Remplie par CH_2Cl_2 , $HClCCl_2$ <i>Proposée</i> par les solvants usagés (CH_2Cl_2 , $HClCCl_2$, Cl_2CCCl_2 + graisses)	Remplie par le fixateur (dissoudre Ag), le révélateur (dissoudre photopolymère), les divers solvants comme C_2H_5OH , alcools, cétones, éthers de glycol, toluène (dissoudre encre) <i>Proposée</i> par les solvants usagés	4 (2 plausibles)

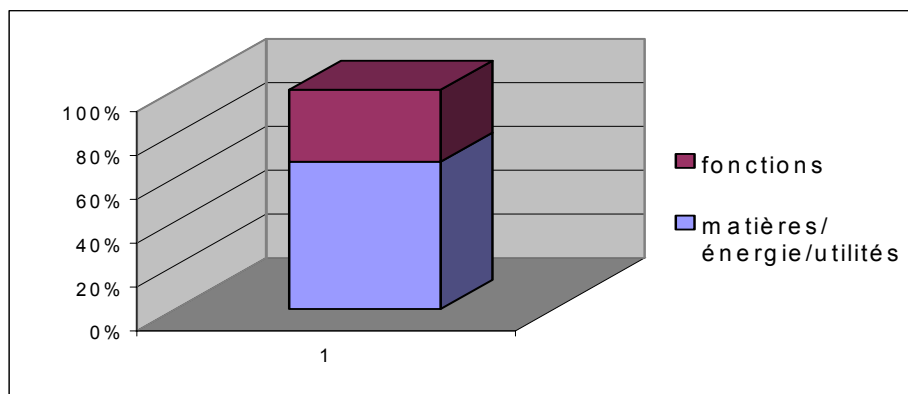
Les synergies comptabilisées sont uniquement du type « substitution » : une fonction proposée est consommée par un autre secteur, se substituant partiellement ou totalement au flux entrant existant. Les pistes de synergies pour lesquelles la fonction n'est remplie que par un seul type de produit ne sont pas comptabilisées : elles appartiennent déjà à l'approche matière/énergie/utilités

La création d'une syntaxe rigoureuse est clairement indispensable mais encore plus complexe que pour la dimension matières/énergie/utilités. Quel(s) libellé(s) de fonction va-t-on en effet utiliser pour les solvants en TRS, « dégraisser » ? « dissoudre les graisses » ? les 2 ?...

Il faut également compléter de manière permanente la liste des fonctions proposées par chaque flux sortant à chaque fois qu'une nouvelle fonction est identifiée : elle est susceptible d'être de nouveau remplie par un tel flux sortant en d'autres circonstances et donc de créer une nouvelle synergie. Cet aspect semble toutefois facilement informatisable.

Ainsi, le champ d'investigation acquiert une nouvelle dimension et le nombre de pistes croît naturellement de manière importante. 43 pistes supplémentaires ont été identifiées (les principales redondances avec l'approche matières/énergie/utilités, lorsqu'un type unique de flux remplit la fonction, ont été éliminées) et s'ajoutent aux 88 précédentes.

Ainsi, sur environ 130 possibilités de connexions entre les 4 secteurs de l'imprimerie, des Traitements et Revêtements de Surface, de fabrication de pâte et de production de papier, 1/3 sont de nature purement fonctionnelle. Il convient toutefois de garder à l'esprit que certainement peu d'entre elles seront réalisables sur le terrain.



Répartition par approche des 131 pistes de synergie

Comme cela a déjà été expliqué, l'important, dans un domaine encore quasiment vierge tel que la connaissance intersectorielle, est d'élargir au maximum le champ exploratoire. Sur ce point, les chiffres sont suffisamment explicites et soulignent le caractère incontournable d'une double approche matières/énergie/utilités d'un côté, fonctions associées de l'autre.

On peut également imaginer que dans le cadre plus général de la valorisation systématique des déchets, dont la recherche des synergies entre secteurs n'est qu'une nouvelle facette, cette double approche s'avère utile. Désigner un déchet, en plus de son nom ou de sa composition, par les fonctions qu'il peut remplir, ouvre de nouvelles perspectives. De telles informations peuvent permettre aux réutilisateurs de s'affranchir du poids d'habitudes involontairement restrictives, de stimuler la créativité et de susciter ainsi des idées innovantes. Un tel recensement, dans une bourse aux déchets, peut par exemple offrir de nouvelles perspectives à des demandeurs (l'exemple de la fonction « fournir un acide » cité précédemment). De même lors de la création de réseaux ou de parcs éco-industriels, la systématisation de cette démarche permettrait peut-être de trouver des synergies supplémentaires.

Conclusion

Cette tentative d'aborder la recherche de synergies matières/énergie/utilités 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 2 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, à travers des services d'un nouveau type, comme un moyen de mettre à la portée de toutes les entreprises ou collectivités un développement durable jusqu'ici réservé à de grandes structures.