



Atelier de réflexion prospective sur l'écologie industrielle ARPEGE

Membres du consortium

CREIDD – ICD - UTT

Association Orée

Auxilia

ISIGE

Ecologie Industriel Conseil

Systèmes Durables

E-parc

Ecopal

Association RECORD

BRGM

Telecom & Management Sud-Paris

LTMU – Université Paris VIII

EDF

Séché Environnement

Enviropéa

GDF-Suez

Lafarge

Yprema

INSA-Lyon

Coordination scientifique : Nicolas Buclet (CREIDD-ICD-UTT)

Rapport final à destination de l'ANR

Programme PRECODD

Mars 2009

arpege

| | |
|--|----------------|
| Introduction | page 4 |
| Présentation synthétique du consortium ARPEGE | page 11 |
| Glossaire | page 14 |
| Pistes de réflexion du consortium ARPEGE | page 27 |
| Conclusions | page 40 |

Annexes :

| | |
|--|-----------------|
| Annexe 1 : Compte-rendus des réunions des sous-ateliers B, C et D | page 45 |
| Annexe 2 : Cadrage et planification sous-atelier C | page 91 |
| Annexe 3 : Cadrage et planification sous-atelier D | page 103 |
| Annexe 4 : Ecologie industrielle : une réponse aux enjeux des territoires ? | |
| Retours d'expérience en Europe | page 112 |
| Annexe 5 : Freins, leviers mécanismes réglementaires et fiscaux | page 128 |
| Annexe 6 : Etude bibliographique sur les indicateurs de l'Ecologie Industrielle | page 151 |



Introduction

De concept émergeant à la fin des années 1990, l'écologie industrielle a gagné en notoriété, avec la création de revues internationales de recherche sur le thème, tandis qu'un certain nombre d'initiatives locales ont essaimé non seulement en France et en Europe, mais également en Australie, aux Etats-Unis, au Japon ou encore en Chine (sous l'appellation d'économie circulaire). Ces expériences, qui prennent très souvent la forme d'écoparcs, demeurent cependant ponctuelles, disparates, soumises aux aléas politiques ou autres. Bien qu'intéressants, les résultats sont par ailleurs en deçà de ce que l'on doit espérer, eu égard aux enjeux du développement durable.

Ce constat n'enlève rien au potentiel de l'écologie industrielle. Simplement, il est aujourd'hui évident qu'un exemple comme le site de Kalundborg (Danemark) si souvent cité, constitue une sorte « d'heureux accident » de l'histoire économique. Les sites apparus depuis l'ont été grâce à des « promoteurs » privés ou publics particulièrement motivés et entraînants. Le seul mobile économique ne suffit aucunement.

Ce constat donne la sensation d'une certaine « fragilité » de l'écologie industrielle en phase de conception et de mise en œuvre, indépendamment du contexte culturel dans lequel on se situe. Ce constat n'enlève rien à l'intérêt de la démarche, à cette volonté de conciliation entre des activités humaines créatrices de richesses et la finitude de la biosphère. Le développement durable passe par cette conciliation et l'écologie industrielle demeure l'une des pistes conceptuelles et applicatives les plus sérieuses.

Des travaux menés, notamment par certains membres du consortium¹ mettent en évidence à la fois l'existence d'expériences prometteuses, de réalisations intéressantes, et leur difficulté à s'inscrire dans un schéma pérenne. Si l'on excepte la Chine, où l'économie circulaire, variante asiatique de l'écologie industrielle, bénéficie d'un statut juridique, des projets se développent avant tout de par la volonté forte d'acteurs inscrivant leur action à un niveau local. Que cette volonté vienne à manquer, et l'on sent que le dynamisme des projets d'écologie industrielle s'essouffle.

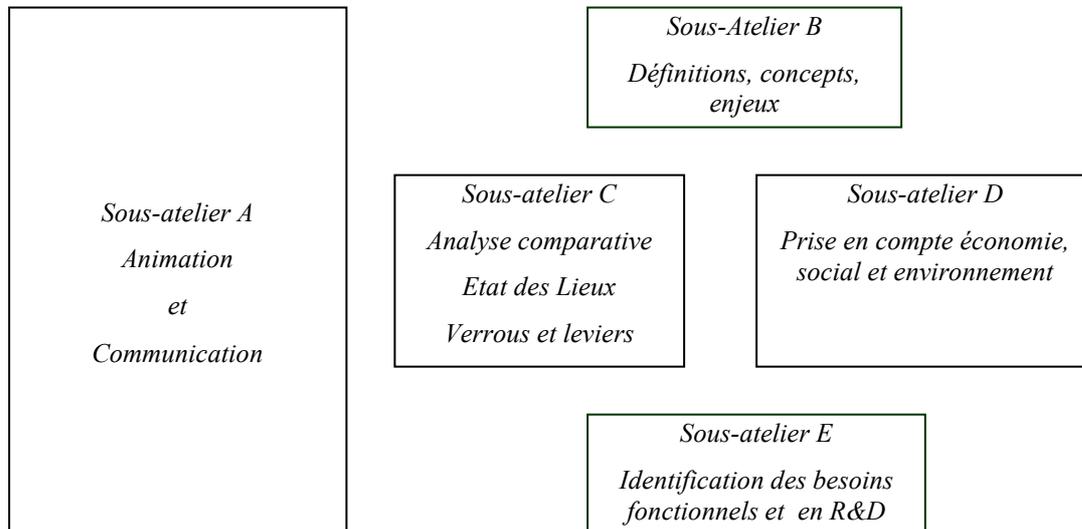
Le premier enjeu de cet atelier de réflexion prospective est donc de réfléchir à tous les aspects qui peuvent faire de l'écologie industrielle, davantage qu'une approche prometteuse, un schéma directeur opérationnel, dotés de principes et de repères à partir desquels les divers acteurs économiques et sociaux orienteraient leur action avec succès dans un sens favorable au développement durable.

Le deuxième enjeu, tient plus particulièrement au contexte français. Pour des raisons diverses, parmi lesquelles assurément le cloisonnement disciplinaire qui structure le monde de la recherche en France, la communauté de personnes travaillant sur le sujet en France est encore assez faible, notamment à un niveau académique. Il paraît donc nécessaire d'intéresser davantage de chercheurs au domaine, de montrer ce que l'on est en mesure d'en attendre, notamment à la faveur de l'intérêt renouvelé pour des approches dites systémiques. Par ailleurs, et afin de favoriser l'adoption des principes de l'écologie industrielle au sein de l'élaboration de stratégies territoriales de développement durable, les membres du consortium se sont fixés un autre enjeu : contribuer à la consolidation de la communauté déjà existante et organisée au sein du PFEI (pôle français d'écologie industrielle).

L'organisation des ateliers

¹ cf. Benoît Duret, "Premiers retours d'expérience en écologie industrielle : études de cas en Europe et en Amérique du Nord", avec le soutien du CREIDD (UTT), R&D EDF, Auxilia et ICAST

Rappelons l'organisation d'ARPEGE en cinq sous-ateliers, selon la configuration suivante :



L'atelier est conçu avec cinq sous-ateliers, un atelier transversal d'animation et de communication (sous-atelier A) et quatre sous-ateliers opérationnels : B. définition, concepts et enjeux ; C. Analyse comparative – Etat des lieux – Verrous et leviers ; D. Prise en compte des aspects sociaux, économiques et environnementaux ; E. Perspectives pour l'Ecologie Industrielle.

La mise au point conceptuelle ressort du besoin de disposer, pour les acteurs français de l'écologie industrielle, de conventions lexicales communes, préalable à des réunions de travail où chacun s'entendra sur les mots. A la suite, un état des lieux était considéré comme utile, tant en France qu'à l'international, afin de mettre en évidence des constantes en matière de développement de la démarche, tant au niveau des facteurs de succès que des blocages constatés. La question de l'impact réel du développement de l'écologie industrielle sur l'environnement et la raréfaction des ressources devait quant à elle être abordée afin notamment d'identifier les différents facteurs à intégrer à des indicateurs qui puissent servir à objectiver des situations de choix en matière d'éco-technologies et de planification territoriale. Enfin, la réflexion vise à se concentrer sur les obstacles de nature économique, comportementale et réglementaire au développement de l'Ecologie Industrielle, sur les mécanismes permettant de dépasser de tels obstacles, ainsi que sur les besoins technologiques d'accompagnement.

Le dernier sous-atelier a permis de synthétiser les résultats obtenus par les sous-ateliers précédents et d'établir des questionnements à reprendre dans de futurs programmes de recherche et de développement.

Déroulé des travaux

Au cours de la première année de travaux, six réunions ont été organisées. La première réunion de lancement a eu pour objet de présenter à l'ensemble des membres du consortium les objectifs d'ARPEGE, et donc de mieux s'accorder, tant sur les attentes des uns et des autres (rappelons que le consortium est constitué d'acteurs de nature disparate), que sur l'organisation du travail collectif.

Une deuxième réunion s'est tenue afin de constituer un langage commun aux membres du consortium. Nous partions en effet du constat d'une faible homogénéité du sens donné à différents termes couramment employés dans le domaine de l'écologie industrielle. La réunion a dès lors servi à établir une définition commune de l'écologie industrielle, ainsi que les bases d'un glossaire commun, finalisé par la suite par échanges de propositions et discussions informelles. Ce glossaire constitue un premier résultat concret d'ARPEGE, que nous souhaitons utile pour toute personne souhaitant disposer d'un certain nombre de repères sur la façon d'aborder les concepts de l'écologie industrielle.

L'objectif des trois réunions concernant les sous-ateliers C et D était, à partir de documents et d'éléments de réflexion préparés par les coordinateurs de ces sous-ateliers, de réfléchir aux points suivants :

- Identification en France et en Europe des verrous et leviers en matière d'écologie industrielle ;
- Identification pour la France de verrous et leviers réglementaires et fiscaux ;
- Discussion sur la nature et les caractéristiques des indicateurs permettant d'évaluer la cohérence des activités humaines avec les objectifs de l'écologie industrielle ;
- Identification des outils et méthodes employés par les acteurs engagés dans une démarche de réduction de l'impact de leurs activités sur l'environnement.

Enfin, une réunion non prévue au départ s'est tenue en juin 2007 à la demande de Philippe Freyssinet, coordinateur et responsable du programme PRECODD de l'ANR, afin d'identifier



une première série de pistes de recherche potentielles à soumettre pour de futurs appels d'offre.

Au cours de la deuxième année, trois réunions se sont tenues entre janvier et février 2008 afin de répondre aux sollicitations du programme PRECODD, et en particulier du comité de suivi, en fournissant d'emblée un certain nombre de recommandations quant à ce qu'il serait envisageable d'intégrer à l'appel d'offre 2009. Ces trois réunions ont abouti à la rédaction d'un document d'une quinzaine de pages qui constitue l'architecture d'un programme de recherche centré sur l'écologie industrielle. Les principales lignes de ce document ont ensuite été présentées le 14 mars 2008 à Pau devant le comité de suivi du programme PRECODD.

Dans les mois qui ont suivi, des améliorations et approfondissements ont été menés, eu égard à certains documents que l'on pourra trouver dans le présent rapport. Une réunion s'est également tenue en octobre à Paris avec un double objectif :

- décider ensemble de la teneur du contenu du présent rapport ;
- préparer le séminaire final de restitution des résultats issus d'ARPEGE.

Enfin, le 7 janvier 2009, s'est tenu, dans les locaux de l'Ecole des Mines de Paris, un séminaire de restitution des travaux d'ARPEGE et de l'autre atelier de réflexion prospective ECOINNOV, avec lesquels certains échanges ont été possibles au cours des deux années passées.

Structure du rapport

Le cœur du rapport est constitué d'une brève présentation synthétique d'ARPEGE et des recommandations, du glossaire co-rédigé par les membres du consortium, et d'un document présentant l'ensemble des problématiques de recherche soulevées par la question de l'écologie industrielle. Une conclusion tire les leçons à la fois des résultats obtenus et de la formule retenue de l'atelier de réflexion prospective. En annexe, outre divers comptes-rendus disponibles des réunions, qui permettent de présenter un état des lieux du débat, le lecteur trouvera également les divers documents préparatoires à ces réunions, ainsi qu'à la discussion de fond et nous ayant permis de formuler des propositions de thématiques de recherche pour les années à venir.

Les membres du consortium tiennent à remercier Philippe Freyssinet de l'ANR pour la confiance qu'il nous a accordée, ainsi que pour les échanges constructifs au cours de ces deux années.



Atelier de réflexion prospective en Ecologie Industrielle

de l'Agence Nationale de la Recherche

L'ARPEGE ?

Un atelier de réflexion pluri-acteurs...

ARPEGE, c'est un **consortium de 19 partenaires** coordonné par le CREIDD-UTT (Centre de recherches et d'études interdisciplinaires sur le développement durable de l'Université de Technologie de Troyes) et financé par l'Agence Nationale de la Recherche. Des représentants du monde de la **recherche**, de l'**entreprise**, de l'**expertise** et du **conseil** se sont réunis à travers une série d'ateliers de travail, entre décembre 2006 et janvier 2009. Il s'agissait, à partir des expériences respectives, de **dialoguer** et de **construire ensemble des thématiques de recherche fondamentale et de recherche-action** autour de l'**Ecologie Industrielle** à l'échelle d'une activité, d'un secteur ou d'un territoire.

... autour d'objectifs communs :

- **Fédérer le réseau d'acteurs** intéressés, échanger et diffuser des connaissances, analyser les besoins exprimés
- **Formuler des besoins de R&D** pour les prochains appels à projet PRECODD (Programme écotecnologies et développement durable) 2008 et ECOTECH à partir de 2009
- **Créer un cadre favorable au déploiement de l'Ecologie Industrielle.**

L'Ecologie Industrielle : contribuer à rendre compatible les actions humaines avec les capacités de la biosphère

Extrait de la définition de l'Ecologie Industrielle selon l'ARPEGE

« [...] L'Ecologie Industrielle porte une attention particulière à l'**analyse des échanges entre les sociétés et la nature** et à la **circulation des matières et de l'énergie** qui les caractérisent ou qui caractérisent les sociétés industrielles elles-mêmes. [...] L'Ecologie Industrielle constitue ainsi un **champ de recherche pluri et interdisciplinaire** mais aussi une **démarche d'action** dans la perspective d'un développement durable. [...] »

Une idée-force pour limiter les impacts environnementaux : réorganiser le système productif notamment grâce au

BOUCLAGE DES FLUX DE MATIÈRE ET D'ÉNERGIE



Source : Allenby B., Design for environment : Implementing industrial ecology, State University of New Jersey, New Brunswick, thèse de doctorat, 1992

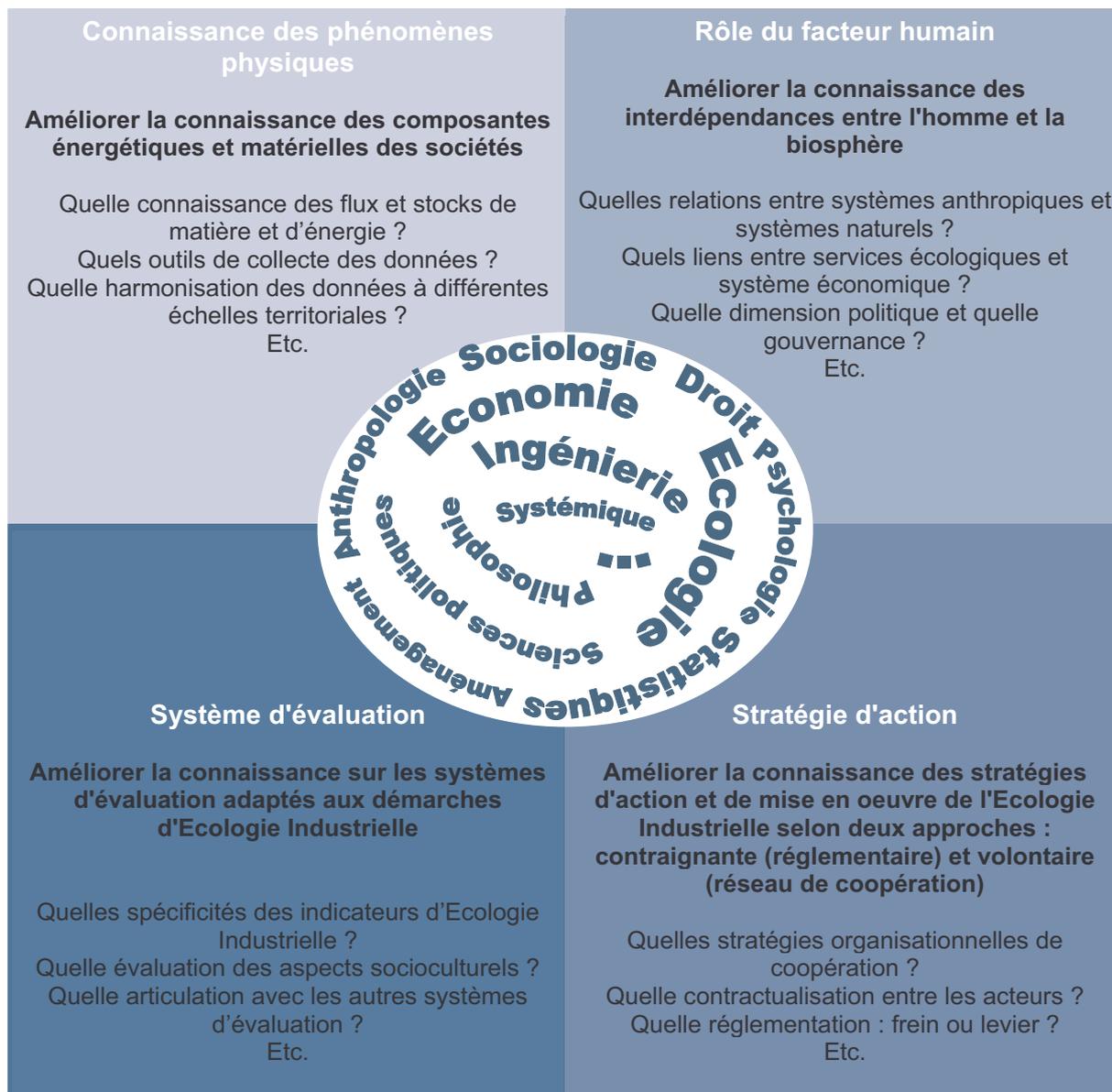
**PROMOUVOIR
L'ÉCOLOGIE
INDUSTRIELLE**



Développer les travaux interdisciplinaires
Stimuler les coopérations entre acteurs
Faire émerger de nouveaux modes de gouvernance

Un programme de recherche au croisement de différentes disciplines

Les rencontres du consortium ARPEGE ont permis de mettre en évidence des propositions d'actions de recherche autour de l'écologie industrielle à développer dans le cadre de travaux pluridisciplinaires :



Retrouvez l'ensemble des pistes de réflexion proposées par l'ARPEGE sur www.arpege-anr.org

Les membres du consortium ARPEGE :





Glossaire d'écologie industrielle

Tiré d'une réflexion commune des Partenaires d'ARPEGE

Ce glossaire est organisé par niveaux de généralité des concepts. Quatre niveaux ont été définis. Un premier niveau correspond aux concepts globaux porteurs de changement de paradigme, tandis que les niveaux suivants sont respectivement celui des objectifs généraux, des stratégies de mise en œuvre et des outils et méthodologies. Des enjeux spécifiques peuvent être associés à certaines définitions.

Niveau 1 : Concepts globaux porteurs de changement de paradigme

Ecologie industrielle (EI) : L'EI s'inscrit dans l'Ecologie des sociétés industrielles, c'est-à-dire des activités humaines productrices et/ou consommatrices de biens et de services.

L'EI porte une attention particulière à l'analyse des échanges entre les sociétés et la nature et à la circulation des matières et de l'énergie qui les caractérisent, ou qui caractérisent les sociétés industrielles elles-mêmes. Ces flux sont analysés d'un point de vue quantitatif (métabolisme industriel) voire naturaliste, mais aussi d'un point de vue économique et social, dans une perspective systémique.

L'Ecologie Industrielle constitue ainsi un champ de recherche pluri et interdisciplinaire, mais aussi une démarche d'action dans la perspective d'un développement durable. Sa mise en œuvre vise à rendre compatible les actions humaines avec les capacités de la biosphère. En ce sens, l'écologie industrielle appelle un changement de paradigme et de représentation.

L'EI peut porter sur une filière, une entreprise, un établissement industriel, une zone industrielle, un territoire, une région, une matière... etc. Elle se réfère à des méthodes à l'écologie scientifique, à la thermodynamique, à la sociologie des organisations, etc.

Source : *Définition commune aux membres du consortium ARPEGE*

L'écologie industrielle et les expressions de même signification

L'expression économie circulaire constitue un équivalent de l'écologie industrielle. Cette expression, très en vogue en Asie, n'a pas été retenue en ce que les membres d'ARPEGE n'ont pas vu ce qu'elle pouvait apporter de plus.

Néanmoins, la coexistence de ces deux expressions est susceptible de poser des problèmes de visibilité du concept. En ce que l'écologie industrielle peut constituer un repère de coordination apte à favoriser des réponses collectives entre acteurs divers (industriels, collectivités locales et territoriales, associations...) face aux enjeux du développement durable, il paraît important d'éviter certains flous quant à ce repère. En d'autres termes, le mode de réflexion propre à l'écologie industrielle gagne à se muer en une convention à laquelle chacun gagne à se référer afin d'agir efficacement face aux problèmes environnementaux et sociaux. Il devient légitime de se demander si la mise en concurrence

des deux expressions « écologie industrielle » versus « économie circulaire » ne risque pas de nuire au renforcement de repères conventionnels efficaces.

En revanche, l'expression « écologie territoriale » est complémentaire de l'écologie industrielle. Il s'agit souvent d'une façon d'adapter le concept à des acteurs intéressés de type collectivités territoriales et de mieux leur faire comprendre que la démarche ne se limite pas à une question purement industrielle dans son acception communément admise. Aussi, certains auteurs et acteurs en écologie industrielle préconisent de parler de façon plus systématique d'Ecologie Industrielle et Territoriale.

Enjeux de l'écologie industrielle :

- la production de connaissance
- la prise en compte à la fois des limites intrinsèques de la biosphère et des services fournis par les écosystèmes dans l'organisation des activités humaines telles que définies ci-dessus

Approche systémique

Application à l'étude des organismes vivants et des sociétés, des principes de la théorie des systèmes et de la cybernétique en usage dans la technologie et l'ingénierie. L'approche systémique conduit à considérer tout phénomène vivant comme le résultat de l'interaction de ses composants internes d'une part et de ses rapports avec son environnement de l'autre. Appréhender les phénomènes biologiques et sociaux comme des systèmes revient à les définir comme des :

- ensembles complexes, constitués d'éléments de niveau inférieur ;
- organisés en tant que totalité structurée ;
- dans un environnement avec lequel ils entretiennent, en tant que totalité, des relations spécifiques : échange de matière, d'énergie et d'information.

D'un point de vue systémique, la totalité n'est pas indépendante des propriétés de ses éléments mais possède des propriétés qui lui sont spécifiques, émergentes, non réductibles à ceux-ci.

Source : Paul-Marie Boulanger in Frank De Roose et Philippe Van Parijs, **La pensée écologiste : essai d'inventaire à l'usage de ceux qui la pratiquent comme de ceux qui la craignent**, Ed. De Boeck Université, Collection Sciences Ethiques Sociétés, Bruxelles, 1991, p.25.

L'approche systémique, à l'inverse et en complément de l'approche analytique classique, considère d'abord la globalité d'un système étudié dans toute sa complexité et sa dynamique. Elle tente ensuite de déterminer de manière incrémentale un modèle, évoluant par une série de simulations et de corrections, vers la réalité. Lorsque l'approche analytique classique se focalise sur le comportement individuel des éléments, l'approche systémique se focalise sur leurs interactions.

Elle est ainsi complémentaire à l'approche analytique classique et particulièrement utile pour aborder les systèmes complexes comme les sociétés industrielles contemporaines et les autres écosystèmes de la biosphère.

Source : De Rosnay J., *Le microscope : vers une vision globale*, Le Seuil, Paris, 1977

Niveau 2 : Objectifs généraux

Ces objectifs généraux se subdivisent en trois grandes catégories qui représentent autant d'objectifs auxquels l'écologie industrielle se doit d'apporter un certain nombre de réponses.

- compréhension du fonctionnement des systèmes (territoriaux, économiques, écologiques) ;
- optimisation de l'utilisation des ressources et limitations des nuisances ;
- contribution à la recomposition / restructuration des systèmes étudiés eux-mêmes sur les bases conceptuelles exprimées au niveau de la définition de l'écologie industrielle (i. e. en prenant en compte les limites de la biosphère et en maintenant et mettant en valeur les services écologiques)

A ce deuxième niveau, un certain nombre de termes méritent d'être explicités :

Réduction des polluants

Il s'agit de réduire l'émission de substances nocives d'un point de vue écologique, et notamment en ce qui concerne l'impact sur la santé des espèces vivantes. Les substances polluantes sont soit présentes dans l'environnement, soit d'origine anthropique. Pour les premières, il s'agit surtout de faire en sorte que le résultat des activités humaines n'aboutisse pas à des phénomènes de concentration nocifs pour l'écosystème. Pour les secondes, plusieurs moyens sont envisageables, de la non production pure et simple de ces substances « artificielle » dès lors que l'on ne peut pas en maîtriser le degré de concentration dans l'écosystème), à leur neutralisation en fin de process. Cette neutralisation pose cependant la question de l'élimination des polluants ainsi neutralisés et très concentrés et revient à repousser à plus tard la question. Plus la réduction des polluants s'effectue en amont et moins se pose ce problème de concentration et d'élimination.

Réduction des déchets

La réduction des déchets se pose à plusieurs niveaux. Aujourd'hui, en moyenne seules 2% des ressources employées pour la production des biens de consommation se retrouvent in fine intégrées à ces biens de consommation (source : EMPA, www.empa.ch). Un premier objectif de réduction des déchets se situe donc au niveau des process de transformation industrielle. Un deuxième objectif se situe au niveau de la capacité des entreprises à exploiter en tant que ressource les sous-produits d'autres activités humaines (industrie et collectivités locales) qu'il devrait être possible, dès lors, de ne plus classer en tant que déchets. Enfin, le troisième niveau de la réduction des déchets se situe bien évidemment en aval, au niveau de la consommation, avec la question de réduire les quantités de déchets engendrées par la réponse aux besoins des consommateurs. Ce troisième niveau implique conjointement les actes de production et de consommation. La quantité de déchets dépend aussi des produits proposés au consommateur, par exemple des emballages plus ou moins importants, ou des équipements de durée de vie plus ou moins longue.

Sobriété

La sobriété dans le contexte du développement durable peut-être définie à deux niveaux. Le premier, très général, consiste à aller vers des comportements de consommation davantage centrés sur la recherche d'un bien-être allant au-delà des aspects matériels pour intégrer d'autres moyens de parvenir à l'épanouissement personnel. Le deuxième niveau s'intéresse essentiellement à la sobriété énergétique qui est une démarche visant à réduire la consommation d'énergie en agissant sur les comportements utilisateurs de l'énergie. Ces deux niveaux sont complémentaires. Le premier se veut structurant et incite à une rupture dans le comportement des individus par rapport à l'économie de marché telle qu'on la connaît aujourd'hui. Le deuxième ne remet pas en cause ce rapport mais considère que des stratégies

dites de « non regret » doivent être incitées, soit en agissant sur les comportements à la marge (conduite souple en voiture, supprimer les veilles sur les appareils non utilisés, penser à éteindre les lumières...), soit en développant des technologies qui, à égalité de performance, sont moins gourmandes en énergie.

Stratégies de non-regret

Il s'agit de toutes les stratégies visant à réduire l'impact d'une activité humaine sans que cela entraîne le moindre coût d'investissement ou de fonctionnement supplémentaire. Au contraire, la mise en œuvre de ces stratégies a plutôt tendance à réduire les coûts de fonctionnement des acteurs. Il y a donc à la fois un avantage environnemental et économique.

Valorisation (réemploi, réutilisation, recyclage) des déchets

Terme générique recouvrant le réemploi, la réutilisation, la régénération, le recyclage, la valorisation organique ou la valorisation énergétique des déchets.

Réemploi : Opération par laquelle un bien usagé, conçu et fabriqué pour un usage particulier, est utilisé pour le même usage ou un usage différent. La réutilisation et le reconditionnement sont des formes particulières de réemploi.

Réutilisation : La réutilisation consiste à utiliser un déchet pour un usage différent de son premier emploi, ou à faire, à partir d'un déchet, un autre produit que celui qui lui a donné naissance. Par exemple, utiliser des pneus de voiture pour protéger la coque des barques ou chalutiers. (*Sénat – rapport n°98-415*). Dans le domaine spécifique des ressources, il s'agit de réintroduire dans le cycle des activités humaines la partie des ressources employées et autrement destinées à se disperser dans l'environnement ou à être considérées comme des déchets.

Régénération : Opération visant à redonner à un déchet les caractéristiques physico-chimiques qui permettent de l'utiliser en remplacement d'une matière vierge.

La **valorisation** désigne l'usage de ce qui était considéré comme un déchet et qui mérite de passer, si possible, dans la catégorie des co-produits. Outre le réemploi, la réutilisation, la régénération, plus en aval cette valorisation est dite « **valorisation matière** » lorsque la matière présente dans le déchet est recyclée et redevient ressource. Elle est dite « **valorisation énergétique** » lorsque le déchet devient combustible, soit pour produire de la chaleur, soit de l'électricité, soit les deux (cogénération). On peut aussi parler de valorisation organique, lorsque les déchets organiques retournent au sol (boues, composts...).

SOURCES :

- Glossaire ADEME « Déchets » : <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?catid=12843&p2=12551>
- Rapport du Sénat : « *Les nouvelles techniques de recyclage et de valorisation des déchets ménagers et des déchets industriels banals* », <http://www.senat.fr/rap/o98-415/o98-4152.html>

Dématérialisation (absolue, relative)

La dématérialisation dans un sens relatif est une stratégie qui cherche, à service rendu égal, à réduire la quantité de ressources utilisées. (R. et L. Ayres, **A Handbook of Industrial Ecology**, Edward Elgar, Cheltenham UK, Northampton MA, USA, 2002). Différentes stratégies peuvent être employées : économie de fonctionnalité, éco-conception, développement d'éco-technologies. Elle pose la question de la **substitution**.

La dématérialisation dans une acception absolue consiste quant à elle à éviter que la dématérialisation relative ne se traduise par un **effet rebond** et que le gain environnemental obtenu pour chaque unité produite ne se traduise par un report de ces gains sur l'accroissement du nombre d'unités produites et consommées.

On parle de dématérialisation de l'économie lorsque la production d'un point de PIB s'obtient avec un niveau décroissant des quantités de ressources consommées. Néanmoins ce découplage entre l'accroissement de la richesse marchande et les volumes de ressources consommées peut être plus que compensé par l'accroissement en valeur absolue du PIB. On parle dès lors d'une dématérialisation faible (relative). Pour parler de dématérialisation forte (absolue) d'une économie, il faut assister à une réduction en valeur absolue, à l'échelle de cette économie, des ressources consommées.

Effet rebond

L'effet rebond est généralement défini comme l'augmentation de la consommation d'une ressource (généralement énergétique) suite à l'amélioration de l'efficacité de cette ressource. Ce concept, qui fait actuellement l'objet de nombreuses recherches à caractère économétrique, sous-tend ainsi notamment que les gains attendus des efforts actuels en matière d'efficacité énergétique pourraient se voir au moins en partie contrebalancés par une augmentation de la consommation globale d'énergie. Cette augmentation de consommation résulte de la combinaison de divers mécanismes de rétroaction, que l'on classe dorénavant le plus généralement (voir par exemple Sorrell et Dimitropoulos, 2008) en 3 catégories :

- Effet rebond direct : l'amélioration de l'efficacité d'un service se traduit par la diminution de son coût à l'usage, ce qui conduit à une intensification de sa consommation et donc une mitigation des réductions obtenues. C'est par exemple le cas d'un particulier qui va décider de chauffer davantage son habitat nouvellement isolé ou de parcourir davantage de kilomètres avec un véhicule réputé plus sobre, plutôt que d'allouer les économies réalisées à d'autres usages. On parle aussi ici d'un effet rebond « de confort » (ou « de substitution », mais le terme peut prêter à confusion) qui peut correspondre, d'après les études réalisées pour les secteurs de l'automobile et du chauffage domestique (Greening et al., 2000), à une réduction de l'ordre de 10 à 30% des améliorations d'efficacité.
- Effet rebond indirect : la baisse du prix des services « énergético-efficients » est suivie d'un accroissement de la demande pour (et d'une ré-allocation des économies financières réalisées vers) des produits, services ou, en ce qui concerne les entreprises, de facteurs de production qui incorporent et consomment eux-mêmes des quantités plus ou moins importantes d'énergie (c'est l'effet rebond « secondaire » ou « de revenu », qui n'est de fait autre qu'un des mécanismes de la croissance économique). Citons ici l'exemple de vacances aux Bahamas payées grâce aux économies réalisées suite à l'installation d'un système de chauffage domestique plus efficient.
- Effet rebond « macroéconomique » : une diminution sensible du prix réel de l'énergie peut conduire à la réduction du prix des biens intermédiaires et finaux et, en vertu du principe bien connu de l'équilibrage de l'offre et la demande, à une série d'ajustements des quantités et des prix qui profiterait très probablement davantage aux biens à haut contenu énergétique qu'à ceux qui incorporent peu d'énergie. Ainsi, l'amélioration de l'efficacité énergétique peut conduire à une réduction sensible du prix de l'acier et de l'aluminium (secteurs très énergivores), réduisant du même coup le coût de fabrication des véhicules automobiles. La baisse afférente de leurs prix de vente se traduisant par une augmentation de la demande en véhicules, davantage de carburant est au final consommé.

L'ampleur de ce phénomène, qualifié parfois aussi d'effet rebond « dynamique » ou « de marché » (*market clearing*), est bien entendu difficile à évaluer. Les différentes études visant à quantifier le phénomène à l'échelle macroéconomique donnent des résultats assez controversés quant à son importance (voire même pour certains quant à son existence... voir un état du débat dans Herring,

2007), mais sont par contre toutes d'accord sur le fait que l'effet rebond lié à un service donné est fortement corrélé à l'élasticité du prix du service en question. Plus l'élasticité des prix est élevée (autrement dit si les consommateurs sont disposés à payer plus pour la ressource dont ils ressentent le besoin), plus grand sera l'effet rebond. Ceci contribue à expliquer le fait que l'effet rebond est plus important dans les pays en voie de développement que dans les pays riches. Fouquet et Pearson (2006) ont réalisé une étude très intéressante qui permet de se faire une idée des ordres de grandeur impliqués. Retraçant l'évolution de la demande britannique pour l'éclairage domestique sur 700 ans, ils montrent qu'à chaque saut technologique, l'efficacité énergétique est grandement améliorée alors que la consommation, elle, explose. Les ampoules électriques actuelles sont ainsi 700 fois plus efficaces que les lampes à huile du XVIII^{ème} siècle mais nous nous éclairons (en lumens-heure par personne) 6500 fois plus. Ce phénomène n'est pas uniquement limité aux périodes de changement de technologie, puisqu'alors que l'efficacité énergétique des ampoules n'a été que doublée entre 1950 et 2000, la consommation individuelle de lumière artificielle a été multipliée par 4.

Note : à ces 3 catégories, certains auteurs ajoutent l'effet rebond « transformationnel », qui correspond à l'impact cumulatif de nombreuses démarches d'amélioration de l'efficacité des ressources sur la direction et le rythme des innovations technologiques, des activités de production et de consommation, sur le comportement des consommateurs ou encore le positionnement des institutions sociales. L'amélioration continue de l'efficacité en matière de production d'électricité a ainsi eu pour conséquence le développement lui aussi continu de marchés nouveaux dans le secteur des produits et services électriques et électroniques : depuis l'ampoule électrique jusqu'au home cinéma, en passant par le réfrigérateur, la télévision, le lave-vaisselle, le micro-onde, les ordinateurs...

Auteur : J. Van Niel (UTT et UNIL), « L'effet rebond : un aperçu », document mis à disposition selon le Contrat Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale-Partage des Conditions Initiales à l'Identique disponible en ligne <http://fr.creativecommons.org/contrats.htm>

Références utilisées par l'auteur :

- Sorrell, S. (2007) The Rebound Effect: an assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency, A report produced by the Sussex Energy Group for the Technology and Policy Assessment function of the UK Energy Research Centre (UKERC), October 2007, London, UK, pp.1-4 ; p.66
- Greening, L.A. Et al. (2000) Energy efficiency and consumption — the rebound effect — a survey Energy Policy, Volume 28, Issues 6-7, June 2000, Pages 389-401
- Hertwich, E.G. (2005) Consumption and the Rebound Effect: An Industrial Ecology Perspective, Journal of Industrial Ecology, 9(1-2):85-98, p.87
- Herring, R. and Roy, R. (2007) Technological innovation, energy efficient design and the rebound effect, Technovation 27 (2007) 194–203, p.197-198
- Sorrell, S and Dimitropoulos, J. (2008) The rebound effect: Microeconomic definitions, limitations and extensions, Ecological Economics, Volume 65, Issue 3, 15 April 2008, Pages 636-649
- Binswanger, M. (2001) Technological progress and sustainable development: what about the rebound effect?, Ecological Economics, Volume 36, Issue 1, January 2001, Pages 119-132
- Barker, T. and Foxon, T. (2006) The macro-economic rebound effect and the UK economy, Final Report to Defra, 18 May 2006, 4CMR (Cambridge Centre for Climate Change Mitigation Research), Cambridge, UK, p.4 ; pp.8-9 ; p.66-67
- Fouquet, R. and P.J.G. Pearson (2006) 'Seven centuries of energy services: the price and use of lighting in the United Kingdom (1300-2000).' The Energy Journal 27(1).
- Dimitropoulos, J. (2007) Energy productivity improvements and the rebound effect: An overview of the state of knowledge, Energy Policy, Volume 35, Issue 12, December 2007, Pages 6354-6363
- Mizobuchia, K. (2008) An empirical study on the rebound effect considering capital cost, Energy Economics (2008), doi:10.1016/j.eneco.2008.01.001



Eco-efficacité

Indicateur développé par le WBCSD (World Business Council for Sustainable Development) en 1992. Il correspond au rapport entre la valeur économique du produit ou service et son impact environnemental. L'intérêt pour une entreprise est donc d'augmenter cette éco-efficacité en jouant sur une augmentation de la dimension économique et une diminution de l'impact environnemental.

Entre deux services équivalents, le plus éco-efficace est celui qui consomme le moins d'énergie et de matières premières.

Source : « Eco-efficiency, learning module » WBCSD, 2006 - <http://www.wbcd.org>

Substitution

Les analyses de cycle de vie et les théories de la dématérialisation de l'économie reposent sur l'idée que l'on peut substituer des biens et services moins « pondéreux » sur le plan écologique à des biens et des services avec un impact plus important quantitativement et qualitativement sur l'environnement. L'économie pourrait ainsi être « allégée ». Toutefois la substitution d'un bien ou un service à un autre est loin d'être comprise. Si les aspects écologiques sont relativement bien identifiés, les aspects sociaux ne sont pas pris en compte dans les outils.

Efficacité énergétique

Réduction des consommations d'énergie, à service rendu égal.

Limitation des pertes

Les pertes désignent la matière et l'énergie qui n'entrent pas dans le produit final au cours de la production. L'EMPA (Institut de recherche en science des matériaux et en technologie, www.empa.ch) estime ainsi que 98% de la matière utilisée pour fabriquer un produit est perdue au cours de la fabrication. La limitation des pertes vise à réduire ce taux de déchets. C'est une stratégie complémentaire et parfois contradictoire de la valorisation des déchets.

Niveau 3 : Stratégies de mise en œuvre

La mise en œuvre de ces stratégies s'effectue selon les cas selon diverses échelles, ce qui implique également des besoins de développer divers niveaux d'analyse. Cela donne une analyse de systèmes particuliers, à différentes échelles :

- un produit ;
- un procédé ;
- une filière ;
- un établissement ;
- une zone industrielle ;
- un territoire (multifonctionnel) ;

L'un des enjeux est la recherche des échelles pertinentes d'analyse et des systèmes-cibles. Ces stratégies n'ont par ailleurs de sens que si elles reposent sur une compréhension et une intégration des systèmes d'acteurs.

Concepts associés à ce niveau :

Développement éco-industriel

Mode de développement qui se structure autour de communautés d'entreprises qui coopèrent les unes avec les autres afin de partager efficacement les ressources (informations, matière, eau énergie, infrastructure et habitat naturel) permettant des gains économiques et environnementaux ainsi qu'un accroissement des ressources humaines équitable pour les entreprises et les communautés locales.

Source : PCSD, **Sustainable America. A new consensus for the prosperity, opportunity and healthy environment for the future.** Washington D.C. : Government Printing Office, 1996.

Parcs éco-industriels

Les parcs dits « éco-industriels » sont nombreux de par le monde. Cette dénomination regroupe des situations parfois très différentes : elle peut désigner une zone d'échanges de matières à l'échelle d'une ville, d'une région, ou des opérations d'amélioration de la gestion de la ressource en eau, l'utilisation d'énergie solaire dans une zone industrielle. Une nomenclature des termes liés à ce type d'applications de l'écologie industrielle en distingue 5 types :

Type 1 : les systèmes de recyclage classiques de produits en fin de vie qui impliquent une interface collecteur et vendeur (système de recyclage des ordures ménagères, Armée du Salut...),

Type 2 : système de bouclage des flux de matières et d'énergie au sein d'une usine ou d'une entreprise (Ebara corporation, Japon)

Type 3 : système d'échanges de matières et d'énergie entre entreprises voisines sur une zone définie

Type 4 : système d'échanges de matière et d'énergie entre entreprises locales mais non voisines (Kalundborg)

Type 5 : système d'échange de matière et d'énergie entre entreprises organisées « virtuellement » à l'échelle d'une région (Caroline du Nord, Tampico)

Le terme « symbiose industrielle » regroupe les parcs des types 3 à 5.

La structuration des démarches pour les parcs de types 3 à 5 relève de la mise en œuvre du concept de développement éco-industriel.

Source : CHERTOW M., **Industrial symbiosis : literature and taxonomy**, Annual Review Energy and Environment, 2000.

Économie de fonctionnalité

Il s'agit d'un modèle entrepreneurial qui consiste à ne plus vendre des biens, mais l'usage des biens. Les biens demeurent propriété de l'entreprise qui, bien que productrice de biens physiques, vend essentiellement du service. Le fait de demeurer propriétaire du bien incite, à certaines conditions, l'entreprise à dématérialiser autant que possible le service vendu au client (entreprise ou consommateur final), notamment par l'utilisation récurrente de l'éco-conception. L'éco-conception devient également un instrument de gestion du bien en fin de vie, en raison de l'extension de la responsabilité de l'entreprise.

Auteur : N. Buclet UTT



Territorialisation de l'économie

Il s'agit de considérer que le développement durable passera par l'établissement de limites à une économie aujourd'hui déconnectée de la dimension géographique, l'espace étant essentiellement vécu comme une contrainte qu'il faut dépasser.

Niveau 4 : Outils et méthodologies

Bilan de matières

Inventaire de l'ensemble des flux entrants et sortants d'une entité ou d'un système, sur une période donnée. Le bilan peut concerner un secteur d'activité, une entreprise, une zone d'activité, une zone géographique, ou encore un atelier.

Analyse des flux de matières brutes (MFA)

Fournit une description globale des échanges dans un système donné (région, procédé, entreprise, etc.), sur une période de temps définie. La MFA vise à identifier les principaux vecteurs de matières et d'énergie au sein du système étudié, ainsi que leurs principales sources et cibles. Elle est fondée sur la comptabilité en unités physiques des flux en entrée et en sortie du système.

Source : S. Bringezu et Y. Moriguchi, « Material Flow analysis », in R. & L. Ayres, **A Handbook in Industrial Ecology**, Edward Elgar, Cheltenham UK, Northampton MA, USA, pp. 79-90.

Analyse des flux de substance

Etude du métabolisme d'une substance, sous ses différentes formes, au sein d'un système et sur une période déterminée. Par exemple, le métabolisme du plomb dans au sein d'un bassin versant au cours de la décennie 1990-2000.

ACV (Analyse de Cycle de Vie)

L'ACV est une technique d'évaluation des

Fournit un moyen systématique pour évaluer l'effet sur l'environnement d'un produit, d'un service ou d'un procédé. L'objectif est de réduire la pression d'un produit sur les ressources et l'environnement tout au long de son cycle de vie, de l'extraction des matières premières jusqu'à la mise au rebus en fin de vie, cycle souvent qualifié de *berceau au tombeau*. Un effet secondaire est qu'en limitant les besoins en ressources et en énergie, la chaîne de valeur du produit peut s'en trouver améliorée. Son application est normalisée (normes ISO 14040). L'analyse du cycle de vie s'occupe de la fonction du produit. En n'étudiant que le produit en lui-même, il deviendrait difficile de comparer des produits remplissant la même fonction mais de manière différente comme la voiture et le transport en commun dont la fonction commune est de déplacer des personnes.

AFME

Analyse des flux de matière et d'énergie au sein d'un système, sur une période de temps définie.

Indicateurs de développement durable

Instruments de mesure des activités humaines en fonction des objectifs du développement durable. Ces instruments peuvent être soit établis en sous-catégories distinctes (indicateurs environnementaux, sociaux et économiques), soit en fonction d'enjeux de milieu (eau, air,

sol...), soit en fonction d'enjeux établis par la société (changement climatique et donc émissions de gaz à effet de serre, protection de la biodiversité, taux de chômage, analphabétisme, droit des femmes etc...).

Synergies éco-industrielles

Les synergies éco-industrielles sont les éléments de base des parcs éco-industriels. Elles peuvent être de 3 sortes différentes :

- synergie de substitution lorsqu'un flux de matière usagée, d'effluent ou d'énergie résiduelle se substitue à un flux de ressources « neuves » utilisé jusque là
- synergie de mutualisation lorsque des entreprises consomment ou rejettent des flux identiques. En mutualisant la production d'un flux commun (vapeur) ou son approvisionnement (matière première), plusieurs entreprises peuvent augmenter l'efficacité de ces opérations sur le plan économique et environnemental (production de vapeur plus performante, rationalisation de la logistique d'approvisionnement...). Pour des flux sortants, la mutualisation de flux de déchets peut permettre de rationaliser la collecte et d'atteindre des masses critiques permettant par exemple d'accéder à des solutions de valorisation.
- Partage d'infrastructures : cantine, réseau de bus pour les employés, crèche...

SOURCE :

- ADOUE C., *Mettre en œuvre l'écologie industrielle*, PPUR, 2007, Lausanne.
- CHERTOW M., **Industrial symbiosis : literature and taxonomy**, Annual Review Energy and Environment, 2000.

Éco-technologies (dont propres et sobres)

La définition des éco-technologies est très disputée car ce terme semble pouvoir délivrer un brevet écologique aux technologies. Cette discussion rejoint la discussion sur les écolabels : à partir de quand un produit peut-il être qualifié « d'écologique » ? S'agit-il des « meilleures techniques disponibles » (best available techniques) ? Mais ne risque-t-on pas de freiner des progrès techniques ultérieurs ? L'agriculture raisonnée est-elle une écotecnologie ? Le champ des écotecnologies est celui, très disputé, très concurrentiel des technologies prétendant apporter des réponses à la question écologique.

Aujourd'hui le consensus semble se faire autour des techniques basées sur les énergies renouvelables et les techniques de dépollution :

Les écotecnologies sont l'ensemble des technologies dont l'emploi est moins néfaste pour l'environnement que le recours à d'autres techniques. Elles recouvrent les techniques et procédés permettant de maîtriser la pollution (par ex. contrôle de la pollution atmosphérique, gestion des déchets), les produits et services moins polluants et exigeant moins de ressources, et les moyens de gérer les ressources plus efficacement (par ex. techniques d'approvisionnement en eau, d'économies d'énergie).

Source : EU ETAP, environmental technologies action plan

Management environnemental

Le management environnemental désigne les méthodes de gestion d'une entité (entreprise, service...) visant à prendre en compte l'impact environnemental de ses activités, à évaluer cet



impact et à le réduire. Le management environnemental s'inscrit dans une perspective de développement durable.

Les motivations de l'entreprise peuvent être de plusieurs types : respect des réglementations, améliorer l'image de l'entreprise, améliorer les relations avec les riverains (pour les entreprises polluantes), faire des économies, obtenir une certification environnementale réclamée par les clients de l'entreprise ou un écolabel...

Le système de management environnemental (ou SME) est défini comme « composante du système de management global qui inclut la structure organisationnelle, les activités de planification, les responsabilités, les pratiques, les procédures, les procédés et les ressources pour établir, mettre en œuvre, réaliser, passer en revue et maintenir la politique environnementale » (§2.1. de la norme ISO 14050 qui définit le SME).

Les actions entreprises dans le cadre d'un système de management environnemental peuvent être :

- une Analyse des Cycle de Vie des activités de l'entreprise
- l'éco conception des produits
- la prévention de la pollution
- la diminution de la consommation des ressources naturelles
- la diminution de la consommation d'énergie
- la réduction des déchets
- l'éducation à l'environnement
- la certification suivant les normes environnementales
- l'implication des fournisseurs et sous-traitants en les encourageant à adopter un système de management environnemental

Le management environnemental utilise des outils comme l'Analyse de Cycle de Vie pour déterminer l'impact des activités de l'organisme sur l'environnement. Les impacts environnementaux sont évalués en fonction de leur gravité et de leur fréquence. On doit aussi prendre en compte les effets potentiels, par exemple en cas d'accident.

Le management environnemental est amené à évoluer pour prendre en compte les résultats des mesures d'impacts, en suivant un processus d'amélioration continue. Il doit prendre en compte des contraintes réglementaires, techniques et économiques. Cette nouvelle forme de management fait appel à des compétences toutes aussi nouvelles. Certaines entreprises se font accompagner devant la complexité de la mise en place de procédures de management environnemental. Plusieurs initiatives provenant aussi bien du public que de cabinets de conseil privés ont pour but la mise en place d'outils pour faciliter l'application de ces procédures comme par exemple une encyclopédie exhaustive des clauses d'achats durables.

Métabolisme industriel

La famille des outils de métabolisme industriel regroupe un certain nombre d'outils permettant de caractériser la dynamique des flux de matières et d'énergie au sein d'un système étudié. Cette dynamique des flux est en effet à la source des interactions entre les sociétés humaines contemporaines et les autres écosystèmes de la biosphère.

Depuis les années 70-80, un certain nombre d'outils méthodologiques ont donc été développés pour l'étude de divers types d'interactions.

Ils peuvent se focaliser sur des problématiques environnementales spécifiques à certaines substances, matières ou produits. On retrouve dans cette sous-famille :

- **l'analyse des flux de substances** (analyse du métabolisme du plomb dans un bassin versant, SFA en anglais),
- l'analyse des impacts liés à une matière précise ou à un produit (méthode MIPS, ACV...).

D'autres outils se focalisent sur les bilans de flux d'un système à étudier qui peut être un territoire, une entreprise ou encore un secteur industriel :

- Analyse des flux de matière et d'énergie sur un territoire (**AFME**, MFA en anglais),
- Bilan flux entrants/ flux sortants d'une entreprise.

Source : Bringezu S. & Moriguchi Y., Material Flow Analysis, in *Handbook of industrial ecology*, Edited by B.Ayres & L. Ayres, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, Northampton, 2002, pp.79-90.

Pistes de réflexion du consortium ARPEGE

Le texte suivant est le produit de la réflexion des dix-neuf membres du consortium ARPEGE (Atelier de Réflexion Prospective sur l'Écologie Industrielle) financé par l'ANR dans le cadre du programme PRECODD. Rappelons qu'ont participé à cet atelier des représentants du monde de la recherche, de l'entreprise, de l'expertise et du conseil, acteurs qui ont visé, à travers plusieurs réunions de travail, à dialoguer et à construire ensemble des thématiques de recherche autour de l'écologie industrielle. Les pages qui suivent ont pour objet de présenter l'ensemble des thématiques de recherche dont l'exploration permettrait :

- d'accroître le degré de connaissance de ce que l'on peut attendre de l'écologie industrielle en tant que stratégie de développement durable,
- d'affiner les moyens de dissémination concrète, auprès des acteurs publics comme privés, des principes à la base de l'écologie industrielle.
- de créer un cadre favorable au déploiement de l'Écologie Industrielle

Il paraît important pour les membres d'ARPEGE de ne pas perdre de vue le besoin de stimuler à la fois des questions de recherche fondamentale dans différentes disciplines et des questions de recherche action.

Rappelons d'emblée la définition commune aux membres d'ARPEGE de l'écologie industrielle :

L'Écologie Industrielle s'inscrit dans l'Écologie des sociétés industrielles, c'est-à-dire des activités humaines productrices et/ou consommatrices de biens et de services.

L'Écologie Industrielle porte une attention particulière à l'analyse des échanges entre les sociétés et la nature et à la circulation des matières et de l'énergie qui les caractérisent, ou qui caractérisent les sociétés industrielles elles-mêmes. Ces flux sont analysés d'un point de vue quantitatif (métabolisme industriel) voire naturaliste, mais aussi d'un point de vue économique et social, dans une perspective systémique.

L'Écologie Industrielle constitue ainsi un champ de recherche pluri et interdisciplinaire, mais aussi une démarche d'action dans la perspective d'un développement durable. Sa mise en œuvre vise à rendre compatible les actions humaines avec les capacités de la biosphère. En ce sens, l'écologie industrielle appelle un changement de paradigme et de représentation.

L'Écologie Industrielle peut porter sur une filière, une entreprise, un établissement industriel, une zone industrielle, un territoire, une région, une matière... etc. Elle se réfère à des méthodes propres à l'écologie scientifique, à la thermodynamique, à la sociologie des organisations, etc.

Il ressort de cette définition une première conséquence en termes scientifiques : la nécessité absolue de développer des **travaux interdisciplinaires**. Les disciplines à mobiliser conjointement sont les suivantes : sciences de l'ingénieur, sociologie, économie, droit, statistiques, écologie, sciences de l'aménagement, sciences politiques, anthropologie, psychologie, philosophie, systémique...

L'écologie industrielle est par ailleurs, tant au niveau applicatif qu'au niveau conceptuel, une **réalité internationale**. Il paraît nécessaire de stimuler des travaux comparatifs, notamment sur le volet des stratégies déployées par les acteurs dans une logique d'écologie industrielle,

ainsi que sur les politiques publiques déployées dans ce but dans des pays étrangers. La question des modes de coopération envisageables avec des équipes étrangères mérite donc d'être posée.

L'écologie industrielle s'appuie sur une **vision systémique** des activités humaines et des interactions entre l'homme et la biosphère. Les travaux à mener doivent apporter une attention particulière, tant aux questions d'articulation et de coordination des activités humaines, et notamment de gouvernance, qu'aux questions de compréhension des mécanismes écologiques, qu'il s'agisse du : fonctionnement des écosystèmes, de la capacité de ces écosystèmes à nous délivrer des services écologiques, ou de leur plus ou moins forte vulnérabilité lorsque mis sous pression par les activités humaines. La question de l'empreinte des activités humaines¹, observée pour un territoire donné ou en réponse à un besoin anthropique précis (se mouvoir, s'alimenter, se chauffer...), est également de première importance.

Il ressort de ces considérations l'architecture de l'ensemble du programme dédié au développement de l'écologie industrielle tant au niveau de la connaissance que de l'action. Le premier pilier de cette architecture repose sur la difficulté à penser l'action sans connaissance approfondie des conséquences sur l'environnement des options stratégiques qui s'offrent aux acteurs, dès lors qu'ils souhaitent s'orienter dans un sens durable.

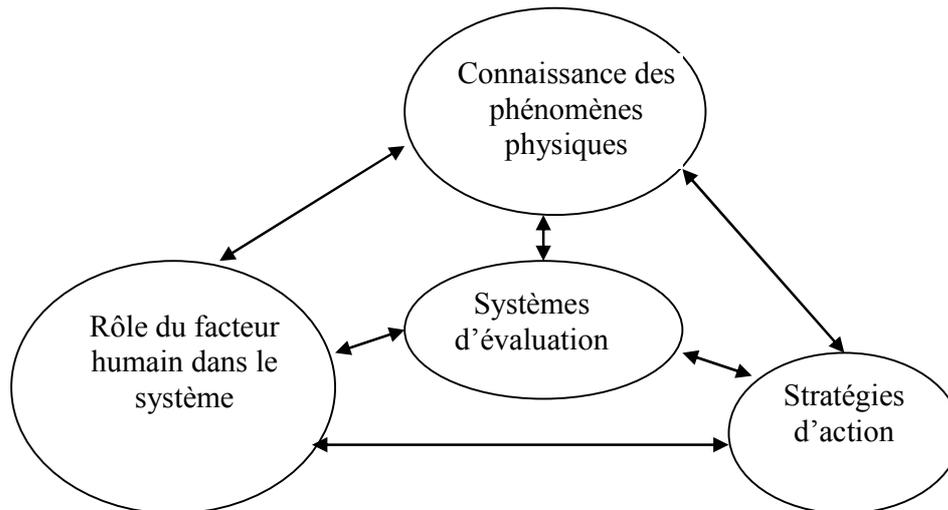
Le second pilier mise sur la capacité de la recherche à améliorer la connaissance systémique de sociétés humaines qui souhaiteraient s'inscrire dans une démarche d'écologie industrielle. Pour ce faire, il est nécessaire de comprendre où se situent les enjeux économiques et sociaux des territoires et des secteurs d'activité. Ce n'est en effet qu'à partir de ces enjeux, des préoccupations humaines en matière de développement durable, que les flux physiques prennent leur sens. Les acteurs engendrent également des flux monétaires et des flux d'information. C'est de l'articulation entre ces flux, couplée au dialogue entre acteurs, que peuvent ressortir les enjeux sociétaux.

Si le premier pilier est celui de la connaissance et le deuxième pilier celui de l'intégration des connaissances en un ensemble qui fait système, le troisième pilier est celui de l'action rendue d'autant plus efficace qu'elle tient compte de cet ensemble. L'ensemble des choix comportementaux et technologiques dépend en grande partie des stratégies d'action que l'on souhaite adopter, mais aussi des conséquences de l'adoption de telles stratégies.

Enfin, la nécessité de faire correspondre l'action avec la connaissance, d'asseoir les stratégies des acteurs sur la meilleure connaissance scientifique possible des mécanismes interactifs entre l'homme et son environnement, rend nécessaire le développement de travaux autour des systèmes d'évaluation des actions entreprises.

Cela donne lieu au schéma suivant, qui nous permet de représenter l'articulation entre les quatre thèmes proposés. Les systèmes d'évaluation ont une position centrale en ce qu'ils s'adressent autant à la connaissance existante ou en devenir qu'à l'efficacité de l'action sur le terrain. La logique systémique sur laquelle s'appuie l'écologie industrielle impose une interaction entre les connaissances des phénomènes physiques d'une part, et liées à l'action humaine d'autre part. Enfin les stratégies d'action gagnent à intégrer ces connaissances tout en suscitant de nouveaux besoins quant à la connaissance du fonctionnement du système :

¹ A ne pas confondre avec l'empreinte écologique.



Thème A : Connaissances des phénomènes physiques

L'écologie industrielle repose sur la mobilisation de nombreuses données et l'utilisation d'un certain nombre de méthodes qui permettent de connaître et de caractériser le système étudié (établissement industriel, filière, zone industrielle ou d'activité, aire géographique). Bien que certaines d'entre elles soient bien connues et bénéficient d'une accessibilité (données) ou d'une (méthode) clairement identifiées, beaucoup reste à faire afin de mettre à la disposition de la recherche et de l'action des outils fiables, adaptables à des situations diverses mais présentant un socle commun permettant la comparaison de ces situations, comme l'observation des tendances matérielles et énergétiques et le suivi des projets. De nombreux bilans de matières², analyses du cycle de vie³ ou analyses des flux de substances⁴ ont été réalisés ces dernières années. Force est de constater cependant que les composantes énergétiques et matérielles du fonctionnement des sociétés demeurent méconnues, compte tenu d'une part de ce qui a été énoncé ci-dessus, d'autre part du peu d'analyses existant dans certains secteurs d'activités ou adoptant une dimension territoriale. Les recherches entrant dans le thème A visent donc à pallier ces manques.

A.1 Données, nomenclatures et typologie

La réalisation de bilan d'énergie et ou de matière est souvent freinée par l'inexistence, la dispersion, l'inaccessibilité, l'inadaptation (format des données, sources de données à différentes échelles...) ou l'imprécision des données existantes. La question du **bouclage des flux**, en particulier, centrale en écologie industrielle, nécessite une meilleure connaissance des

² Inventaire de l'ensemble des flux entrants et sortants d'une entité ou d'un système, sur une période donnée. Le bilan peut concerner un secteur d'activité, une entreprise, une zone d'activité, ou encore un atelier.

³ Fournit un moyen systématique pour évaluer l'effet sur l'environnement d'un produit, d'un service ou d'un procédé. L'objectif est de réduire la pression d'un produit sur les ressources et l'environnement tout au long de son cycle de vie, de l'extraction des matières premières jusqu'à la mise au rebut en fin de vie, cycle souvent qualifié de *berceau au tombeau*.

⁴ Etude du métabolisme d'une substance, sous ses différentes formes, au sein d'un système et sur une période déterminée.

flux et stock de matière et d'énergie impliqués dans la production de biens et de services. Cela donne lieu aux questions suivantes :

- Le traitement des données sur les flux et sur les stocks est au cœur de ces deux problématiques. Il s'avère extrêmement complexe à cause de l'hétérogénéité des sources et de la nature des données. **Quel langage commun** peut favoriser l'échange et le bouclage des flux, par rapport à la nature de ces flux ? Comment harmoniser les syntaxes ?
- Disposer de données relatives aux flux et aux stocks est absolument incontournable si l'on souhaite progresser dans une démarche d'écologie industrielle. ARPEGE appelle donc à un travail commun de cohérence entre **statisticiens** et **praticiens du métabolisme** pour que les premiers comprennent les besoins des seconds et que ces derniers connaissent mieux l'existant en matière d'outils statistiques. En particulier, se pose la question de l'articulation entre les besoins de données sur les flux à un niveau territorial et les bases de données statistiques existantes. Est-il nécessaire, dans certains cas, d'adapter l'échelle des données statistiques à un niveau territorial pertinent pour mettre en œuvre des politiques inspirées par l'écologie industrielle ?
- La connaissance des propriétés des flux et des stocks potentiellement échangeables est également fondamentale dès lors que l'on souhaite favoriser échanges et synergies entre acteurs.
- Il existe quantité de données monétaires sur les flux et les stocks dont la correspondance avec leurs équivalents physiques doit être approfondie par des travaux de recherches, notamment dans un objectif de désagrégation des données disponibles. Cela appelle notamment à l'utilisation des matrices de Leontief⁵.
- Les échelles de territoire sont reliées mécaniquement par les flux de matière générés par l'économie. Ainsi, l'expérience montre qu'il est important de travailler à plusieurs échelles territoriales simultanément. Comment :
 - Améliorer la production et favoriser la mise en cohérence de données à plusieurs échelles territoriales,
 - Prendre en compte, quand cela est possible, les origines/destinations des flux, en plus des bilans entrants/sortants,
 - Comparer et vérifier la cohérence, pour un même flux, entre la donnée issue d'une mesure locale et l'estimation ou l'agrégation obtenue à partir d'une ressource disponible à une échelle plus large
- Face aux difficultés à mobiliser et à accéder aux données nécessaires à une démarche d'écologie industrielle, quels **mécanismes institutionnels** et quels **instruments juridiques** (de type obligation d'informations sur l'efficacité énergétique à fournir à la

⁵ L'Analyse entrée-sortie (ou tableau entrées-sorties (TES)), est une modélisation économique permettant de prévoir l'influence des changements dans un secteur d'activité particulier ou des changements de consommation sur le reste de l'économie. Il donne une représentation cohérente de la production nationale. Cette analyse a été développée par Wassily Leontief, qui a reçu le prix « Nobel d'économie » pour ses travaux en 1973.

DRIRE) sont nécessaires pour trouver un juste équilibre entre besoins d'obtenir des mesures de flux et compétitivité des entreprises ? Quel degré d'agrégation de donnée pour permettre un partage de l'information ? Quelle typologie des informations en fonction de leur niveau de confidentialité ?

- Concernant l'impact des activités humaines sur l'écosystème, il serait pertinent de stimuler des domaines de recherche visant à améliorer le comportement environnemental de substances qui y sont introduites. Quels types de flux de substances, en dehors des polluants, méritent d'être analysés ?

A.2 Méthodes d'analyse

La connaissance des cycles biogéochimiques anthropiques est nécessaire à la compréhension de l'impact des activités humaines sur l'environnement et, surtout, du niveau d'activités humaines compatibles avec un équilibre éco-systémique. Il est nécessaire de lancer des programmes de recherche afin d'affiner ces connaissances, soit dans une **perspective historique** (analyse de flux de substances sur un territoire donné sur une longue période), soit dans une **perspective comptable** (meilleure connaissance des flux de substances liés aux activités humaines), soit encore dans une **perspective d'évaluation des risques sanitaires et écologiques**. La méthode du métabolisme⁶ est bien entendu au cœur de ces programmes de recherche.

Dans le cadre de cette thématique, ARPEGE recommande d'apporter des réponses aux questions suivantes :

- Comment la **connaissance « historique »** des flux biogéochimiques renseigne sur l'activité / la « soutenabilité » du système ? De même, qu'en est-il de la question de la **compatibilité entre le niveau d'activités humaines et la capacité de charge d'un territoire** ? Quelles méthodes portant sur quels flux permettraient de mieux appréhender ces questions ?
- Comment mieux appréhender la **question des seuils de résilience des écosystèmes** ? Il paraît notamment important de comprendre ce que les connaissances actuelles en la matière peuvent apporter à une démarche d'écologie industrielle.
- Quels outils peuvent être développés pour mieux connaître les **risques (environnementaux, sanitaires, techniques, financiers et juridiques...)** et les **services écologiques** liés à des opportunités de bouclage des flux ? Il peut s'agir de risques d'accumulation, de concentration des substances⁷ suite à un bouclage répété, d'exposition de longue durée à de faibles doses. Il peut au contraire être question de substances transformées (métabolites), de modification de la toxicité et, éventuellement, favorisant l'apparition de services écologiques.
- Comment identifier le **degré de dépendance d'un territoire** en termes de ressources (matière, eau, énergie) ? Il s'agit là d'un élément important en termes de **gouvernance territoriale**. Un certain nombre de territoires se posent en effet la question d'une réduction de leur dépendance vis-à-vis de ressources extérieures. D'autre part, dans

⁶ La famille des outils de métabolisme industriel regroupe un certain nombre d'outils permettant de caractériser la dynamique des flux de matières et d'énergie au sein d'un système étudié. Cette dynamique des flux est en effet à la source des interactions entre les sociétés humaines contemporaines et les autres écosystèmes de la biosphère.

⁷ La notion de substance est reprise de l'ouvrage de R. Ayres & L. Ayres, *A Handbook of Industrial Ecology* (2002), Edward Elgar. Il s'agit soit d'éléments simples soit de molécules persistantes dans l'environnement.

une logique de développement durable, ces mêmes territoires ne peuvent faire l'impasse sur les impacts de leurs activités sur l'extérieur. La méthode du métabolisme territorial doit être affinée dans ce sens et interroger les données statistiques disponibles, ainsi que les méthodes permettant d'obtenir ces données. La question se pose notamment de comment **harmoniser les méthodes d'analyse à différentes échelles** (répondre au besoin de référentiels nationaux et régionaux). De même, il est nécessaire de se poser la question de la réelle pertinence d'articuler les échelles territoriales sur l'efficacité des analyses de flux de matière et d'énergie.

- En cas de substitution d'un intrant par un autre dans un procédé industriel, outre l'importante mesure de l'impact sur l'environnement, **l'impact des substitutions sur les filières industrielles** est également mal connu. Quel accompagnement méthodologique faut-il mettre en place pour déterminer les substitutions selon les contextes et aider les secteurs industriels à se réorganiser en conséquence ?
- Les démarches de bouclage de flux demandent du temps pour se développer sur un territoire, notamment car les systèmes industriels ne sont pas conçus pour les échanges de flux (évolutivité, modularité...). Comment intégrer le concept de bouclage de flux dès la conception des systèmes industriels, du procédé à la zone d'activités ou à la filière?
- Comment intégrer de nouveaux type de flux comme les **flux d'information, de ressources humaines et de connaissance** dans les méthodes de métabolisme industriel?

Thème B : Rôle du facteur humain dans le système

La connaissance des flux physiques qui caractérisent l'action de l'homme, ainsi que des conséquences de cette action tant sur l'homme lui-même que sur la biosphère, ne suffit pas pour comprendre comment l'homme peut répondre aux enjeux de société, tout en respectant les équilibres écologiques nécessaires au maintien d'une biosphère compatible avec les sociétés humaines. D'autres flux, non intégrés aux méthodes courantes de métabolisme, devraient également être pris en compte : les flux de connaissances et d'information qui ont un rôle fondamental pour l'équilibre économique des acteurs. Il est également important de prendre en compte ce qu'apportent les services écologiques aux activités humaines ou à la **remédiation des écosystèmes** et qui n'est aujourd'hui pas comptabilisé. Une réflexion s'impose donc sur le type de connaissances à approfondir concernant les relations de l'homme avec la biosphère.

En lien avec ces connaissances, plusieurs questions peuvent se poser :

- Dans la détermination de ses choix économiques, autant individuels que collectifs, l'homme tient essentiellement compte des flux intégrés aux échanges monétarisés. Un certain nombre d'objets et de phénomènes physiques ne sont dès lors pas pris en compte, alors même que l'on sait depuis les travaux de l'économiste Ronald Coase, qu'il faudrait les internaliser au raisonnement économique. Quels mécanismes peuvent permettre de mieux les **intégrer au raisonnement économique des acteurs** et de **tenir compte de la valeur de services écologiques** fréquemment considérés comme gratuits et illimités ?
- Il existe un fort besoin de recenser les derniers travaux concernant le fonctionnement des écosystèmes et les **portées et les limites de l'analogie de l'écologie industrielle avec le fonctionnement des écosystèmes naturels**. Quel est le régime de perturbation

acceptable des systèmes inspirés de l'écologie industrielle et qui permette de les maintenir ou les promouvoir ? En s'inspirant notamment des travaux sur la **fiabilité des systèmes** comment repenser, au sein de sous-système d'origine anthropique, des phénomènes tels que la redondance, la flexibilité des systèmes, les mécanismes d'interdépendance avec les réseaux trophiques, l'existence de réseaux...

- Quels **facteurs organisationnels, technologiques, psychologiques** influencent principalement la mise en œuvre de synergies ?
- Le cadre conceptuel de l'écologie industrielle est un autre champ d'investigation d'importance, notamment à travers le **changement de paradigme** qu'il présuppose. Quelle est la **dimension politique de l'écologie industrielle** ? Jusqu'à quel point présuppose-t-elle une vision idéologique de la société ? Quelles sont les limites de l'écologie industrielle par rapport aux exigences et aux finalités du développement durable ? Face aux limites de l'écologie industrielle, comment le concept et sa mise en œuvre pourraient évoluer pour être mieux à même de répondre aux objectifs de développement durable ? Quel apport l'écologie industrielle peut-elle avoir dans les **stratégies d'économies de ressources** et dans une **meilleure prise en compte du lien entre matière et énergie** ?
- L'écologie industrielle, en tant que mode d'appréhension systémique des relations entre hommes, et entre ceux-ci et la biosphère, doit notamment être analysée en tant que **mode de coopération** via des outils théoriques de type théorie des jeux, économie des conventions... Quelle **logique d'acteurs** freine ou favorise une démarche d'écologie industrielle ? En quoi le succès d'une démarche d'écologie industrielle est plus sensible aux **spécificités culturelles et politiques d'un territoire** (notamment en termes coopératifs) que d'autres démarches d'aménagement du territoire (infrastructures, gestion des déchets...) ? Quelle prise en compte de l'**apprentissage inter-organisationnel** peut faciliter l'appropriation des acteurs dans une démarche d'écologie industrielle ?
- Quel est l'apport de l'écologie industrielle dans la **connaissance de la relation entre systèmes anthropiques et systèmes naturels** ? Comment l'écologie industrielle articule-t-elle la relation entre l'industrie stricto sensu et nature ? Quel apport peut-on espérer de la **compréhension des systèmes agricoles et de leur interaction avec la nature**, notamment en tant qu'intermédiaire entre l'industrie et les systèmes naturels ?
- Les besoins de coopération se situent également à un niveau territorial et supposent un travail sur la question de la **gouvernance locale**. Quelle est l'échelle pertinente pour que des territoires définissent le degré d'autonomie de leurs activités en termes d'importation et d'exportation de flux, et par exemple leur capacité à moins dépendre de façon déterminante de ce qu'ils reçoivent ou envoient de et vers d'autres territoires ? Quelle taille pertinente de territoire pour la gestion des flux et stocks de matière et d'énergie (et par exemple des déchets) ? La délimitation du territoire peut être définie par les flux de matières, mais les acteurs déterminent également une certaine cohérence territoriale. Comment concilier ces deux logiques ? Cela suppose un **travail sur le vecteur structurant un territoire**, les flux ou le bassin de vie, et la capacité d'interaction des acteurs. De nouveaux travaux, ou des liens avec d'autres programmes de recherche, notamment en **géographie** et en **aménagement du territoire**, permettraient de mieux comprendre ce phénomène.

- Quelle complémentarité entre **économie de fonctionnalité**⁸ et bouclage des flux via des synergies entre acteurs, notamment à un niveau territorial délimité ? Quelle est la **complémentarité entre approche produit/filière et l'approche système**. L'économie de fonctionnalité peut-elle constituer un nouveau mode de relations entre acteurs publics et privés à un niveau territorial, mode de relations favorable à un meilleur bouclage des flux ?
- Le passage vers une économie de fonctionnalité, approche potentiellement la plus écologique d'un passage à une économie de services, incitera probablement à une dématérialisation des biens, du support final offert au client. Cela peut renforcer le mouvement de miniaturisation des biens, phénomène que l'on associe souvent, et abusivement, à la **dématérialisation⁹ des biens**. Quels peuvent être les effets, d'un point de vue environnemental et sanitaire, d'un tel renforcement ? Quel peut-être le rôle et l'**impact des nanotechnologies** à ce propos ? En d'autres termes, la dématérialisation des biens, dans le cadre de l'économie de fonctionnalité, est-elle vertueuse pour l'environnement, le développement durable ?

Thème C : Stratégies d'action

Ce thème se structure notamment autour de deux points : 1) la question de la réglementation favorable à des changements de comportement 2) la détermination de stratégies alternatives pour réduire l'impact des activités humaines sur l'environnement.

Sur le premier point, soulignons que nombre de praticiens font état de **freins réglementaires**, notamment concernant le **statut des déchets**. Il n'y a cependant pas consensus parmi les industriels. Un travail plus approfondi sur ce que seraient ces freins et sur leur rôle réellement bloquant paraît nécessaire. De façon plus générale, la réglementation peut également constituer un levier important, notamment lorsqu'elle favorise davantage de transparence sur les flux concernés par les procédés et, partant, la mise en œuvre possible de synergies. Outre les réglementations, la question de **l'échelle territoriale de la fiscalité** paraît également importante, notamment si l'on souhaite faciliter la capacité d'action à différents niveaux territoriaux.

Autre volet fondamental, celui des besoins de coopération accrus entre acteurs impliqués par une démarche d'écologie industrielle. Cet aspect paraît évident pour la création de synergies (matière, énergie, coopération). Il est également fondamental afin de développer le modèle de l'économie de fonctionnalité. Se pose notamment la **question de la contractualisation entre acteurs**, de la facilitation de synergies et de coopérations entre ceux-ci. Comment accroître la confiance entre les acteurs et comment faciliter les montages juridiques de contrats à long terme entre particuliers et entreprises prestataires de service (par exemple dans l'habitat pour

⁸ Il s'agit d'un modèle entrepreneurial qui consiste à ne plus vendre des biens, mais l'usage des biens. Les biens demeurent propriété de l'entreprise qui, bien que productrice de biens physiques, vend essentiellement du service. Le fait de demeurer propriétaire du bien incite, à certaines conditions, l'entreprise à dématérialiser autant que possible le service vendu au client (entreprise ou consommateur final), notamment par l'utilisation récurrente de l'éco-conception. L'éco-conception devient également un instrument de gestion du bien en fin de vie, en raison de l'extension de la responsabilité de l'entreprise.

⁹ Il s'agit des différentes stratégies à mettre en œuvre afin de répondre à l'un des objectifs de l'écologie industrielle. Ces stratégies sont des réponses d'ordre organisationnel (économie de fonctionnalité) ou technologique (éco-conception, développement d'éco-technologies) et ont pour point commun de modifier les comportements des acteurs vers un découplage entre activités productives et consommation de ressources physiques.

l'isolation et le confort thermique) ? **La question du risque, du système d'assurance et de la contractualisation est fondamentale** pour éviter qu'entreprises et/ou particuliers n'aient à subir les conséquences d'inévitables aléas.

La diffusion du modèle d'économie de fonctionnalité pose également la question des asymétries de pouvoir de marché entre prestataires et clients, notamment lorsque ces derniers sont contraints de contractualiser avec des entreprises en position excessivement dominantes sur le marché (ou organisées tacitement sous forme de cartel). Quels mécanismes institutionnels peuvent favoriser une réduction de ces asymétries ?

En lien avec ces considérations, les questions suivantes sont posées :

- Comment élaborer une **stratégie d'intelligence territoriale** afin de tirer le meilleur profit des ressources locales, notamment par la meilleure implication possible des compétences disponibles ? Il s'agit notamment de réfléchir à l'adaptation des procédés industriels au bouclage des flux afin d'être capable de mieux **adapter le procédé aux ressources disponibles et non le contraire**. Cela permet de rétablir le lien territorial entre les intrants nécessaires à l'activité humaine et les besoins exprimés par les populations.
- Quelles sont les meilleures **stratégies organisationnelles de coopération entre acteurs** pour mettre en œuvre bouclage des flux et écologie industrielle en général ? Par ailleurs en matière organisationnelle, se pose la question de l'aide des **sciences logistiques** en matière de bouclage des flux ou d'optimisation des systèmes industriels.
- Un travail à partir de **cas concrets** devrait permettre d'apporter un certain nombre de réponses quant à **l'impact de la réglementation sur l'émergence de pratiques fondées sur les principes d'écologie industrielle**. Il s'agit à la fois d'identifier ce qui, dans la réglementation, peut constituer un frein ou un levier, mais aussi de mieux comprendre comment aider les entreprises à ne plus voir, de prime abord, certaines réglementations comme des freins. Il existe des cas concrets, notamment en matière de réglementation sur les déchets, ou une réglementation est perçue comme un frein par certaines entreprises souhaitant adopter une démarche d'écologie industrielle, alors que d'autres entreprises s'appuient sur cette même réglementation dans leur action. Il en va de même avec l'échange de certains types de flux (utilités) avec les droits de passage. La légitimité que confère une réglementation plus stricte à des acteurs exploitant des déchets, constitue notamment un atout en ce qu'il favorise la confiance des autres acteurs quant au moindre impact de l'activité de l'entreprise sur l'environnement et la santé. Par ailleurs, en quoi des avancées dans la « déréférenciation » des déchets en ressources pourraient aboutir à des effets contraires à la protection de l'environnement alors même que cela favoriserait des démarches d'écologie industrielle ? Enfin quels sont les effets que pourra avoir la réglementation **REACH** sur les mouvements de bouclage des flux (substitution).
- Quels mécanismes institutionnels peuvent porter le changement de paradigme que l'écologie industrielle appelle de ses vœux (mécanismes participatifs, soutien aux écotecnologies, répartition des compétences territoriales) ?
- La nécessité de raisonner selon une **approche systémique** n'est pas la moindre des difficultés. Afin de faciliter des raisonnements systémiques et l'enseignement de l'écologie industrielle, il serait pertinent de réfléchir aux **évolutions pédagogiques nécessaires**.

- Comment faciliter la prise de décision des entreprises dans la **détermination de substituts favorables à une réduction de l'impact sur l'écosystème** ? Quel accompagnement méthodologique serait utile pour déterminer les substitutions ? En particulier, il est fondamental de tenir compte de la diversité territoriale en matière d'impact environnemental et économique, ainsi que de la disponibilité des ressources. Comment intégrer l'analyse fonctionnelle dans la conception des procédés afin de réfléchir à des synergies fonctionnelles. Peut-on raisonner en considérant que l'on n'a plus besoin d'une substance particulière, mais d'une fonction particulière que peuvent remplir diverses substances possibles ?
- La théorie de **l'effet rebond** remet en cause les efforts portés pour dématérialiser l'économie. Les deux principales démarches proposées par l'écologie industrielle visant à contribuer à cette dématérialisation (bouclage de flux et économie de fonctionnalité) voient donc leur efficacité remise en cause. Cette problématique fondamentale doit donc être étudiée. Les démarches de dématérialisation de l'économie proposés par l'écologie industrielle ont-elles une réelle efficacité au regard de la théorie de l'effet rebond ?

Thème D Systèmes d'évaluation

L'écologie industrielle est une démarche au **périmètre territorial multiple**. Cela se reflète notamment à travers le niveau décisionnel auquel sont entreprises les démarches, mais également au travers des travaux scientifiques menés en matière de connaissance des flux :

- Au niveau d'une simple entreprise ou, plus généralement, d'un acteur considéré de manière individuelle ;
- A l'échelle d'une zone d'activités industrielle ;
- A l'échelle d'un bassin de vie tel que défini par l'INSEE (cf. www.insee.fr);
- A l'échelle d'une structure administrative plus large, département ou région en ce qui concerne la France ;
- A l'échelle d'une région plus large, à l'instar de ce que peut représenter le bassin parisien.

A ces niveaux « territoriaux », il faut ajouter la possibilité d'agir au niveau de filières d'activité, et donc selon une configuration d'acteurs non spécifiquement territoriale.

Par ailleurs, afin de favoriser la compatibilité entre actions humaines et capacités de la biosphère, l'écologie industrielle a notamment pour objectifs la dématérialisation, la « décarbonisation »¹⁰, le bouclage des flux et la réduction des émissions dissipatives.

ARPEGE propose que la réflexion autour des systèmes d'évaluation se structure en fonction de ces deux dimensions : périmètre d'action/objectif à atteindre :

¹⁰ Objectif qui consiste à réduire les émissions de gaz à effet de serre au niveau des actions humaines.

| | Type d'objectif considéré | | | |
|--|---------------------------|-----------------|-------------------|--------------------------------------|
| | Dématérialisation | Décarbonisation | Bouclage des flux | Réduction des émissions dissipatives |
| Périmètre considéré | | | | |
| Simple acteur (entreprise, collectivité...) | | | | |
| Zone d'activités industrielles | | | | |
| Bassin de vie | | | | |
| Structure administrative départementale ou régionale | | | | |
| Echelle « régionale » (ex : bassin parisien, bassin aquitain...) | | | | |

Cette configuration matricielle permettrait à la fois de ne pas perdre de vue le **besoin d'indicateurs à différents niveaux** (l'expérience montrant l'impossibilité de disposer d'indicateurs efficaces quel que soit l'objectif ou le périmètre considéré), mais aussi d'**articuler les résultats entre les niveaux** afin de ne pas perdre la **vision systémique** de l'ensemble. En effet, des indicateurs de mesure de l'action individuelle peuvent donner des résultats favorables en termes d'impacts, alors même que la somme des actions individuelles, pourtant considérées unitairement positives, peut s'avérer négative en termes d'impacts. Ainsi, pour la dématérialisation, il est important d'articuler les différents niveaux d'évaluation afin que la dématérialisation d'actions individuelles contribue également à une dématérialisation globale. Ce n'est pas le bien produit qu'il faut évaluer, mais *l'ensemble de la chaîne d'emploi des ressources*. Dès lors, les indicateurs utilisés au niveau le plus bas (du simple acteur) devraient être lisibles à un niveau plus global (écoparc, territoire urbain, région, pays...). Il faut en outre réfléchir à la cohérence nécessaire entre les indicateurs d'état permettant d'élaborer une stratégie d'action et les indicateurs d'évaluation. Par ailleurs, comment les systèmes d'évaluation peuvent rendre compte de l'aspect systémique de ce type de démarche, avec quels **indicateurs visuels** ?

Cela donne lieu aux pistes de recherche suivantes :

- Quelle est la **spécificité des indicateurs d'écologie industrielle** par rapport aux indicateurs de développement durable ?
- Quelle est la spécificité des indicateurs d'écologie industrielle par rapport aux indicateurs d'éco-efficacité ?

- Un travail s'avère nécessaire sur la nécessaire **appropriation des indicateurs par les acteurs du terrain**. En raison des aspects fortement systémiques de l'écologie industrielle, il paraît raisonnable que les acteurs d'un territoire déterminent collectivement (via la démocratie participative) des objectifs communs. Comment articuler cette phase de dialogue avec quels indicateurs ? Comment les indicateurs influent sur la perception des acteurs et leur capacité à travailler ensemble ? Comment **évaluer les aspects socioculturels** dans une démarche d'écologie industrielle ? Avec quels indicateurs ?
- Les indicateurs d'écologie industrielle doivent apporter un certain nombre de réponses quant à la relation entre activités humaines et biosphère. Il faut ainsi s'interroger sur l'intégration des indicateurs des polluants par rapport à l'**éco-toxicologie** et d'**épidémiologie** dans les travaux de métabolisme. Quelle prise en compte des aspects sanitaires dans les systèmes d'évaluation en écologie industrielle ? Y a-t-il des indicateurs permettant de mesurer la fragilité, la flexibilité, la résilience d'un système anthropique ? Comment la spécificité des territoires influence la détermination d'indicateurs d'écologie industrielle ? Est-il nécessaire de tenir compte de spécificités biogéochimiques, ou de spécificités culturelles dans la présentation des indicateurs ? Quels indicateurs sont-ils nécessaires pour évaluer le potentiel d'optimisation dans l'utilisation des flux de ressources sur un territoire ?
- La mise au point d'un **système comptable énergétique** pour comparer des systèmes de production et des choix de développement est un instrument qui, dans bien des cas, permettrait aux politiques publiques de s'orienter et d'orienter les acteurs, publics comme privés, vers des stratégies plus durables. Des données relatives à l'efficacité énergétique des procédés sont en ce sens essentielles. Serait-il pertinent d'introduire une obligation de transparence des entreprises comme des collectivités locales en la matière ?
- Il serait important de relier les besoins de données avec l'ensemble des politiques de développement territorial durable (agenda 21, plans de déplacements urbains...). Il faut en particulier s'interroger sur l'**utilité des métabolismes dans une logique de prospective territoriale** ou de mise en œuvre d'agenda 21 locaux. Mieux identifier les passerelles entre les indicateurs et les aspects techniques de l'écologie industrielle et les indicateurs utilisés dans d'autres contextes de planification territoriale, peut être un moyen d'inciter les collectivités territoriales à adopter une démarche d'écologie industrielle, du fait de la mutualisation possible des données nécessaires.
- Comment mesurer la capacité des acteurs à partager de l'information nécessaire à une démarche d'écologie industrielle ? Quels besoins d'audit par rapport à ces données ?

Conclusions sur ARPEGE

A l'issue de ces deux années de travail dans le cadre d'ARPEGE entre janvier 2007 et janvier 2009, il nous est possible de tirer un certain nombre de conclusions, tant sur le travail réalisé que sur l'organisation en Atelier de Recherche Prospective.

De notre point de vue, ces ateliers ont eu les mérites suivants :

- permettre à des acteurs particulièrement motivés de jouer un rôle moteur dans la définition des orientations à donner à la recherche ; mieux comprendre les attentes des uns et des autres en termes de développement de l'écologie industrielle en France, que ce soit sur le plan scientifique ou opérationnel.
- confronter les visions d'acteurs issus d'horizons divers (recherche, conseil, associations, entreprises) sur un sujet encore émergent.
- accorder les points de vue quant au contenu scientifique et opérationnel de l'écologie industrielle, à travers une définition commune, un glossaire de l'écologie industrielle. et la rédaction de propositions sous forme d'axes de recherche.
- améliorer la visibilité du domaine grâce à l'organisation d'événements visant à communiquer sur les besoins de recherche. Outre les deux journées organisées conjointement par ARPEGE et ECOINNOV (l'autre ARP financé dans le cadre de PRECODD), il y a eu des retombées indirectes d'ARPEGE. Ainsi, un travail sur ces besoins de recherche a été mis en place en collaboration avec le CNRS (ex-département Environnement et Développement Durable). Par ailleurs, l'intérêt manifesté par l'Agence Nationale de la Recherche à travers cet atelier a pu constituer pour les praticiens un argument pour convaincre les porteurs de projets (collectivités, entreprises, etc.) de la pertinence du sujet ;
- consacrer le temps nécessaire à l'élaboration d'un programme de recherche en écologie industrielle, en mettant en évidence un grand nombre de questionnements scientifiques ainsi que les disciplines à mobiliser dans ce cadre. Cette réflexion a en quelque sorte déjà porté ces fruits : depuis le lancement d'ARPEGE, deux autres projets ANR (le projet COMETHE au sein du programme PRECODD et le projet CONFLUENT au sein du programme Ville Durable) ont vu le jour, associant notamment des membres du consortium d'ARPEGE. Ces projets consolident ainsi l'engagement de ces acteurs dans des travaux de recherche en lien avec l'écologie industrielle, et participent en outre d'une meilleure structuration de la communauté française en écologie industrielle.

Quant aux leçons à retirer du déroulement d'ARPEGE pour la formule des Ateliers de Réflexion Prospective, nous souhaitons souligner en particulier le point suivant : l'habitude de montages de projets de recherche nous a induits au départ à raisonner comme s'il s'agissait d'un projet de recherche à tous les effets. Il nous paraît absolument nécessaire que l'ANR précise davantage les attendus de ces ateliers de Réflexion Prospective. ARPEGE était en l'occurrence dimensionné sur la base d'un planning de travail aussi précis que possible pour les différents sous-ateliers, avec une échéance définie pour chacun d'eux. Pour des raisons internes à l'ANR, ce planning initialement validé a été largement modifié, et les temps d'échanges et de réflexion qu'offrait le cadre de ces groupes de travail se sont trouvés contraints par cette évolution. Dès lors, les travaux se sont rapidement centrés sur les seules recommandations en termes d'axes de recherche, qui, tout en constituant l'objectif principal de l'atelier, nécessitaient certainement en amont davantage de temps de partage d'une portée plus générale. Or si la réalité d'un projet entraîne nécessairement des modifications au fur et à mesure de sa réalisation, la qualité des travaux d'un consortium de recherche dans le cadre d'un tel atelier suggère une organisation spécifique entre les partenaires (répartition des tâches, articulation des travaux, calendrier prévisionnel de réalisation de ces tâches, etc.) qui constitue le fil directeur du travail partenarial. L'importance de cette approche méthodologique de la gestion de projet pourrait être davantage prise en considération dans l'écriture des appels à projets touchant au domaine de l'écologie industrielle, dont les membres du consortium ARPEGE se félicitent par ailleurs de la représentation croissante au sein des programmes de recherche de l'ANR.

En conclusion, l'exercice accompli dans le cadre de l'ARPEGE s'est avéré profitable et enrichissant pour la communauté d'acteurs participant à cette expérience. Par ailleurs, l'intérêt de Philippe Freyssinet pour le



champ de l'écologie industrielle nous amène à penser que nos travaux furent également profitables pour la réflexion propre au programme PRECODD de l'ANR. Le nouveau programme ECOTECH, qui se substitue au PRECODD, nous paraît également intégrer une partie de nos recommandations et de nos réflexions. En ce sens, il nous semble possible d'affirmer à l'utilité du travail accompli.

Annexes

**Annexe 1 : Compte-rendus des réunions
des sous-ateliers B, C et D**

Compte-rendu de la réunion du 3 mai 2007

Sous-Atelier B « Définition, Concepts et Enjeux »

EDF – 22-30 Avenue de Wagram Paris 8^{ème}

Etaient présents :

N. Buclet (UTT), F. Flipo (INT-Evry), L. Abitbol (stagiaire INSA-Lyon, vallée de la chimie), A. Bonard (GDF direction de la recherche), C. Adoue (Systèmes durables), S. Brullot (UTT, doctorante), A. Ansard (EDF), M. Durgeat (Enviropea), V. Lamblin (Futuribles), P. Schalchli (OREE), S. Barles (Université Paris VIII), D. Guyonnet (BRGM), D. Ganiage (direction DD, EDF), C. Blavot (EIC), J. Sueur (stagiaire chez EIC), B. Duret (Auxilia), C. Harpet (INSA Lyon), N. Loury (OREE), D. Bernard (LAFARGE).

Préambule

En début de réunion, N. Buclet a évoqué les retards concernant la convention entre les membres du consortium. Il s'en occupe et espère tout régler avant l'été.

Interractions avec Ecoinnov

Deux rendez-vous sont à noter avec l'autre ARP, Ecoinnov :

- une réunion de cet ARP qui aura lieu le 13 juin prochain à Paris et à laquelle les membres d'ARPEGE le désirant sont invités. N. Buclet s'y rendra afin de présenter le contenu de nos travaux.
- un séminaire qui se tiendra au Conseil Régional d'Aquitaine les 24 et 25 octobre à Bordeaux. Plusieurs ateliers : l'atelier 1 (consommer moins de ressources et d'énergie) donnera éventuellement l'occasion de présenter l'économie de fonctionnalité, tandis qu'en plénière, une intervention sera prévue sur l'écologie industrielle. N. Buclet se rendra également à ces journées. Tout membre d'ARPEGE y est le bienvenu.

Travail sur le glossaire et la proposition d'articulation des concepts sur 4 niveaux :

N. Buclet passe ensuite à une présentation (cf. fichier powerpoint ci-joint) des objectifs de la proposition de glossaire et d'articulation entre les concepts du glossaire, envoyée précédemment aux membres du consortium.

En particulier, N. Buclet insiste sur sa proposition d'organiser sur quatre niveaux les concepts à définir. Ceci devrait permettre notamment de sortir d'une situation où certains termes sont employés par les uns et les autres sur des bases différentes. Ainsi, de l'écologie industrielle, terme parfois mis en avant en tant que concept global porteur d'un changement de paradigme, parfois évoqué comme discipline scientifique, mais également en tant que pratique de terrain.

Les quatre niveaux sont les suivants :

Le niveau des concepts globaux

Le niveau des objectifs opérationnels

Le niveau des stratégies opérationnelles (par secteur ou territoire)

Le niveau des outils méthodologiques

La proposition de N. Buclet est de travailler sur ces niveaux, sur les concepts à y intégrer, plutôt que d'entrer dans le détail des définitions du glossaire lui-même, détail qui peut davantage être travaillé à distance.

B. Duret demande si ces quatre niveaux sont hiérarchisés ou pas. N. Buclet répond que, si l'on ne peut pas vraiment parler de hiérarchie, il existe néanmoins une articulation du plus général au plus particulier entre les différents niveaux. Le niveau du concept global porteur d'un changement de paradigme se traduit par la définition d'un certain nombre d'objectifs à atteindre qu'il faut ensuite traduire par des stratégies de mise en œuvre et pour lesquelles sont nécessaires tant des mesures de ce qui est mis en place que d'outils et méthodes applicatives.

B. Duret pose également la question de la destination de ce glossaire. Est-ce un outil de travail interne à Arpege, ou est-ce un document qui sera publié à l'extérieur. C. Adoue répond que celui-ci sera

forcement publié, en tant que produit de l'atelier, et préconise donc qu'il soit le plus large et le plus précis possible.

N. Buclet rappelle alors que les premières propositions qui doivent être faites à l'ANR avant l'automne seront également articulées selon ces 4 niveaux.

S. Barles intervient pour souligner qu'il ne faut pas perdre de vue, outre les enjeux normatifs, les enjeux de connaissances.

D. Ganiage intervient sur les appellations des niveaux qui ne lui semblent pas des plus heureuses, notamment « objectifs opérationnels ».

Niveau 1 : Concepts globaux porteurs de changement de paradigme

C. Adoue précise la nécessité de définir l'EI comme un domaine scientifique innovant dans le sens où il s'agit d'une approche systémique.

F. Flipo intervient pour expliquer que, quand on regarde dans les journaux scientifiques internationaux, l'Ecologie Industrielle est présentée comme une approche fonctionnelle et systémique, mais qu'il s'agit de quelque chose qu'il est possible d'englober en partie dans le courant de l'Ecological Economics.

C. Blavot se demande si l'on pourrait regarder en quoi ce domaine scientifique peut apparaître comme nouveau, notamment en se référant à Allenby et l'intégration des trois systèmes culturel, naturel et technologique dans une même réflexion.

S. Barles clarifie qu'il s'agit d'un champ émergent certes, mais pas si nouveau que cela.

C. Blavot considère qu'un travail est nécessaire pour resituer l'écologie industrielle dans la pensée scientifique.

D. Guyonnet intervient lui pour parler de la problématique centrale des activités humaines et de la capacité d'absorption et de portance de l'écosystème. Il ne voit pas encore comment l'Ecologie Industrielle en tient compte.

V. Lamblin rappelle à ce sujet que les niveaux de portance ne sont pas définis en fonction de la capacité d'absorption de la nature mais du bien-être de l'homme.

Suite à cette série d'échanges, D. Ganiage propose un tour de table afin que chacun indique les concepts importants qui devraient se situer au **niveau 1**. De ce tour de table, ressortent les termes suivants :

Systemique

Biens et Services, économie de ressources par rapport à la soutenabilité avec en vision l'objectif du DD

Energie – Matière (principe de conservation, principes de la thermodynamique)

Distinction entre le descriptif et le normatif

Organisation

Circularité (cycle, bouclage)

Ecologie de l'industrie à distinguer de l'écologie des sociétés industrielles / des activités humaines

Connaissance des flux

Gouvernance des flux

Gouvernance des acteurs

Intensité énergétique, intensité dans la consommation de la matière

Domaine scientifique

Science appliquée

Outils d'application

Interdisciplinarité

Territoire (A21, implantation), milieu physique

Interaction société et nature

Biodiversité (écosystèmes, écologie biologique)

Rapport coopératif

Interfaces / liaisons

Dynamique

Changement de paradigme

Systèmes industriels durables

EI, nouvelle vision de l'intégration des systèmes naturels dans le système humain

Passer de l'échelle individuelle à une échelle collective et globale

A partir de là, le groupe dispose d'un certain nombre de mots clef dont il apparaît que la plupart devraient être intégrés à une définition de l'écologie industrielle.

Une définition est ainsi proposée par C. Adoue et S. Barles :

« L'EI s'inscrit dans l'Écologie des sociétés industrielles, c'est-à-dire des activités humaines productrices et/ou consommatrices de biens et de services.

L'EI porte une attention particulière à l'analyse des échanges entre les sociétés et la nature et à la circulation des matières et de l'énergie qui les caractérisent, ou qui caractérisent les sociétés industrielles elles-mêmes. Ces flux sont analysés d'un point de vue quantitatif (métabolisme industriel) voire naturaliste, mais aussi d'un point de vue économique et social, dans une perspective systémique.

L'EI constitue ainsi un champ de recherche pluri et interdisciplinaire, mais aussi une démarche d'action dans la perspective d'un développement durable. En ce sens, elle appelle un changement de paradigme **et de représentation**.

L'EI peut porter sur une filière, une entreprise, un établissement industriel, une zone industrielle, un territoire, une région, une matière... etc. Elle se réfère à des méthodes à l'écologie scientifique, à la thermodynamique, à la sociologie des organisations, etc. »

Dans les grandes lignes, cette définition fait consensus. Il reste à l'affiner par des suggestions à envoyer à N. Buclet.

Concernant les enjeux, B. Duret introduit une distinction entre les enjeux en termes de production de connaissance et les enjeux par rapport à la survie de l'homme, enjeux qui nécessitent la prise en compte des services écologiques.

Il s'ensuit une discussion animée, tant autour du caractère jugé par certains d'excessif de l'expression « survie de l'homme » que du concept de « services écologiques ».

Les enjeux retenus sont donc :

- la production de connaissance
- la prise en compte à la fois les limites intrinsèques de la biosphère et les services fournis par les écosystèmes dans l'organisation des activités humaines telles que définies ci-dessus. (proposition de S. Barles suite à la discussion précédente)

Niveau 2 : Objectifs généraux

Après discussion, l'intitulé de ce niveau a été modifié en « Objectifs généraux ».

Les objectifs ont été eux même redéfinis en catégories plus générales (sans hiérarchie) :

0) compréhension du fonctionnement des systèmes

1) optimisation de l'utilisation des ressources et limitations des nuisances

2) contribution à la recomposition / restructuration des systèmes étudiés eux-mêmes sur les bases conceptuelles exprimées au niveau 1 (i. e. en prenant en compte les limites de la biosphère et en maintenant et mettant en valeur les services écologiques).

C. Harpet indique que ces objectifs peuvent être justifiés comme objectifs liés au fonctionnement des systèmes, à l'utilisation des ressources et à l'organisation du système.

Les concepts définis dans le glossaire qui entrent à ce niveau sont les suivants :

Réduction des polluants et des déchets

Réutilisation des ressources

Sobriété

Valorisation (réemploi, réutilisation, recyclage)

Dématérialisation (absolue, relative)

Remarque : la définition de la dématérialisation est à ajouter au glossaire.

Dématérialisation de l'économie (faible, forte)

Niveau 3 : Stratégies de mise en œuvre

(Ce titre a été préféré par les membres du groupe).

S. Barles propose de préciser les niveaux d'analyse et de mettre en évidence la diversité des échelles. Cela donne :

Analyse de systèmes particuliers, à différentes échelles :

un produit

un process

une filière

un établissement

une zone industrielle

un territoire (multifonctionnel)

L'un des enjeux est la recherche des échelles pertinentes d'analyse et des systèmes-cibles

Les concepts définis dans le glossaire qui entrent à ce niveau sont les suivants :

Écologie territoriale (S. Brullot précise que ce concept n'est pas une stratégie de mise en œuvre. Il s'agit d'une autre appellation de l'écologie industrielle qui évite de ne considérer que les activités industrielles et met en évidence de manière plus claire la notion de territoire. Ce terme devrait être défini dans le glossaire mais ne devrait pas nécessairement figurer dans un niveau).

Développement éco-industriel (Parcs éco-industriels)

Économie de fonctionnalité

Territorialisation de l'économie

Ces stratégies n'ont de sens que si elles reposent sur une compréhension et une intégration des systèmes d'acteurs.

Réseaux de coopération

Niveau 4 : Outils et méthodologies

Les indicateurs de développement durable (existant ou à définir) ont leur place à ce niveau. On pourrait également parler de système d'évaluation des performances pour éviter la confusion possible avec d'autres indicateurs de développement durable.

Sur les détails des outils méthodologiques en lien avec le métabolisme territorial / industriel, C. Adoue propose de se référer à un texte qui sera transmis aux membres.

Les outils seraient les suivants :

Bilan de matières

Analyse des flux de matières brutes

Analyse des flux de substance

ACV

AFME

Méthodes de recherche de synergies éco-industrielles

Systèmes d'évaluation des performances

Éco-technologies (dont propres et sobres)

Partenariat public-privé

Modélisation des systèmes humains (cf P. Matarasso)

La question qu'il faut se poser concernant les outils est leur rapport à l'échelle à laquelle ils sont censés s'appliquer.

Autres commentaires

S. Brullot revient sur la définition de l'EI et considère qu'il serait bien de « border » celle-ci avec des limites minimales qui permettent d'éviter que trop d'expériences et d'actions puissent revendiquer d'être « de l'écologie industrielle » quand bien même leurs résultats seraient plus que modestes et les objectifs peu ambitieux.

*Enfin, N. Buclet a rappelé que P. Freyssinet de l'ANR souhaiterait de la part d'ARPEGE des pistes pour la prochaine mouture de l'appel à proposition de PRECODD. **Une réunion a été fixée le 7 juin à 14h au CNAM (2 rue Conté à Paris, salle 31-1-71).***

N. Buclet demande à ce que les suggestions de pistes de recherche à faire remonter à l'ANR lui soient transmises une semaine au plus tard avant la réunion.

Fin de réunion.



COMPTE-RENDU DU SOUS ATELIER C – REUNION 1

MERCREDI 10 OCTOBRE 2007, SECHE ENVIRONNEMENT

Ordre du jour :

Matin : 9H45 -12H45

- **Introduction de la journée :**
 - Questions administratives (convention ANR) (5') : Nicolas Buclet
 - Rappel du calendrier ARPEGE et des objectifs de travail (10') : Nicolas Buclet
 - Objectifs du sous-atelier C et méthode, programme des 5 réunions de travail (20') : Dimitri Coulon

Discussion

- **Présentation de retours d'expérience à international :**
 - Panorama des retours d'expériences internationaux : Benoit Duret (25')
 - Projet d'écologie industrielle sur la Zone d'Activités de Kwinana, Australie : Sabrina Brullot (10')

Discussion

- **Présentation des premiers résultats des travaux préparatoires :**
 - Focus sur la situation européenne : Marine Durgeat (15')
 - Première analyse des questionnaires : Cyril Adoue (15')

Discussion

Après-midi : 14H30-17H

- Présentation du site www.arpege-anr.org : Frédéric Planchard (30')
- Actualités :
 - Séminaire en commun avec ECOINNOV à Bordeaux (24 et 25 octobre) (10')
 - Grenelle de l'environnement (15')
 - Projet COMETHE (lauréat du PRECODD 2007) (15')
- Synthèse de la journée et préparation des prochaines réunions (30')

Discussion

Liste des participants :

| Nom | Prénom | Structure | Fonction |
|------------------|------------|--------------------------------------|---|
| ADOUE | Cyril | <i>Systèmes Durables</i> | Directeur |
| COULON | Dimitri | <i>Orée</i> | Responsable des actions et du développement |
| SCHALCHLI | Paul | <i>Orée</i> | Chargé de mission |
| DURET | Benoit | <i>Auxilia</i> | Chef de projet écologie territoriale |
| DURGEAT | Marine | <i>Enviropea</i> | Chargée de mission éco-innovation |
| BRULLOT | Sabrina | <i>CREIDD-UTT</i> | Doctorante |
| BUGLET | Nicolas | <i>CREIDD-UTT</i> | Directeur |
| PLANCHARD | Frédéric | <i>ISIGE-ENSMP</i> | Chargé de mission formations au développement durable |
| MERLY | Corinne | <i>BRGM</i> | Ingénieur environnement |
| SUEUR | Jonathan | <i>INSA Lyon</i> | Ingénieur d'étude |
| ABITBOL | Leïa | <i>INSA Lyon</i> | Ingénieur d'étude |
| BLAVOT | Christophe | <i>Ecologie Industrielle Conseil</i> | Gérant |
| DE TAISNE | Pierre | <i>Séché Environnement</i> | Directeur QSSE |
| BERNARD | Dominique | <i>Lafarge</i> | Directeur de l'écologie industrielle |

Liste des participants excusés:

| Nom | Prénom | Structure | Fonction |
|-------------------|-----------|----------------------------------|---|
| FLIPO | Fabrice | <i>INT-Evry</i> | Enseignant-chercheur |
| JOURDAN | Dimitri | <i>YPREMA</i> | Directeur Général |
| TRUY | Daniel | <i>Ecopal</i> | Ancien Président |
| GUYONNET | Dominique | <i>BRGM</i> | Responsable de l'Unité Déchets & Stockage |
| BARLES | Sabine | <i>LTMU – Université Paris 8</i> | Enseignante-chercheuse |
| HARPET | Cyril | <i>INSA Lyon</i> | Professeur associé |
| LANNOU | Grégory | <i>CREIDD-UTT</i> | Coordinateur CEIA |
| COUFFIGNAL | Bénédicte | <i>RECORD</i> | Directrice |
| LOURY | Nadia | <i>Orée</i> | Déléguée Générale |
| PRIGENT | Maud | <i>Yprema</i> | Responsable foncier |

Compte-rendu des interventions et discussions

→ Objectifs :

L'exposé des retours d'expériences et l'analyse des premiers questionnaires devra permettre lors de la prochaine réunion (le 12 novembre 2007 chez EDF) d'identifier les enjeux caractérisant les démarches d'EI, les mécanismes liés, les freins et leviers à leur mise en œuvre, notamment sur les plans réglementaire et fiscal. Ces travaux déboucheront sur la production d'une typologie des facteurs d'influence, en vue de la formulation d'axes de recherche spécifiques auprès de l'ANR au terme de l'atelier C.

Par ailleurs, la définition de l'EI proposée lors du sous-atelier B donnera lieu à un document plus complet, attendu courant novembre. Le sous-atelier D démarrera au mois de novembre, en parallèle du sous-atelier C. Les questionnaires relatifs à ces deux sous-ateliers feront l'objet d'un envoi groupé.

Enfin, suite aux dernières recommandations de l'ANR au colloque des ARP à Bordeaux (les 23 et 24 octobre), les pistes de recherche pour la formulation des prochains appels à projets PRECODD devront finalement être restituées à l'ANR le 13 avril 2008. Il faudra cependant également élaborer dans les délais initiaux un document final plus complet adressé aux futurs porteurs de projet pour le PRECODD, ainsi qu'un document commun aux deux ARP. Les objectifs initiaux et le planning des réunions restent donc inchangés. Par contre, nous devons réserver lors de chaque réunion au moins deux heures (l'après-midi par exemple) pour produire un document relatif aux pistes de recherche à restituer en avril.

- **Les réunions suivantes pour le sous-atelier C sont arrêtées le 12 novembre chez EDF, le 10 janvier chez Sécché Environnement, le 14 mars et le 14 mai.**
- **La première réunion du sous-atelier D est prévue le 19 novembre (à confirmer). Les réunions suivantes sont arrêtées le 25 janvier, le 4 mars et le 2 avril (cette dernière date est à confirmer).**

NB : A noter que le terme d'« économie circulaire » a souvent été préféré à celui d'« écologie industrielle » dans le cadre du Grenelle de l'environnement.

→ B. Duret : Panorama international d'expériences d'écologie industrielle :

De manière générale, les expériences à l'international et notamment celles situées dans les pays du Sud intéressent ARPEGE dans la mesure où ces éléments permettent d'établir des comparaisons instructives avec le contexte français. Par ailleurs les enjeux que soulèvent l'écologie industrielle sont évidemment à considérer à l'échelle mondiale (raréfaction/disponibilité des ressources naturelles, superposition et cohérence des mécanismes de régulation, dispersion des origines et destinations des flux de matière et d'énergie traversant un espace donné...)

Kalundborg :

La réalisation de la symbiose est qualifiée de « plutôt spontanée ».

Leviers : Importance de la confiance, de la proximité relationnelle des acteurs impliqués. Importance du territoire et de la responsabilité individuelle par rapport à ce territoire, mais aussi de l'intérêt individuel (des entreprises) pour l'émergence de l'action collective dans une optique d'intérêt collectif.

> C. Blavot : Une question également essentielle est celle du temps de développement du projet. Comment intégrer cette notion de temps et comment accélérer les processus ? L'accélération,

progressive, est sans doute fonction du degré de dynamique locale enclenché, qui permet un emballement du processus jusqu'à exploitation totale (réalisation optimale des synergies potentielles). Aujourd'hui Kalundborg est peut-être davantage dans une phase de restructuration.

Actuellement l'ensemble des synergies potentielles semblent exploitées. Les possibilités d'évolution de la symbiose sont à chercher dans la création de nouvelles activités complémentaires de celles existantes. Il s'agit certainement de la phase la plus délicate.

Au final la symbiose de Kalundborg aurait connu 3 phases : mises en œuvre, optimisation, recomposition.

Royaume-Uni : National Industrial Symbiosis Programme (NISP):

La description de ce projet est l'occasion de s'interroger sur les échelles d'application possibles de l'écologie industrielle. A l'inverse du cas de Kalundborg, le NISP porte sur une échelle nationale. Il s'agit d'un programme d'amélioration de l'éco-efficacité des entreprises à travers la coopération. Le point de départ est le positionnement du gouvernement à travers l'articulation de nouvelles lois et d'incitations fiscales allant dans le sens de la redistribution des taxes sur les activités polluantes vers les projets environnementaux. Le NISP n'est en fin de compte qu'une forme de coordination nationale, une intermédiation locale permettant le cofinancement avec les régions.

> D. Bernard : En France aussi certaines taxes étaient réaffectées avant la création de la TGAP. Au Royaume-Uni les acteurs ont intérêt à s'entendre sur l'appellation du déchet pour qu'il passe dans la catégorie la moins onéreuse. Phénomène de tricherie qui rend la taxe assez peu performante.

L'usage des outils économiques mérite d'être discuté (notamment pour des raisons de distorsion de concurrence). Néanmoins, l'étude du métabolisme de Londres a été financée par ce biais.

Halifax (Canada) : Burnside Industrial Park

Le parc industriel d'Halifax a été créé il y a une quinzaine d'années suite à une pollution locale importante en 1993 : un problème de mauvaise conception d'une décharge. Les habitants mécontents ont exigé le rachat de leurs maisons à proximité de cette décharge, où partait 90% des déchets d'Halifax. La ville a décidé d'inverser les proportions. Un travail académique sur l'écosystème industriel du parc d'activité a été initié. Par ailleurs l'incitation fiscale, en parallèle de l'interdiction de mise en décharge des déchets valorisables, a permis de mieux trier, et cette solution s'est finalement avérée moins coûteuse.

> D. Coulon : Sur cet exemple, il faut souligner l'importance de la réaction des riverains, de la pression sur le décideur public, qui a dû modifier sa stratégie.

> C. Adoue : Le contexte d'Halifax est différent du contexte français du point de vue de la capacité d'autonomie des collectivités.

> F. Planchard : Il y a des expériences en France de ce type d'incitations sur le tri, avec bien sûr des phénomènes de dérives individuelles.

> C. Adoue : Dans le cas d'un tissu important de PME, il y a davantage besoin de leviers fiscaux pour inciter les entreprises à mieux intégrer les contraintes environnementales. Les outils fiscaux peuvent permettre d'impulser un marché, mais il est préférable que ces mesures restent temporaires.

> D. Bernard : La distorsion de concurrence qu'induisent de telles politiques (l'utilisation des outils économiques) risque de fausser sur le long terme le jeu économique.

Cas d'une synergie entre une entreprise productrice de plastique (BIP) et une entreprise de production de biodiesel (RIX Bio Diesel), présentes dans deux régions différentes :

Synergie de substitution à partir d'huile végétale usagée. C'est grâce à une défiscalisation par le gouvernement que le contrat a été possible, en attendant que le marché se constitue effectivement et devienne rentable.

> D. Bernard : Les marchés d'électricité verte faussent le jeu économique. De plus, au niveau européen la récupération d'énergie est très focalisée sur la production d'électricité plutôt que de chaleur ou de vapeur.

> C. Blavot : la PAC est un bon exemple de cette dérive, notamment pour les céréales.

> F. Planchard : En même temps cela peut rééquilibrer le marché en fonction des externalités générées, plus ou moins fortes.

> N. Buclet : Les démarches d'écologie industrielle sont-elles suffisantes par rapport aux enjeux du DD? C'est peut-être un champ d'exploration à ouvrir.

> B. Duret : L'EI ne constitue a priori qu'une réponse partielle aux enjeux du DD. Idem pour les agendas 21 aujourd'hui développés. L'EI apporte seulement des réponses par rapport à la gestion des ressources. Les économies de ressources sont mesurées dans certains cas. L'enjeu est de mesurer ce que ces économies représentent par rapport à la disponibilité des ressources naturelles dans les écosystèmes. Par ailleurs la raréfaction des ressources conjuguée à une consommation croissante dans les pays émergents provoquent la hausse du prix des matières premières. Ceci constitue un contexte favorable pour la réalisation de synergies de substitution. Enfin les études de métabolisme industriel sont également l'occasion de mesurer les pratiques de recyclage sur un territoire donné.

Il faut donc mettre en rapport les enjeux de disponibilité des ressources, du prix des ressources, d'accès à la ressource et de capacité de production pour valoriser les stratégies d'écologie industrielle.

En effet la question de la pénurie des ressources est très présente, par exemple celle du charbon (exemple d'une usine Lafarge aux Philippines qui rencontre aujourd'hui ce problème de rareté, au regard de l'inadéquation entre demande et capacité de production).

> F. Planchard : Il faut tenir compte, pour certains métaux, de mécanismes de type « pic de Hubbert », avec des phénomènes de substitution.

> C. Blavot : On se reportera à l'atelier D pour ces questions d'indicateurs.

> C. Adoue : Ma thèse apporte des éléments de réponse sur ces questions. On peut souligner par exemple le problème de l'effet de rebond que peut susciter la réalisation isolée d'une démarche d'écologie industrielle en l'absence de mécanismes surplombants de régulation du marché. Par ailleurs, du point de vue de l'entreprise, l'intérêt d'une stratégie d'EI est la gestion optimale des flux tandis que pour les collectivités l'objectif est plutôt de favoriser le bouclage des flux de production et de consommation sur un territoire.

> D. Bernard : Sur le ciment, Lafarge s'est fixé un objectif de 30% de substitution du charbon. Lafarge développe une approche interne sur la dématérialisation (moins de ciment dans le béton).

> F. Planchard : Ne doit-on pas raisonner en termes de fonction des produits ? L'économie de fonctionnalité offre bien sûr des perspectives de recherche. L'analyse fonctionnelle est susceptible de révéler des « synergies de fonctionnalité » une catégorie à creuser dans le cadre d'ARPEGE.

Cas de bouclage en flux et de substitution bois et sucre en Inde :

Via l'utilisation de bagasse pour produire du papier, et de mélasse distillée pour obtenir de l'éthanol. On est ici en présence d'une synergie de substitution dans un contexte de raréfaction de la ressource bois, avec une intervention de l'Etat soit financière soit en lien avec la protection des ressources forestières (problème de déforestation).

Enjeux : besoin d'organisation des acteurs locaux, relocalisation des activités, survie des activités : ici on résout le problème à moindre frais sans pour autant favoriser une responsabilisation des acteurs du territoire, ce qui empêche la remise en cause des activités à forte nuisance (injections financières ne provenant pas du territoire, de type Banque Mondiale).

Leviers : valeur ajoutée de l'EI dans le contexte des pays les moins avancés, micro-projets, caractère informel (à l'image de l'expérience mauritanienne évoquée par F. Planchard, qui pourrait faire l'objet d'un Rex).

Caroline du Nord (près de Raleigh) : *Industrial Ecosystem Development Project*

Expérience liée à une disponibilité de financement. Réponse à un appel à projets. Synergies possibles entre un producteur de résine et une station d'épuration municipale pour un échange de méthanol. Freins : présence de formaldéhyde. Travail de l'industriel pour en réduire la teneur. La synergie était toujours intéressante. Echec lié à une mauvaise gestion de l'épandage de la station d'épuration, problème de l'utilisation de sous-produit aux yeux de l'opinion et méfiance des travailleurs de la station par rapport à la dangerosité de la substance. Arrêt de l'expérience. Problèmes de communication, de sensibilisation.

Leviers : D'importantes économies réalisables pour les industriels. Gestion des parties prenantes, acceptabilité des projets : la nécessité de transparence, de concertation est un aspect primordial pour le succès de tout projet d'EI autour de l'emploi de déchets.

Région de Boston (New Bedford):

Projet : dériver les déchets organiques d'une décharge vers une entreprise fabriquant des produits fertilisants à base de déchets organiques.

Leviers : projet rendu possible par le président de la chambre de commerce, rôle des consultants en termes de sensibilisation et d'introduction au domaine de l'écologie industrielle auprès de l'institution. Bénéfices en termes de réduction des coûts de traitement pour de nombreuses entreprises, amélioration de la qualité de l'environnement au niveau local.

Territoire de l'Aube :

Synergie entre une coopérative betteravière et une entreprise du BTP. Facteur déclencheur : réunion des parties prenantes dès que les synergies potentielles ont été identifiées par le Club d'Ecologie Industrielle de l'Aube.

Leviers : Amélioration de la rentabilité des entreprises concernées. Le flux est utilisé tel quel. La mise en oeuvre des synergies (consécutive aux études réalisées) a été très rapide, car lorsque des transformations des flux sont nécessaires, cela requiert de la R&D, ce qui peut constituer un frein. Il est important d'obtenir très vite des résultats concrets, qui fassent sens et qui crédibilisent la démarche.

Freins : le cas d'AT France est typique de problèmes juridiques (statut juridique de la graisse animale pas tranché au niveau européen). Un déchet ne peut être échangé aussi facilement qu'un autre bien. La durée d'une procédure d'autorisation (24 mois et plus) peut mettre en péril l'entreprise engagée dans la démarche.

Exemples d'études de métabolisme :

Intérêts multiples : évaluation des besoins sur un territoire, suivi, action de sensibilisation, facteur déclenchant.

> C. Adoue : L'étude du métabolisme du Canton de Genève a permis de déceler une incohérence sur le territoire : l'exportation de déchets de bois dans un contexte de faible autonomie énergétique. Les déchets de bois partaient pour recyclage en Italie. Idem sur la ressource granulats qui devrait manquer à terme (environ 15 ans).

Freins : perturbation de l'activité des entreprises, cas où la ressource de substitution est plus coûteuse, moins rentable que la ressource naturelle (approvisionnement, transformation).

→ S.Brullot, Exemple de Kwinana (Australie) :

« Un autre Kalundborg ». Emergence assez spontanée. Réalisation à l'échelle d'une zone industrielle et des entreprises voisines. Particularité : 47 synergies (pour 52 entreprises présentes) avaient été créées antérieurement et spontanément. Une trentaine de ces synergies correspondent à des échanges de flux tandis qu'il s'agit pour une quinzaine d'entre elles de synergies de mutualisation. Les activités implantées sur la zone sont complémentaires à l'origine.

2002 : lancement d'un projet d'élargissement de la démarche. Stade actuel : nouvelles études de faisabilité et réalisation de synergies complémentaires de celles existantes. Taux de participation des entreprises sur le périmètre considéré : 70 %.

Acteurs du projet :

- Un porteur local (l'association d'entreprises *Kwinana Industrial Council*) qui a pour objectif de promouvoir une existence durable de la communauté à travers ses activités économiques.
- Un partenaire universitaire.
- Les institutions.

Zone dominée par l'industrie lourde. Zones résidentielles à proximité et environnement marin fragile.

L'association a été créée à l'initiative de la collectivité en 1991. Elle jouit d'une crédibilité certaine au niveau local du fait de son implication lors de projets collaboratifs antérieurs. En 2001, des études sont menées sur l'impact économique de la zone incluant une analyse des flux de matières et d'énergie. A l'issue de cette étude, les synergies existantes ont pu être mises en lumière ainsi que l'existence de nombreux autres projets en cours. Les synergies sur l'eau en particulier requièrent davantage d'études.

Leviers : lorsque ce sont les entreprises qui financent, leur implication est plus forte car celles-ci attendent un retour sur investissement (projets « Bottom-up »). Importance de la proximité géographique, organisationnelle mais aussi institutionnelle des acteurs à l'image de l'implication de la collectivité locale et de l'association d'entreprises, du laboratoire de recherche universitaire. Financement par l'association d'industriels et l'université, sans quoi les industriels n'auraient pas forcément les moyens d'investir dans la R&D. Contexte politique : collectivité très impliquée dans la gestion et la protection de l'environnement

> Dimitri Coulon : Question des coûts et des gains. Des données seraient intéressantes.

> S. Brullot : Des chiffres sont disponibles dans un rapport.

> D. Bernard : Pratiquement aucune des expériences présentes ne repose sur l'intervention de métiers d'interface spécialisés dans les services aux entreprises (par exemple Séché).

> S. Brullot : Ce rôle est essentiellement joué par les chercheurs.

> B. Duret : Est-ce un métier en temps que tel ? A part faire un métier de médiation, cela paraît difficile.

> D. Bernard : En Belgique, avec Macchiels, c'est une boîte du déchet qui en est à l'origine.

> P. Detaisne : Nous avons beaucoup de demandes dans ce sens.

> D. Bernard : Il faut un intermédiaire spécialisé habitué à la gestion des déchets des entreprises, avec la notion essentielle d'assurer la fiabilité des activités des clients.

> P. Detaisne : Il y a effectivement un problème de capacité à assurer notamment la fiabilité de l'apport en ressources.

> D. Bernard : L'intermédiaire peut agir à divers niveaux en créant, par divers moyens, de l'interface entre activités.

→ **M. Durgeat : L'EI dans les politiques européennes**

Certaines Directions Générales européennes de la Commission Environnement peuvent inclure l'EI dans leurs problématiques : la DG Environnement, la DG Régio, la DG Entreprises (Unité de coopération entre entreprises).

Pour la DG environnement, il y a le 6ème programme d'action pour l'environnement, mais l'intégration de l'EI dans ce programme ne va pas de soit.

DG Regio : opportunité dans la « politique de cohésion pour soutenir la croissance et l'emploi » ou dans l'agenda territorial de l'UE.

En revanche, les plans d'action plus récents « Pour une production et une consommation durables » et « Stratégies de développement industriel durable », qui font l'objet d'une consultation, laissent entrevoir cette possibilité. Les programmes FEDER (INTERREG, volet compétitivité et emploi, volet coopération) peuvent également être sollicités par les porteurs de projets d'EI. Le projet ECOSIND a par exemple été financé par INTERREG.

Néanmoins, les plans d'action parlent pour l'instant peu de concepts de type EI ou économie circulaire. Pas de volonté politique de favoriser ce type de projets. De plus il n'y a pas de personne référente sur le thème de l'EI au niveau des instances de l'UE. La proposition émerge d'inviter un représentant de la Commission à la réunion de restitution d'ARPEGE à l'issue des travaux.

> D. Bernard : Très faible niveau de réception, de sensibilité à ces questions au niveau de la Commission Européenne.

> D. Coulon : Rappelons quand-même que l'appel à projets PRECODD de l'ANR émane du programme européen ETAP.

→ **C. Adoue : Premier retour sur questionnaires envoyés :**

Réponse d'un peu plus de la moitié des membres d'ARPEGE. Peu d'acteurs extérieurs ont pour l'instant été sollicités. Ils le seront plus largement lors de la seconde vague d'envois qui interviendra au mois de novembre. Cyril Adoue est chargé de réaliser un listing des personnes à contacter.

Il conviendra de choisir les outils de traitement statistique et de représentation graphique les plus pertinents pour l'analyse des questionnaires. Des propositions ont déjà été formulées. Il s'agira essentiellement de mettre en évidence les corrélations entre les enjeux, entre les acteurs, entre les enjeux et les acteurs, ou encore les quadruplets « acteurs, enjeux, freins, leviers ».

Tous les questionnaires et les synthèses seront mis en ligne sur le site d'ARPEGE. Des traductions de ces synthèses pourront également être proposées.

Idée de mutualiser les envois des deux questionnaires pour le SAC et SAD. Tableau à élaborer avec le nom des enquêtés, les cibles, le type de questionnaire à envoyer, etc., afin notamment d'éviter les doublons.

Premiers résultats :

- Unité du territoire : Bassin d'activités, structure administrative
- Acteurs : Elus, industriels, milieux académiques, bureaux d'études
- Objectifs : Métabolisme (maîtrise et compréhension du territoire) ; attractivité, compétitivité, anticipation, concrétisation d'une politique de DD, émergence d'une collaboration entre acteurs.

Freins : Originalité du concept et compréhension, temporalité de ce type de projets, morcellement des compétences (en France au niveau institutionnel notamment).

Leviers : Leadership d'une classe d'acteurs, financements, notoriété du concept, environnement économique (les matières premières).

- Mise en oeuvre :

Freins : Culture de collaboration, difficulté d'accès aux données de flux, financements, morcellement des compétences, réglementation, connaissance outils et méthodes, évaluation économique des résultats.

Leviers : Formation - sensibilisation, valorisation du projet (médias et REX), leadership, implication de financeurs, collaborations entre les acteurs, incitations fiscales, déblocages réglementaires, diffusion de l'information technique, méthode d'évaluation économique.

→ **F. Planchard, présentation de la plate-forme ARPEGE :** www.arpege-anr.org

Pour accéder à la partie du site réservée au consortium : **identifiant = mot de passe = prénomnom**

L'architecture du site a été présentée aux participants, notamment les procédures pour l'intégration autonome de contributions au sein de rubriques à diffusion publique ou limitée aux membres d'ARPEGE, ou encore pour l'envoi de mail à tous les membres du consortium, par exemple pour signaler l'ajout d'une contribution, via l'adresse arpege@isige.ensmp.fr.

Des Totems ARPEGE seront présentés lors des journées PRECODD d'Aix en Provence du 7 au 9 novembre 2007, et pourquoi pas à d'autres occasions comme lors du salon Pollutec fin novembre ou au lancement de COMETHE.



**Atelier de Réflexion Prospective en EcoloGie
industrielle**

| | |
|-----------|----------------------|
| Date | 29 octobre 2007 |
| Version | 1 |
| Objet | Sous-atelier A |
| Référence | Séminaire commun ARP |
| Auteur(s) | D. Coulon |
| Diffusion | Site internet ARPEGE |

Compte-rendu séminaire commun ARP ECOINNOV et ARPEGE Bordeaux 23 et 24 octobre 2007

Organisé par l'APESA en partenariat avec l'ANR, la Région Aquitaine, l'ADEME, et la Commission Européenne, à l'AREPA (Bordeaux).

Restitution de l'atelier écologie industrielle et économie de fonctionnalité

Programme de l'ATELIER A2 « Consommer moins de ressources et d'énergie » ?

Introduction et animation, Dimitri COULON, Orée

ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE :

- L'Écologie Industrielle dans le monde, Benoit DURET, Auxilia.
- Créer des synergies au niveau d'un territoire : l'exemple du Club d'Écologie Industrielle de l'Aube, Gregory LANNOU.
- Un outil pour l'identification des flux, PRESTEO et OMMI, par Cyril ADOUE, Systèmes Durables.

ECONOMIE DE FONCTIONNALITE :

- L'Économie de Fonctionnalité : concepts, exemples, liens avec l'Eco-conception, Nicolas Buclet, CREIDD-Université de Technologie de Troyes.
- Exemple concret d'entreprise : les moteurs d'hélicoptère, Philippe Comet, Turboméca.

La restitution qui suit a eu lieu en plénière de clôture. Elle est enrichie de quelques commentaires.

Commentaire [DC1] : A chacun de compléter/amender s'il le souhaite...

Il ressort tout d'abord **deux paradoxes importants**.

D'une part, l'analogie qui est faite dans le postulat de l'écologie industrielle avec le fonctionnement des écosystèmes naturels est très simplificatrice, et notre connaissance des écosystèmes est encore limitée. De plus, la connexion du système industriel (au sens large) avec les écosystèmes naturels semble ne pas encore être assez intégrée dans les réflexions ou projets d'écologie industrielle.

Un travail de rapprochement entre les communautés scientifiques travaillant sur l'écologie industrielle et celles des écologues et/ou réfléchissant aux rôles des biotechnologies et de l'ingénierie écologique est à poursuivre. Les **services écologiques** (ie. services rendus par la nature) apportent (ou peuvent apporter) des solutions pertinentes à l'amont ou à l'aval des processus industriels (fournitures de matières premières écologiques et/ou renouvelables, processus de dépollution écologiques, etc.), mais aussi pour des activités d'interface ou dans la recherche de solutions innovantes dans les bouclages de flux.

A travers ce premier paradoxe, **le lien au territoire est réaffirmé**, l'écologie industrielle cherchant à minimiser systématiquement l'utilisation des ressources non renouvelables et les impacts sur l'environnement, en favorisant les opportunités et les savoirs-faire locaux, en limitant les flux de transports inutiles, etc.

D'autre part, les stratégies de développement de type écologie industrielle et les retours d'expériences existants en France et dans le monde posent la **question de la gouvernance** de ce type de modèle et celle de l'échelle territoriale la plus pertinente pour leur mise en œuvre ?

S'il n'y a pas de réponse a priori, tout dépend en effet du contexte, en France l'échelle départementale semble néanmoins intéressante (exemple de l'Aube). On constate surtout que les conditions suivantes favorisent grandement l'émergence et la mise en place d'un projet : volonté politique, **proximité culturelle des acteurs**, capacité à se rencontrer facilement, existence de données...

Par ailleurs, la **dimension systémique** de l'écologie industrielle et le cadre des politiques de développement durable du territoire imposent de travailler en réseaux multi-acteurs, de **coopérer**, de mutualiser (en premier lieu des informations, avant même des services ou des flux...) ce qui est une logique très différente du modèle de compétition entretenu par le système économique mondialisé. C'est là le second paradoxe qu'il convient d'explorer, pour favoriser l'émergence de solutions « gagnant-gagnant », **développer l'innovation**, s'équiper de nouveaux outils, y compris au plan de la gouvernance.

Des outils à développer...

Nous ont été présentés un outil de modélisation de métabolisme industriel et un outil de recherches de synergies sur un territoire (Systèmes Durables), en insistant notamment sur la **complexité de la collecte de données** (qui apparaît souvent comme triviale) : les informations doivent en effet être disponibles, fiables et exploitables. Il est important d'harmoniser les formats de collecte pour pouvoir les partager avec d'autres acteurs et alimenter des bases de données mutualisées (ou mutualisables). Des modules cartographiques sont aussi en développement afin de favoriser la visualisation des résultats et la prise de décision (Systèmes Durables, Auxilia).

De nombreuses questions méritent des efforts de Recherche et Développement, notamment par rapport aux aspects économiques et à l'évaluation globale de ce type de démarche (impacts environnementaux et sociaux). Ces dimensions seront abordées dans le cadre du **projet COMETHE** soutenu par l'ANR (lauréat du PRECODD 2007, 12 partenaires, 7 territoires d'expérimentation à partir de 2008, coordonné par Orée).

De l'économie de fonctionnalité à l'écologie industrielle...

Comment passer du produit au service ? Comment s'intéresser davantage à la **fonction** ou à la **valeur d'usage** des biens plutôt qu'aux biens eux-mêmes ? Comment imaginer la **dématérialisation** de l'économie, en répondant à la fois aux contraintes économiques, sociales et environnementales ? Telles furent les questions posées pendant la deuxième moitié d'atelier à travers l'examen de quelques démarches innovantes (Turboméca, Rank-Xerox, Michelin) du point de vue de l'économie de fonctionnalité.

Il ressort que ces stratégies répondent d'abord à des **demandes clients**, en terme notamment d'amélioration de la qualité des services proposés (existence d'un service de maintenance, d'un service de location, amélioration de la fiabilité et de la disponibilité des produits, etc.). Il apparaît ensuite que ces démarches peuvent (ou semblent) conduire à un **changement de représentation** par rapport au système économique et à la relation au travail : d'une logique productiviste (production de masse, hyper-concentration industrielle et hyper-spécialisation), nous passerions à une logique où il devient **plus rentable de produire moins** (notamment du point de vue des flux de matières et d'énergie), comme en témoigne le cas de Michelin : moins de pneus montés (ou produits) associés à une offre de service plus grande génèrent une marge financière plus importante, participant de surcroît à une fidélisation de la clientèle, au glissement d'emplois de production vers des emplois de maintenance ou de services, **emplois qualifiés souvent moins facilement délocalisables** et à pénibilité souvent moindre. Ainsi l'économie de fonctionnalité se rend au service du territoire et de l'écologie industrielle. L'éco-conception et le management environnemental peuvent par ailleurs

compléter/faciliter le développement de ce type de démarche, même si ces démarches sont encore la plupart du temps cloisonnées.

Celles qui fonctionnent sont généralement de type B to B et la nécessité de sensibiliser et d'intégrer les citoyens-consommateurs (et d'une manière plus large l'ensemble des parties prenantes concernées) est ici réaffirmée.

Enfin signalons l'importance de l'**innovation** dans ces processus. L'innovation se doit d'intégrer le plus possible les dimensions sociales et environnementales, et réciproquement les stratégies d'écologie industrielle et d'économie de fonctionnalité sont un creuset important pour innover, et progressivement réorienter nos activités vers des trajectoires pérennes.

Des champs de recherches s'ouvrent : quelles sont les leviers réglementaires nécessaires pour l'éclosion de ces démarches ? Quelles études mener pour évaluer la plus-value sociale et/ou économique pressentie ? Quelles formes de coopération entre métiers et entre acteurs du territoire sur ces questions ?



COMPTE RENDU DE LA REUNION 2 DU SOUS ATELIER C

LUNDI 12 NOVEMBRE 2007, SIEGE D'EDF, PARIS

Ordre du jour :

Matin : 9H45 -12H30

- **Introduction de la journée :**
 - Questions administratives et nouveau calendrier (15') : Nicolas Buclet
 - Validation du compte-rendu de la première réunion (5')
 - Rappel des objectifs de la réunion (5')

Discussion

- **Poursuite des travaux :**
 - Outils de traitement statistique et de représentation graphique (15') : Paul Schalchli
 - Analyse des questionnaires par rapport aux enjeux (15') : Dimitri Coulon
 - Analyse des enjeux par rapport aux retours d'expériences (15') : Benoit Duret

Discussion

Après-midi : 14H30-16H

- **Actualités :**
 - Validation de la synthèse de l'atelier en commun à Bordeaux (24 et 25 octobre) avec l'ARP Ecoinnov (15')
 - Journées PRECODD à Aix-en-Provence (7 au 9 novembre) (10')
- **Synthèse de la matinée et propositions d'axes de recherches pour PRECODD 2008 et 2009 (1'30)**

Discussion

Liste des participants :

| Nom | Prénom | Structure | Fonction |
|-----------|------------|----------------------------------|---|
| ADOUE | Cyril | <i>Systèmes Durables</i> | Directeur |
| COULON | Dimitri | <i>Orée</i> | Responsable des actions et du développement |
| SCHALCHLI | Paul | <i>Orée</i> | Chargé de mission |
| DURET | Benoît | <i>Auxilia</i> | Chef de projet écologie territoriale |
| BRULLOT | Sabrina | <i>CREIDD-UTT</i> | Doctorante |
| BUCLET | Nicolas | <i>CREIDD-UTT</i> | Directeur |
| PLANCHARD | Frédéric | ISIGE-ENSMP | Chargé de mission formations au développement durable |
| BLAVOT | Christophe | Ecologie Industrielle Conseil | Gérant |
| BONNARD | Amélie | <i>Gaz de France</i> | Direction de la recherche |
| GANIAGE | Dominique | <i>EDF</i> | Directrice développement durable |

Liste des participants excusés:

| Nom | Prénom | Structure | Fonction |
|----------|-----------|------------------|---|
| FLIPO | Fabrice | <i>INT-Evry</i> | Enseignant-chercheur |
| GUYONNET | Dominique | <i>BRGM</i> | Responsable de l'Unité Déchets & Stockage |
| ABITBOL | Leïa | <i>INSA Lyon</i> | Ingénieur d'étude |
| BERNARD | Dominique | <i>Lafarge</i> | Directeur de l'écologie industrielle |
| MERLY | Corinne | <i>BRGM</i> | Ingénieur environnement |
| RICART | Peggy | <i>ECOPAL</i> | Coordinatrice |
| ANSARD | Arnaud | <i>EDF</i> | Direction recherche et développement |

Synthèse des interventions et discussions

I- Généralités

- A la demande de l'ANR, les objectifs et le calendrier d'ARPEGE ont été modifiés, puisque les propositions d'axes de R&D pour les appels à projet des années 2009 à 2013 devront être remises au mois d'avril 2008, en lien avec les travaux de l'atelier ECOINNOV, tandis qu'un autre document devra également être élaboré d'ici juin 2008 en vue d'orienter les porteurs de projets candidats au PRECODD.
- En vue de la production d'axes de recherche communs aux ateliers ARPEGE et ECOINNOV, des réunions transversales devront être organisées. Il s'agira de faire des ponts notamment sur la question des technologies liées aux activités d'interface pour la transformation des flux industriels, ou encore sur celle du bio-mimétisme, à articuler avec la notion d'éco-mimétisme qui évoque l'approche systémique propre à l'écologie industrielle. Mais il faudra également circonscrire les travaux de chaque ateliers afin d'éviter les redites.
- Des renvois (liens hypertextes ?) au retours d'expériences seront intégrés au compte-rendu de la réunion SAC1, en ayant légèrement réorganisé ce compte-rendu au préalable (systématiser les rubriques « freins et leviers » pour chaque expérience).

Ateliers en cours :

✓ Sous-Atelier C: identification des enjeux / freins et leviers / mécanismes liés

- Panorama de retours d'expériences à l'international
- Focus sur la situation européenne
- Enquête par questionnaire auprès des acteurs de l'écologie industrielle (EI)
- Typologie des facteurs d'influence
- *Formulation d'axes de recherche*

✓ Sous-Atelier D: Systèmes d'évaluation et indicateurs

- Enjeux de l'évaluation de l'EI (aspects environnementaux, économiques, sociaux)
- Caractéristiques d'un système d'évaluation adapté pour l'EI
- Articulation avec les systèmes d'évaluation dédiés à l'éco-efficacité et au DD
- *Formulation d'axes de recherche*

II- Débat sur les réflexions à amener à l'ANR suite au séminaire de Bordeaux (commun aux ateliers ARPEGE et ECOINNOV):

Un compte-rendu du séminaire est désormais disponible sur notre site www.arpege-anr.org

- Besoin de clarifier les domaines et périmètres d'application de l'EI. Exemple : Intérêt de travailler sur les interactions systèmes industriels / éco-systèmes de façon globale ? Si l'EI n'a peut-être pas vocation à tout traiter, elle ne se limite pas aux écoparcs mais relève bien d'une approche sociétale (modes de production ET de consommation) et territoriale.
- Les réflexions à amener à l'ANR ne doivent pas se limiter aux aspects opérationnels, il faut au contraire profiter de cette opportunité de s'exprimer sur les besoins de recherche pour balayer l'ensemble des champs, en s'appuyant sur la multidisciplinarité existante au sein de l'atelier.
- Envisager un résultat de type « livre blanc » sur la recherche en écologie industrielle selon ARPEGE.
- Contributions envisagées pour le document de synthèse à remettre à l'ANR pour mars-avril 2008 :
 - Liens EI / écologie / biodiversité : Orée, ...
 - Lien avec la bio-géo-chimie (contact : PIREN-Seine) : Sabine Barles
- Futur document de synthèse du SAC sur le site ARPEGE : faire un renvoi vers les différents cas d'étude (« fiches Retour d'expérience »).
- Glossaire : objectiver et simplifier les définitions, mieux fixer le cahier des charges du glossaire :

- Avec des définitions référencées autant que possible et avec critères scientifiques plutôt que d'institutions de type Commission Européenne. Citer le cas échéant plusieurs définitions.
- Mettre éventuellement des commentaires. Les critiques aux définitions existantes peuvent susciter l'ouverture de pistes de recherche. Il ne doit pas s'agir d'un dictionnaire critique de l'écologie industrielle.
- Eco-parcs/parcs éco-industriels : sont-ils des parcs d'écologie industrielle ? Définition de l'ACV à revoir, s'inspirer de la définition de la norme ISO par exemple.
- **Appel à contribution pour revoir les définitions en fonction des compétences de chacun, notamment pour les thèmes qui posent problème comme l'ACV.** Les contributeurs potentiels peuvent se signaler auprès de Nicolas Buclet, UTT. Nous sommes tous concernés!

III- Analyse des questionnaires :

Suite au rappel des réponses aux questionnaires présentées lors du SAC1

Représentation graphique des résultats : grâce aux outils Freemind et Gaïa présentés lors de cette réunion.

Discussions

Les enjeux territoriaux

- Question du périmètre d'intervention : pas de périmètre plus pertinent qu'un autre, le périmètre n'est pas forcément géographique, il peut être sectoriel.
- Comment répondre via l'EI à une politique de DD en touchant les décideurs ? Le DD est porteur politiquement.
- Comment les démarches d'EI peuvent-elles s'inscrire dans une politique territoriale et inversement comment peuvent-elles influencer directement sur l'élaboration des outils de type SCOT, PLU
- Comment fédérer les acteurs du territoire sur le sujet et donner une impulsion forte sur un projet ? L'EI peut être un vecteur de réorganisation des stratégies de développement territorial au vu de l'incohérence parfois existante entre politiques environnementales / de DD et politiques de développement économique et industriel. Au final l'EI apparaît comme une solution de gestion intégrée.
- Enjeu en termes d'innovation sur le territoire, en particulier pour les territoires en difficulté économique.
- Maîtrise des risques de pollution.
- Comment l'EI peut donner une identité au territoire ?
- Question du financement de l'ingénierie de projet pour amorcer les projets
- EI et stratégie de développement pour les pays du sud. Par exemple question du lien avec les mécanismes de développement propres (MDP), de la pertinence de la localisation des activités économiques dans un pays du sud plutôt que du nord.

Enjeux concernant les acteurs économiques

- Enjeux réglementaires et fiscaux
- Enjeux de la collaboration avec les collectivités territoriales. Comment l'EI peut permettre d'apprendre à coopérer autrement sur un territoire (au-delà de la coopération matérielle ou économique stricto-sensu). Quels sont les différents domaines de coopération envisageables?
- Problème d'optimisation des coûts d'approvisionnement de traitement.
- Enjeu de valorisation de l'image des entreprises : enjeu de recherche dans le champs du cognitif, de la socioéconomie.
- Se doter d'une vision stratégique, anticiper avec d'autres repères
- Pérenniser les emplois
- Etre une entreprise compétitive
- Freins et leviers à l'engagement d'une entreprise dans une démarche d'écologie industrielle

Autres enjeux et autres acteurs

- Créer et prendre de nouveaux marchés (bureaux d'étude)
- De nouveaux champs de R&D
- Travaux sur outils et méthodologie
- Stratégie de création d'emploi (syndicats...)
- Pour les citoyens il y a la question du choix de société dans laquelle on vit. L'EI peut peut-être apporter des pistes différentes.
- Animer un réseau d'acteurs sur le sujet, former les acteurs à la problématique.

IV- Analyse des enjeux par rapport aux retours d'expériences

- Question du développement ou du « re-développement » d'un territoire pour restructurer l'économie locale, soit sur un territoire élargi, soit autour d'un site industriel à l'état de friche. Enjeu social fort.
- Enjeux d'accompagnement d'entreprises et de réponse à des questions environnementales fortes.
- Sur Burnside Industrial Park, contexte d'une zone industrielle avec une dynamique territoriale qui a mis la recherche sur l'éco-système industriel au cœur d'une problématique plus large.
- NISP : vise principalement l'amélioration de la gestion des déchets et l'amélioration de la compétitivité des entreprises.
- Mettre en lien les enjeux qui initient les projets avec les enjeux plus larges (par exemple nationaux) au niveau de la perception des objectifs politiques.
- Enjeux pour Seine Aval avec l'IAURIF.
- Problèmes de la concentration de substances nocives sur des territoires avec trop d'activités concentrées sur un même lieu et des bouclages de flux intenses.
- Question de la densité des activités, des habitations, de l'acceptabilité des projets d'EI... L'EI propose-t-elle des réponses en termes de mixité sociale et fonctionnelle, d'urbanisme, d'aménagement ?
- Comment un projet d'EI peut amener à modifier les données d'un projet territorial de développement et inversement comment différentes politiques prises au nom du DD peuvent être amenées à influencer les possibilités de mettre en œuvre des projets d'EI ?
- Lien avec les politiques d'Agenda 21 ou autres modes de planification de l'activité territoriale.

1^{ère} proposition de tableau de synthèse sur les enjeux :

| | Territoire | Acteurs économiques |
|--------------|------------|---------------------|
| Thématique A | | |
| Thématique B | | |

2^{ème} Proposition de tableaux de synthèse

- Sur les enjeux / besoins pour le territoire = pour ses acteurs

| | Thématique A | Thématique B |
|----------------|--------------|--------------|
| Acteurs cat. 1 | | |
| Acteurs cat. 2 | | |

- Sur les enjeux relatifs à la mise en oeuvre effective des projets

| | Phase A | Phase B |
|----------------|---------|---------|
| Acteurs cat. 1 | | |

- Question de l'aspect constructif ou au contraire spontané de synergies aboutissant à des résultats. Cela pose la question des savoirs mobilisés et mobilisables et donc des processus cognitifs sous-jacents.
- Importance de la recherche des mécanismes de déclenchement de démarches spontanées afin d'en comprendre la reproductibilité.
- L'EI peut-elle aider à éclairer la problématique de ce qui est spontané ou construit ?
- Question de recherche de la meilleure connaissance des enjeux d'EI.
- Prévoir une réunion brainstorming sur l'EI et d'autres disciplines scientifiques, par exemple avec les personnes du PIREN-Seine (Gilles Billen, Jean-Marie Mouchel...) afin d'identifier les manques dans les connaissances scientifiques.
- Proposition de synthèse de Sabrina Brulot sur ces aspects (Etat de l'art dans le monde : travail à Yale de 2004).

V- Décision d'organiser les pistes de recherche autour de quelques grands champs de recherche

...que ce soit sur le plan des applications ou au niveau de la production de connaissances. Cette disposition concerne l'ensemble des travaux d'ARPEGE.

L'intérêt de définir ces grands domaines de recherche sur une entrée thématique est de privilégier une approche pluridisciplinaire et de solliciter des sources diverses (scientifiques, factuelles...) puisque la plupart des disciplines ou compétences auront droit de citer dans les différents domaines de recherche retenus.

Cette approche permet finalement de s'affranchir des catégories traditionnelles (aspects économiques / sociaux / environnementaux...) pour cibler directement les enjeux.

Thématiques de recherche et/ou d'application en EI évoquées par les participants :

Recherche de synergies et symbioses industrielles

Bouclage des flux

Analyse des substances

Métabolisme

Indicateurs

Pédagogie

Economie de fonctionnalité

Processus de consommation / production

Politiques d'aménagement

Eco-mimétisme

Cohérence politiques territoriales de DD et écologie industrielle

Approche urbaine

Approche industrielle (espace confiné ou territoires)

Approche territoriale (industrie / agriculture)

Mise en œuvre des synergies

Restructuration de l'économie

Dématérialisation de l'économie

Dynamique des flux

... à répartir dans les domaines présentés ci-dessous

Regroupement des thématiques en grands domaines de recherche pour l'EI:

1. Economie des ressources et synergies (matières)

2. Analyse des cycles biogéochimiques (substances)

3. Couplage/découplage économie –écologie

4. Indicateurs, complexité, approche éco-systémique, systémique

On peut ensuite identifier les acteurs, enjeux, freins et leviers, mécanismes liés, et in fine des axes de recherche pour chaque thématique retenue au sein des 4 grands champs de recherche.

Prochaines réunions :

SAC 3 : 10/1/08

SAC 4 : 14/3/08

SAC 5 : 15/5/08

SAD 1 : 19/11/07

SAD 2 : 25/1/08

SAD 3 : 4/3/08

SAD 4 : 4/4/08

SAD 5 : 4/6/08

De nombreux documents sont désormais disponibles sur notre site :

www.arpege-anr.org

Se connecter : ID : prenomnom MDP : prenomnom possibilité de changer de mot de passe



SOUS-ATELIER C COMPTE RENDU DE LA REUNION 3

JEUDI 10 JANVIER 2008, SECHE ENVIRONNEMENT

Déroulement de la journée :

Matin : 9H45 -12H30

- **Introduction de la journée :**
 - Questions administratives et calendrier : Nicolas Buclet (5')
 - Validation du compte-rendu de la deuxième réunion (10')
 - Rappel des objectifs de la réunion (5')

- **Poursuite des travaux :**
 - Point d'avancement du glossaire (5')
 - Aspects fiscaux et réglementaires (20') : Cyril Adoue
 - Production d'axes de recherches pour PRECODD 2008 et 2009

Après-midi : 14H-16H30

- Production d'axes de recherches pour PRECODD 2008 et 2009

Liste des participants :

| Nom | Prénom | Structure | Fonction |
|-----------|-----------|--|---|
| ADOUE | Cyril | <i>Systèmes Durables</i> | Directeur |
| BONNARD | Amélie | <i>Gaz de France</i> | Direction de la recherche |
| BUCLET | Nicolas | <i>CREIDD-UTT</i> | Directeur |
| COULON | Dimitri | <i>Orée</i> | Responsable des actions et du développement |
| DURET | Benoit | <i>Auxilia</i> | Chef de projet écologie territoriale |
| GOSSART | Cédric | Institut National des Télécommunications | Maître de conférences |
| HOUDET | Joël | <i>Orée</i> | Chargé de mission biodiversité |
| LAMBLIN | Véronique | <i>Futuribles</i> | Directrice d'études |
| PLANCHARD | Frédéric | ISIGE-ENSMP | Chargé de mission formations au développement durable |
| SCHALCHLI | Paul | <i>Orée</i> | Chargé de mission |
| MAT | Nicolas | Auxilia | Chargé de mission |

Liste des participants excusés:

| Nom | Prénom | Structure | Fonction |
|---------|-----------|-------------------|---------------------------------|
| BRULLOT | Sabrina | <i>CREIDD-UTT</i> | Doctorante |
| BERNARD | Dominique | <i>Lafarge</i> | Directeur Ecologie industrielle |

Synthèse : Grille Thématiques / Axes de recherche

Rappel : l'approche adoptée par l'atelier a consisté à définir des domaines et thématiques de recherche transversaux, c'est-à-dire à la croisée de différents niveaux de recherche (opérationnelle/fondamentale/scientifique...) et de différentes disciplines (sociologie, technologie, droit, politique, écologie, etc.). Le choix de ces domaines et des axes de recherche qui en découlent (motifs et finalités) devront toutefois être justifiés.

L'objectif de la réunion était de produire directement des axes de recherche pour l'EI en s'appuyant une grille vierge qui reprend les grands domaines de recherche et les sous-thématiques identifiés lors des réunions précédentes.

Des problématiques de recherche ont émergé lors des discussions, qu'il faudra étayer et présenter sous la forme d'axes de recherche.

Voir pages suivantes

| DOMAINES DE RECHERCHE | CHAMPS SPECIFIQUES | SOUS-THEMATIQUES | AXES DE RECHERCHE | |
|---|------------------------|------------------|---|---|
| A. Analyse des cycles biogéochimiques (substances) | | | <ul style="list-style-type: none"> • Quel est l'ensemble de l'énergie utilisée pour produire une unité de biens ou de service pour une échelle organisationnelle pertinente ? • Créer un système comptable pour comparer les systèmes de production ou choix de développement • Quel type de flux de substances analyser en plus/ en dehors des polluants ? • Comment évalue-t-on l'impact des substances ? Leur nocivité (homme et milieux)? • Question de seuil de résilience dans les écosystèmes (relier à la question du management des flux sur le territoire) | |
| | Analyse des substances | | | |
| | | | | |
| | | | | <ul style="list-style-type: none"> • Comment la connaissance de la typologie des activités d'un territoire peut permettre d'évaluer l'impact environnemental + consommation de ressources de ce système (cf indicateurs pertinents) ? • Comment la connaissance du métabolisme d'un territoire permet d'identifier la dépendance d'un territoire (biocarburants, eau, déchets...) ? • Comment peut-on enrichir les méthodes de métabolisme pour y intégrer d'autres types de flux (connaissances, information, compétences disponibles pour développer ou faire évoluer des filières : intelligence territoriale...) ? Ex : • Quels sont les flux non intégrés aux échanges économiques ? Quels mécanismes pour les connaître et les intégrer (service écologiques) ? |
| | Métabolisme | | | |
| | | | | |
| | | | | |

| | | | |
|---|------------------------|--|---|
| | Dynamique des flux | | <ul style="list-style-type: none"> • Comment la connaissance « historique » des flux BGC renseigne sur l'activité/ la soutenabilité du système ? • Quelles sont les interactions des cycles de substances avec les organismes vivants et les activités humaines et réciproquement ? • Quelles échelles de temps et d'espace pour l'étude des cycles BGC par rapport aux modifications d'une substance ? (cf résilience, toxicité...) |
| B. Economie des ressources et synergies (matières) | Recherche de synergies | | <ul style="list-style-type: none"> • Quelle substitution pour quel territoire ? • Quel accompagnement méthodologique pour déterminer les substitutions ? Approche fonctionnelle. • Comment faciliter la prise de décision des entreprises dans ces stratégies ? |

| | | | |
|--|---|--|---|
| | Eco-mimétisme / bio-mimétisme | | <ul style="list-style-type: none"> • Quelles sont les limites pour l'écologie industrielle de l'analogie avec les écosystèmes naturels ? Doit-on toujours s'inspirer du fonctionnement des ESN ? • Quel est le régime de perturbation des écosystèmes industriels pour les maintenir ou les développer ? Comment veiller à la stabilité ou être en capacité de faire évoluer le système ? • Question de la flexibilité, des redondances et d'une manière générale des mécanismes d'inter-dépendances dans les réseaux trophiques (ex : fournisseurs d'énergies à Kalundborg). Rôle des aspects fiscaux dans la dynamique des systèmes ? • Comment l'EI peut interagir avec autre disciplines (ex : nanotech, biotech,) ? |
| | | | |
| | Mise en œuvre des synergies, bouclage des flux, symbioses industrielles | | <ul style="list-style-type: none"> • Base de compétences sur réseaux trophiques, grille de synergies potentielles ? Quelles sont les substitutions possibles/existantes ? • Quels facteurs influencent la mise en œuvre de synergies ? (Cf tx freins/leviers/REX...) • Effet rebond |
| | | | |

| | | | |
|---|--|--|--|
| C. Couplage / découplage économie – écologie | Modes de production et de consommation, de développement | | <ul style="list-style-type: none"> • Quelle complémentarité entre EF et le bouclage des flux via des synergies entre acteurs ? • Comment intégrer EC à EF et EI ? • Miniaturisation des produits est-elle meilleure écologiquement ? Rôle de l'ACV... Quels indicateurs ? Rôle des nanotechnologies ? • Dématérialisation des biens du marché (support final offert au client) est-elle vertueuse pour env, DD ? • Quels sont les interactions entre le bouclage de flux et les autres approches de dématérialisation de l'économie ? |
| | Développement territorial (acteurs publics) | | <ul style="list-style-type: none"> • Comment rétablir le lien entre les intrants nécessaires et le territoire (et ses besoins) ? • Quelles connaissances des impacts des substitutions sur environnement, sur les filières industrielles, l'économie ? • Pertinence territoriale est aussi fonction de la nature des flux considérés.... • Connaissance des flux peut-être un vecteur de gouvernance/ stratégie de développement des territoires... • Intégration de la connaissance des flux dans les SCOT/A21.... |

| | | | | |
|--|---|--|---|--|
| | Développement économique (acteurs économiques) | | <p>Question de l'adaptation des procédés par rapport à l'évolution de l'éco syst indus ?</p> <p>Quel apport de la logistique industrielle dans le bouclage des flux matière et énergie ?</p> <p>Quelles sont les meilleures stratégies de coopération (organisationnelles) entre acteurs pour mettre en œuvre bouclage et EI en général ?</p> | |
| | | | | |
| | | | | |
| | Aspects socio-culturels | | | <p>Quel langage commun pour échange/bouclage de flux, par rapport aux composants des produits, molécules commercialisées ? Comment harmoniser l'hétérogénéité de la syntaxe ?</p> <p>« Le flux de matière, un générateur de lien »</p> |
| | | | | |
| | | | | |

| | | | |
|--|-----------------------------|--|---|
| | Gouvernance | | <p>Quels sont les acteurs compétents / les plus légitimes sur le territoire pour favoriser la collecte et l'accès aux informations ?</p> <p>Comment améliorer la connaissance des flux ? La collecte et l'accès aux données de flux ?</p> <p>Quels rôles peuvent jouer les organismes de statistiques et de l'Etat (Drire), et institutions en général pour adapter le niveau de connaissance des flux en fonction de la gouvernance territoriale ?</p> <p>Quel dispositif pour favoriser la connaissance des flux ?</p> <p>Quel rôle des collectivités territoriales et locales ou de l'état dans la négociation ou la régulation du marché ? Comment accompagner, structurer les coopérations entre acteurs économiques sur ces questions ?</p> |
| | | | <p>Question de l'équilibre entre les différentes sphères : marchandes, non marchande...</p> <p>Et des périmètres de gouvernance pertinents ? des périmètres physiques (bassin versant, hydrographique, etc.), démographiques (bassin d'emplois) ?</p> <p>Beaucoup de questions institutionnelles derrière...</p> <p>Lien avec les dimensions politiques ?</p> <p>Quel acteur porteur du projet d'EI le plus compétent /légitime ? A décliner en fonction des projets et des territoires...</p> |
| | | | |
| | Réglementation et fiscalité | | <p>Impact de REACH sur substitution ?</p> <p>Renforcer les connaissances pour créer une législation adaptée. Recherche en droit, sur la fiscalité, articulation entre échelons territoriaux (local au global). Vers une gouvernance, européenne, mondiale ?</p> |
| | | | <p>Lien avec les principes de prévention, de précaution, etc ?</p> <p>Quel droit pour mise en œuvre opérationnelle du bouclage, des synergies ? Quel statut juridique pour les échanges et les structures de gestion éventuelles ? Questions foncières, de propriété des moyens mutualisés ?</p> <p>Etudes sur le sujet ???</p> |
| | | | <p>Cadre de l'EF (ou A21 et politiques de long terme) : contradiction entre droit commercial et liberté de choix des PP (ex : sur contrat énergétique, le choix de la nature de la ressource, etc.). Question de</p> |

| | | | |
|---|---|--|---|
| | | | contractualisation dans ces nouveaux modèles d'affaires... Rapport à la propriété dans le cas d'une généralisation de l'EF, dépendances par rapport à certains lobby ou prestataires... |
| D. Indicateurs adossés à une approche complexe, transversale et systémique (SAD) | Enjeux de l'évaluation de l'EI (aspects environnementaux, économiques, sociaux, de gouvernance) | | <ul style="list-style-type: none"> Quels outils peuvent être développés pour mieux connaître les risques (environnementaux, sanitaires, techniques, financiers et juridiques, etc.) liés au bouclage des flux ? Question de l'accumulation/concentration des substances notamment ... (Ex : Vache folle) Question de l'exposition de longue durée à de faibles doses... |
| | | | |
| | Caractéristiques d'un système d'évaluation adapté pour l'EI | | Complémentarité entre EF et le bouclage des flux via des synergies entre acteurs : quels indicateurs à cette fin, notamment concernant l'éco-efficacité ? Miniaturisation des produits est-elle meilleure écologiquement ? Rôle de l'ACV... Quels indicateurs ? Rôle des nanotechnologies ? EI : ne pas se focaliser uniquement sur les produits, réintégrer l'ensemble des flux non comptabilisés dans le pdt final... |

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | |
| | Articulation avec les systèmes d'évaluation dédiés à l'éco-efficacité et au DD | | |
| | | | |
| | | | |



Atelier de Réflexion Prospective en EcoloGie industrielle

| | |
|-------------------------|------------------------|
| <i>Date</i> | 24 janvier 2008 |
| <i>Version</i> | 2 |
| <i>Objet</i> | CR SAD 2 |
| <i>Référence</i> | |
| <i>Auteur(s)</i> | BDuret |
| <i>Diffusion</i> | Consortium ARPEGE |

Participants

Nicolas Buclet

Dimitri Coulon

Nicolas Mat

Leïa Abitbol, chargé de mission Projet Intelligence Territoriale, Vallée de la Chimie

Christophe Blavot, Ecologie industrielle Conseil

Amélie Bonard, Gaz de France, direction de la recherche

Benoît Duret, Auxilia, Chef de projet

Christophe Leroy, SCOP Médiation Environnement (Empreinte écologique)

Pascal Mallard, CEMAGREF, travaille au sein d'une équipe sur les déchets. Thématiques : Evaluation et aide à la décision, ACV,...Participation sur les indicateurs de performance des services eau et déchets

Corinne Merly, BRGM, par vidéo-conférence

Frédéric Planchard, Ecole nationale supérieure des Mines de Paris

Paul Schalchli, chargé de mission programme COMETHE, Association Orée

Jonathan Sueur, chargé de mission Projet Intelligence Territoriale, Vallée de la Chimie

Cédric Gossard

Bilan de l'avancement du projet

Le document final de présentation des axes de recherche à l'ANR sera remis au début de la semaine 12 en prévision de la restitution les 20 et 21 mars à Pau.

Les commentaires sur le glossaire seront arrêtés le 15 février.

Le site internet d'Arpège pourra être le rendu final du travail du consortium : le site lui-même, les documents finaux mis en ligne, les acteurs en réseau.

Information en écologie industrielle

Projet FP7, UTT – BRGM – Wuppertal Institute

A21 du Grand Lyon

Séminaire Ecologie urbaine - Ecole des Mines

Actualité de la Chaire d'écologie industrielle

Discussion sur « Ecologie industrielle » et « Economie circulaire »

4. Commentaires sur le CR SAD1

CA : ne pas se limiter au système d'évaluation dédiés à ce que l'on veut changer, mais aussi sur le suivi des actions pour vérifier que l'on ne modifie pas des choses qui fonctionnent bien.

Proposition d'axe de recherche

- **sur l'aspect systémique du métabolisme :**

Comment relier les articulations entre échelles et entre acteurs → transversalité des quatre axes (cf. Erkman)

Exemple de la Ville de Lille et de Paris.

Question de la production de données de flux à des échelles territoriales

Comment interpeller les statisticiens ?

Le métabolisme comme outil de prospective territoriale ou de reterritorialisation.

Attention à rester le domaine scientifique et non dans le domaine politique.

Ne pas parler d'échelle pertinente ou non pertinente.

- **Sur la dimension politique de l'écologie industrielle**

Questions sur les aspects participatifs des indicateurs

Les questions d'écologie industrielle et les dispositifs de concertation

Questions clés

- Quelle articulation entre les échelles territoriales à travers les travaux métabolismes ?
- Quelle articulation entre détermination collective d'objectifs communs à un territoire et capacité d'opérationnalisation de l'EI ?
- Comment interpeller les statisticiens ?
- Quelle est la dimension politique de l'EI ? Comment présuppose-t-elle d'une vision idéologique de la société ?
- Quid de la faisabilité des métabolismes à différents périmètre (acteurs territoire, filière) ?
- Quelle utilité des métabolismes dans les travaux de prospective territoriale ?
- Quel lien entre l'EI et les dispositifs de concertation ?
- Quel cadre conceptuel dans lequel définir les indicateurs d'EI ? Quelle définition des indicateurs dans ce cadre conceptuel ?
- Quelle intégration des indicateurs sur les polluants par rapport à la toxicologie et l'épidémiologie dans les travaux de métabolisme ?
- Quelle est l'articulation entre les indicateurs d'état et les indicateurs d'évaluation et de suivi ?
- Comment recenser les données existantes sur les flux et comment créer des bases de données communes exploitables par les acteurs concernés ?
- Quelle est la spécificité des indicateurs d'EI par rapport aux indicateurs de développement durable ?
- Quelles sont les limites de l'écologie industrielle par rapport aux exigences et aux finalités du développement durable ? L'EI peut-elle (et doit-elle) évoluer dans ce sens ?
- Quels liens entre les indicateurs d'évaluation, l'appropriation et les dynamiques de mise en œuvre ?
- Quelles passerelles entre les aspects techniques de l'écologie industrielle et les projets territoriaux de développement durable (A21) ?
- Quelles logiques d'acteurs facilitent ou au contraire freinent les dynamiques de mise en œuvre d'une démarche d'écologie industrielle ?
- Comment les indicateurs influent sur la perception des acteurs et leur capacité de travailler ensemble ?
- Quels sont les aspects psychologiques liés aux indicateurs et quelle influence sur la mise en œuvre ?
- Quelle traduction possible des outils statistiques en outils de métabolisme ?
- Quels indicateurs pour évaluer les aspects socio-culturels dans une démarche d'EI ?
- Quels indicateurs socio-culturels pour mettre en œuvre une démarche d'EI ?
- Quelle prise en compte des aspects sanitaires dans les systèmes d'évaluations en

EI ?

- Comment évaluer l'efficacité des stratégies de dématérialisation et de décarbonisation proposées par l'EI, de leur application au regard de l'effet rebond ?
- Comment les systèmes d'évaluation d'EI peuvent rendre compte de l'aspect systémique de ce type de démarche ? Quels indicateurs visuels ?
- Comment les systèmes d'évaluation peuvent traduire l'articulation entre les systèmes anthropiques et les systèmes naturels ?
- Comment traduire la temporalité des systèmes d'évaluation ?
- Quel apport de l'écologie industrielle dans la compréhension des systèmes agricoles comme intermédiaire entre l'industrie et les systèmes naturels ?
- Quel apport de l'écologie industrielle dans les stratégies d'économies de ressources ?
- Quel apport de l'EI dans l'articulation matière-énergie ?
- Comment définir des indicateurs en liens avec objectifs spécifiques ?
- Quelles sont les articulations entre les indicateurs et les spécificités des territoires ? caractéristiques géochimiques, maturité, aspects culturels.
- Quel impact de l'écologie industrielle en matière de droit et de réglementation pouvant être traduit en effet contraire à la protection de l'environnement ?
- Comment l'écologie industrielle peut appréhender les phénomènes de résilience des systèmes anthropiques ?
- Quel lien entre l'écologie industrielle et la gestion du risque industriel ?
- Comment mesurer la fragilité et la flexibilité d'un écosystème industriel ?
- Quel système d'évaluation prenant en compte les notions de coopération dans une démarche d'écologie industrielle ? Quels apports des approches sociologiques des jeux d'acteurs ?
- Quelle prise en compte de l'apprentissage inter-organisationnel pour faciliter l'appropriation des acteurs dans une démarche d'écologie industrielle ?
- Quel système d'évaluation connexe : image, attractivité, etc. ?
- Quels indicateurs pour évaluer le potentiel d'optimisation dans l'utilisation des flux de ressource sur un territoire ?
- Comment mesurer la capacité des acteurs à partager de l'information nécessaire à une démarche d'écologie industrielle ? Quelle typologie des informations en fonction de leur niveau de confidentialité ? Quel degré d'agrégation de donnée pour permettre un partage de l'information ?
- Quelle possibilité d'évolution réglementaire pour définir des obligations de fourniture de données de flux ?
- Quels indicateurs liés à l'identification et à la réalisation de synergies de fonctionnalité ?
- Quels apports stratégiques de l'écologie industrielle dans l'entreprise ? Quelle déclinaison de la théorie des jeux dans les démarches d'EI ? Quels apports dans la gestion des parties prenantes ?

- Quelle prise en compte de la pédagogie dans les approches d'écologie industrielle ? comment traduire les aspects systémiques de manière simple ?



Annexe 2 :

Cadrage et planification sous-atelier C



Atelier de Réflexion Prospective en EcoloGie industrielle

| | |
|-----------|-----------------------------------|
| Date | 1er Sept 2007 |
| Version | 3 |
| Objet | Sous-atelier C |
| Référence | Cadrage et planification |
| Auteur(s) | C. Adoue D. Coulon B. Duret |
| Diffusion | Membres Arpège |

Sommaire

| | |
|---|------------------------------------|
| 1. RAPPEL DES OBJECTIFS DU SOUS-ATELIER C..... | 3 |
| 2. ARTICULATION AVEC LES AUTRES SOUS-ATELIERS..... | 3 |
| 3. CADRE CONCEPTUEL..... | 4 |
| 4. DEROULEMENT ET CALENDRIER..... | 6 |
| 5. CONTENU ET METHODOLOGIE | 7 |
| TRAVAUX PREPARATOIRES 1 | 7 |
| <i>Questionnaire :</i> | 7 |
| REUNION 1 | 7 |
| TRAVAUX PREPARATOIRES 2 | 8 |
| REUNION 2 | 8 |
| REUNION 3 | 8 |
| REUNION 4 | 9 |
| REUNION 5 | ERREUR ! SIGNET NON DEFINI. |
| QUESTIONNAIRE..... | 10 |

1 Rappel des objectifs du sous-atelier C

Le sous atelier C se focalise sur la dimension opérationnelle des applications de l'écologie industrielle :

- les diagnostics de type métabolisme industriel,
- les projets de bouclage de flux sur un territoire.

L'objectif est d'apporter un maximum de réponses aux questions :

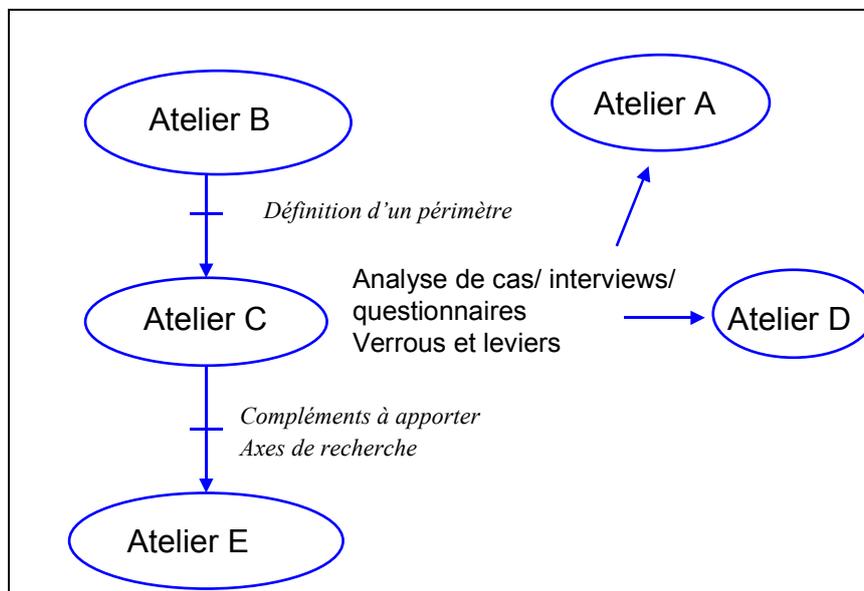
- Quelles applications de l'écologie industrielle en France, en Europe et dans le reste du monde? Facteurs de succès ou d'échec,
- Quels verrous à l'origine du niveau de développement actuel de l'écologie industrielle en France ?
- Quels leviers disponibles pour développer l'écologie industrielle en France ?

Ces informations permettront de formuler des axes de recherches dont les résultats pourront contribuer à faire de l'écologie industrielle une réponse opérationnelle à certains enjeux de territoires et des acteurs qui les animent.

2 Articulation avec les autres sous-ateliers

Le contenu du sous-atelier C est lié au périmètre défini pour l'écologie industrielle dans le sous-atelier B.

Le résultat des interviews, des analyses de cas et des synthèses servira également à l'atelier D et pourra être utilisé au moins partiellement pour la communication du sous-atelier A.



3 Cadre conceptuel (définitions sous-atelier B)

3.1 Définition de l'écologie industrielle (sous-atelier B) :

« L'écologie industrielle s'inscrit dans l'Écologie des sociétés industrielles, c'est-à-dire des activités humaines productrices et/ou consommatrices de biens et de services.

L'écologie industrielle porte une attention particulière à l'analyse des interactions entre les sociétés et la nature et à la circulation des matières et de l'énergie qui les caractérisent, ou qui caractérisent les sociétés industrielles elles-mêmes. Ces flux sont analysés d'un point de vue quantitatif (métabolisme industriel) voire naturaliste, mais aussi d'un point de vue économique et social, dans une perspective systémique.

L'écologie industrielle constitue ainsi un champ de recherche pluri et interdisciplinaire, mais aussi une démarche d'action dans la perspective d'un développement durable. En ce sens, elle appelle un changement de paradigme et de représentation basé sur une approche systémique.

L'écologie industrielle peut se focaliser sur une filière, une entreprise, un établissement industriel, une zone industrielle, un territoire, une région, une matière... etc. Elle se réfère à des méthodes à l'écologie scientifique, à la thermodynamique, à la sociologie des organisations, etc. »

L'écologie industrielle propose donc des outils de diagnostics comme les outils de métabolisme industriel. Elle propose également des applications comme le bouclage de flux de matières et d'énergie qui se traduit par la création de parcs éco-industriels ou symbioses.

3.2 Définition du métabolisme industriel :

La famille des outils de métabolisme industriel regroupe un certain nombre d'outils permettant de caractériser la dynamique des flux de matières et d'énergie au sein d'un système étudié. Cette dynamique des flux est en effet à la source des interactions entre les sociétés humaines contemporaines et les autres écosystèmes de la biosphère.

Depuis les années 70-80, un certain nombre d'outils méthodologiques ont donc été développés pour l'étude de divers types d'interactions.

Ils peuvent se focaliser sur des problématiques environnementales spécifiques à certaines substances, matières ou produits. On retrouve dans cette sous-famille (BRINGEZU) :

- ❑ l'analyse des flux de substances (analyse du métabolisme du plomb dans un bassin versant, SFA en anglais),
- ❑ l'analyse des impacts liés à une matière précise ou à un produit (méthode MIPS, ACV...).

D'autres outils se focalisent sur les bilans de flux d'un système à étudier qui peut être un territoire, une entreprise ou encore un secteur industriel :

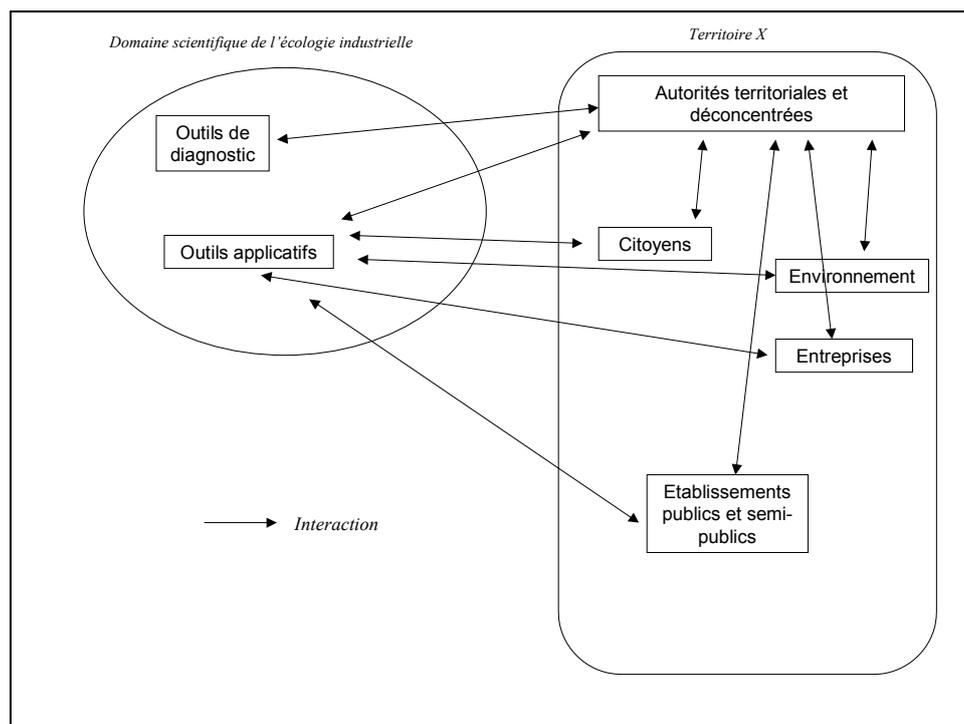
- ❑ Analyse des flux de matière et d'énergie sur un territoire (AFME, MFA en anglais),
- ❑ Bilan flux entrants/ flux sortants d'une entreprise.

3.3 Définition de Parc éco-industriel :

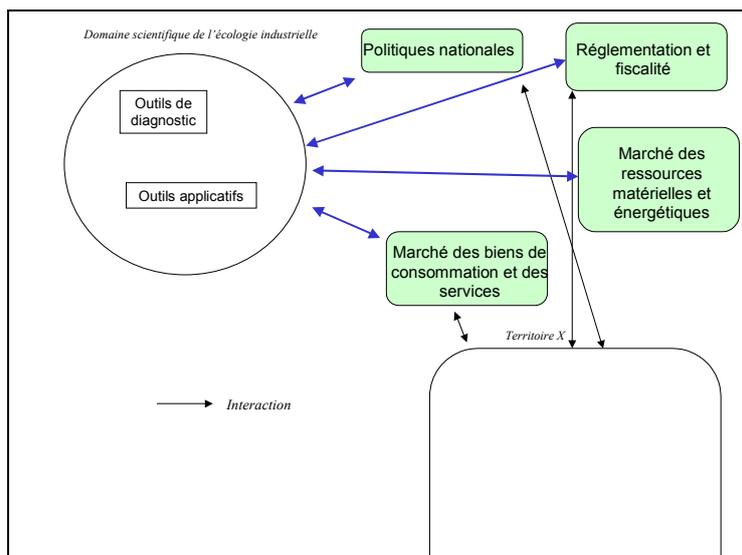
Les parcs dits « éco-industriels » sont nombreux de par le monde. Cette dénomination regroupe des situations parfois très différentes : elle peut désigner une zone d'échanges de matières à l'échelle d'une ville, d'une région, ou des opérations d'amélioration de la gestion de la ressource en eau, l'utilisation d'énergie solaire dans une zone industrielle. Une nomenclature des termes liés à ce type d'applications de l'écologie industrielle en distingue 5 types (CHERTOW MA, 2000):

- ❑ Type 1 : les systèmes de recyclage classiques de produits en fin de vie qui impliquent une interface collecteur et vendeur (système de recyclage des ordures ménagères, Armée du Salut...),
- ❑ Type 2 : système de bouclage des flux de matières et d'énergie au sein d'une usine ou d'une entreprise (cf. Ebara corporation, Japon),
- ❑ Type 3 : système d'échanges de matières et d'énergie entre entreprises voisines sur une zone définie,
- ❑ Type 4 : système d'échanges de matière et d'énergie entre entreprises locales mais non voisines (Kalundborg),
- ❑ Type 5 : système d'échange de matière et d'énergie entre entreprises organisées « virtuellement » à l'échelle d'une région (Caroline du Nord, Tampico)

Le terme « symbiose industrielle » regroupe les parcs des types 3 à 5.

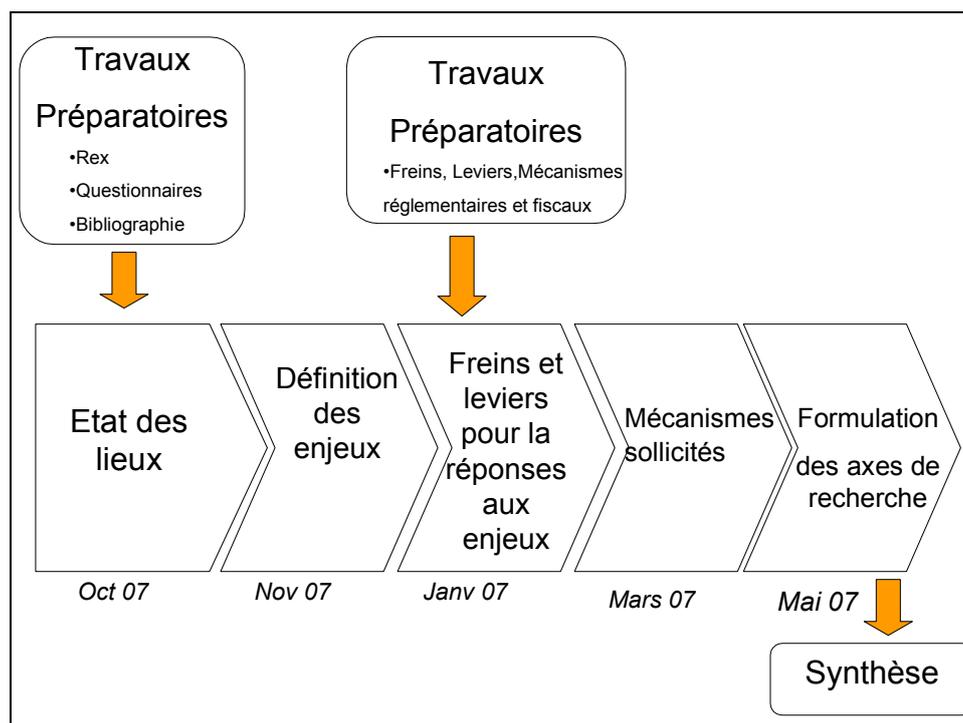


Les projets d'écologie industrielle sont donc en interaction avec de nombreux éléments du système territoire, qu'il s'agisse de diagnostics de type « étude de métabolisme » ou de projets plus applicatifs comme par exemple le « bouclage de flux ». Ils sont également en interaction avec des éléments structuraux extra-territoriaux (réglementation...).



A travers ces interactions, des facteurs influencent donc la concrétisation de projets d'écologie industrielle.

4 Déroulement et calendrier



4.1 Dates retenues

Les 3 premières réunions se dérouleront :

- Le X octobre,
- Le 12 novembre,

- Le 10 janvier.

5 Contenu et méthodologie

5.1 Travaux préparatoires 1

Les travaux préparatoires N°1 ont pour objectif de mettre à disposition des participants au sous-atelier des informations sur la mise en œuvre de projets d'écologie industrielle. Ces informations proviendront :

- De questionnaires adressés aux membres d'Arpège ainsi qu'à un certain nombre de personnalités externes
- De retours d'expériences sur des projets passés ou en cours en France et à l'étranger.

5.1.1 Questionnaire :

Le questionnaire adressé aux divers membres du consortium permettra d'amorcer la réflexion sur le thème de ce sous-atelier.

Il sera également adressé à des personnalités extérieures étrangères reconnues pour leur expérience en écologie industrielle ou leur regard critique vis à vis de ce type de pratique. Leur contribution permettra d'enrichir la réflexion menée au sein de l'ARP.

Les informations recueillies seront analysées par l'équipe d'animation. Elles serviront à structurer le déroulement de ce sous-atelier ainsi que son contenu.

Personnalités extérieures :

- S. Erkman
- R. Côté (Halifax, [Canada](#))
- M.A. Chertow (Yale, [Etats-Unis](#))
- H. Gignac (CTTEI, [Canada](#))
- D. Chambaz ou D. Cramer (Genève, [Suisse](#))
- J. Mirenowicz (Revue Durable)
- P. Lowit (Devens)

5.2 Réunion 1

Les éléments issus des travaux préparatoires sur les retours d'expériences et sur le dépouillement des questionnaires seront mis à disposition des participants en amont de la réunion. Une présentation résumée ouvrira la journée. L'ensemble de ces informations permettra de dresser un état des lieux des pratiques d'écologie industrielle et des contextes dans lesquels les projets se sont déroulés.

5.3 Réunion 2

A partir des éléments de retour d'expérience précédemment exposés et mis à disposition des participants, la réunion 2 aura pour but d'inventorier à partir aux différentes expériences étudiées les enjeux auxquels un projet d'EI peut apporter une réponse. Ces enjeux pourront être abordés sous au moins deux niveaux d'analyse :

- Le niveau territoire

- Le niveau acteurs (acteurs économiques, citoyens, collectivités locales...)

Par exemple, un projet d'écologie industrielle ayant pour but la requalification d'une zone d'activité représente un moyen de transformer et dynamiser l'économie d'un territoire (enjeu territoire n°1) ou de diminuer la production de déchets (enjeu territoire n°2). D'un point de vue des citoyens il pourra avoir des effets sur l'emploi (enjeu acteur n°1) et pour les acteurs économiques sur leur compétitivité (enjeu acteur n°2).

Cette réunion permettra ainsi de dresser une typologie des enjeux auxquels l'EI peut répondre.

5.4 Travaux préparatoires 2

Les interactions entre les projets d'écologie industrielle et les éléments de type réglementaire et fiscaux sont particulières et souvent déterminantes dans la mise en œuvre de politiques d'écologie industrielle^{1,2,3}. Un travail spécifique sera réalisé sur ces interactions et mis à disposition des participants en amont de la réunion n°2. Il permettra d'illustrer pour un projet d'écologie industrielle les freins et leviers de nature réglementaire et fiscale ainsi que les mécanismes qui les régissent.

5.5 Réunion 3

Une présentation synthétique des résultats des travaux préparatoires n°2 permettra d'illustrer la notion de frein, de levier et de mécanisme.

Cette illustration permettra de cadrer le thème des réunions 3 et 4 et de traiter au moins en partie le sujet des mécanismes réglementaires et fiscaux et des réponses qu'ils peuvent apporter.

Le reste de la journée sera consacré à l'identification des types d'éléments en interaction avec les différents enjeux précédemment listés. Par exemple les politiques économiques des différents entités administratives qui constituent un territoire seront en interaction avec l'enjeu « transformer et dynamiser l'économie d'un territoire (enjeu territoire n°1) ». Leur diversité et le morcellement des compétences pourra être considéré comme un frein, un levier étant une réforme administrative.

L'identification de ces points pourra utiliser une approche systémique, basée sur la détection des interactions entre les différents éléments constitutifs d'un territoire et de son environnement (les enjeux étant liés à ces éléments).

Une liste non exhaustive des triplets (enjeu, frein, levier) sera dressée suite à l'atelier.

5.6 Réunion 4

La troisième réunion sera consacrée à identifier les mécanismes en jeu derrière les types de freins et leviers identifiés lors de la réunion n°3.

Ces mécanismes pourront être identifiés en travaillant sur les interactions entre éléments concernés par chaque réponse.

Par exemple l'enjeu territoire (n°2) « diminuer la production de déchets » pourra être freiné par l'image négative du déchet, un levier serait sensibiliser les différents acteurs à l'intérêt de ce type de démarche. Ce type de mesure touche au mécanisme de représentation de l'objet « déchet » (champ psychosociologique) mais également à celui de l'éducation des acteurs (pédagogie).

La réunion permettra de dresser une liste non exhaustive des quadruplets (enjeux, freins, leviers, mécanismes).

¹ LOWE E.A., *Eco-industrial Handbook for Asian Developing Countries*, [en ligne], USA, 2001. Disponible sur www.indigodev.com.

² DURET B., *Pratiques internationales d'écologie industrielle : retours d'expériences, Rapport de projet d'études*, EDF R&D, CREIDD, ICAST, Auxilia, 2004.

³ ADOUE, FORGUES, LECOINTE : « Développement des solutions d'écologie industrielle et réglementation : freins et leviers », *Déchets Sciences & Techniques n°33*, 2004.

5.7 Réunion 5

La 5^{ème} réunion permettra d'analyser les résultats issus de la réunion n°4 et regrouper par thèmes puis de hiérarchiser les différents quadruplets identifiés. Ces thèmes permettront de dresser une typologie et de formuler des axes de recherches issus de cette typologie.

6 Questionnaire

Annexe 3 :

Cadrage et planification sous-atelier D



Atelier de Réflexion Prospective en EcoloGie industrielle

| | |
|------------------|---|
| Date | 15 mai 2007 |
| Version | 1 |
| Objet | Sous-Atelier D (Animation) |
| Référence | Cadrage et planification |
| Auteur(s) | Christophe Blavot Benôit Duret Dominique Guyonnet |
| Diffusion | Membres ARPEGE |

1 Rappel des objectifs du SA D

A partir de la définition et des objectifs de l'écologie industrielle proposés dans le SA B, le SA D se donne comme objectifs suivants :

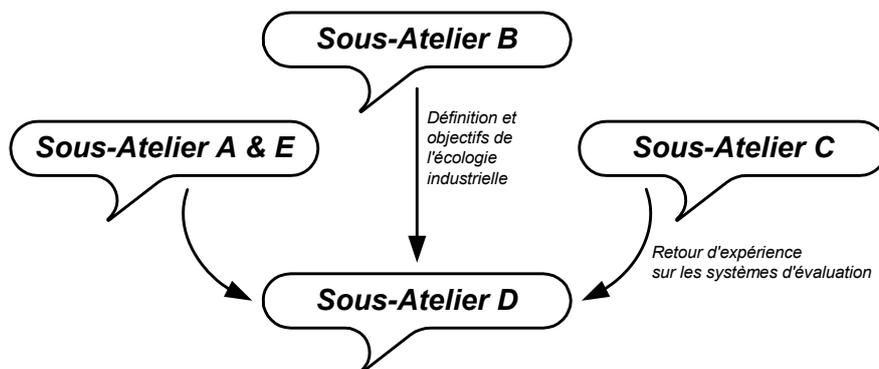
- Comprendre les enjeux liés à l'évaluation et la mesure de la performance dans l'écologie industrielle,
- Définir la typologie d'un système d'évaluation adapté aux objectifs de l'écologie industrielle,
- Identifier l'articulation (quelles différences et quels points communs ?) d'un système d'évaluation dédié à l'écologie industrielle par rapport à ceux dédiés aux approches d'éco-efficacité et de développement durable,
- Formuler des axes de recherche permettant de faciliter la prise en compte des aspects sociaux, environnementaux et économiques dans l'écologie industrielle

2 Articulation du SA D avec les autres sous-ateliers

Le SA D est alimenté en amont par la réflexion menée dans le SA B.

Le SA C, comprenant un retour d'expérience, pourra également alimenter le SA D en intégrant dans les critères d'analyse des éléments liés à l'évaluation des projets menés.

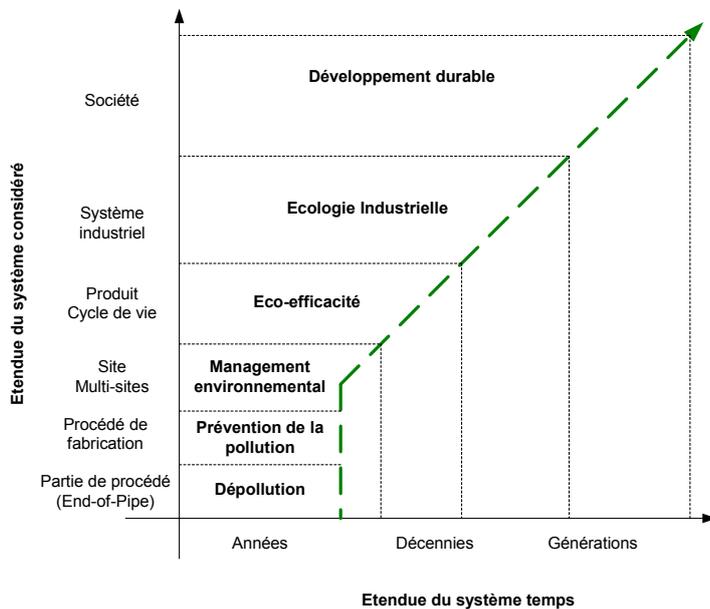
Les autres SA sont par définition transverses à ARPEGE et impacteront le SA D par leur contenu.



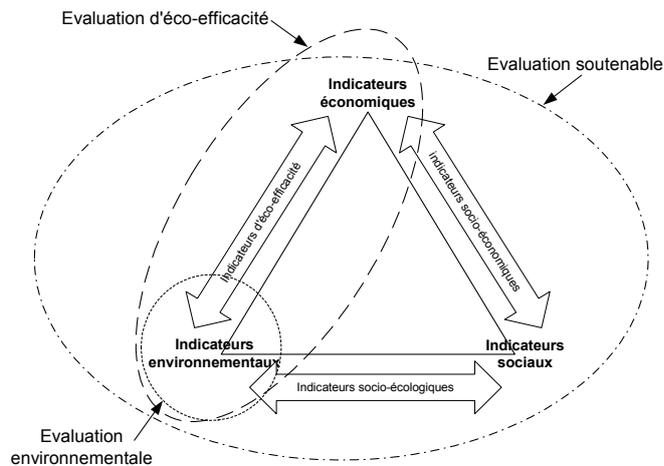
3 Cadrage conceptuel

Rappeler la définition de l'écologie industrielle proposée par le SA B.

Présenter l'écologie industrielle comme une transition facilitant le passage entre les démarches individuelles d'éco-efficacité (SME, ACV, technologie propre, etc.) et le développement durable.



Source : adaptation de Ray Côté



Source : Martina Keitsch

Une évaluation de la gouvernance (réseau de coopération) doit également être envisagée : comment évalue-t-on des niveaux de confiance, des coopération inter-acteurs, etc. ?

4 Prise en compte de la prospective territoriale dans le SA D

L'animation du SA D, et donc de ses quatre réunions de travail, est envisagé dans la logique proposée par la prospective territoriale.

Cela signifie que, dans la mesure du possible, les objectifs de chaque réunion et leur enchaînement, devront se référer aux questions clés posées par la prospective territoriale. A savoir :

- **D'où venons ?** *Diagnostics rétrospectifs. Les temps longs, la situation récente.*
- **Qui sommes-nous ?** *Dynamiques actuelles, tendances lourdes et émergentes et connaissance des jeux d'acteurs*
- **Que peut-il advenir ?** *Interactions entre les facteurs internes et externes, systémique de l'objet d'étude, mise en évidence des variables-clés, projection sur les futurs explorés (scénarios exploratoires et des futurs volontaires (scénarios normatifs) à long terme (10-20 ans)*
- **Que voulons-nous ?** *Indications sur la ou les stratégie(s) possible(s)*
- **Que pouvons-nous faire ?** *Plan opérationnel*

La prospective est **outil collectif d'aide à la décision**, une méthode permettant de **réduire les incertitudes**.

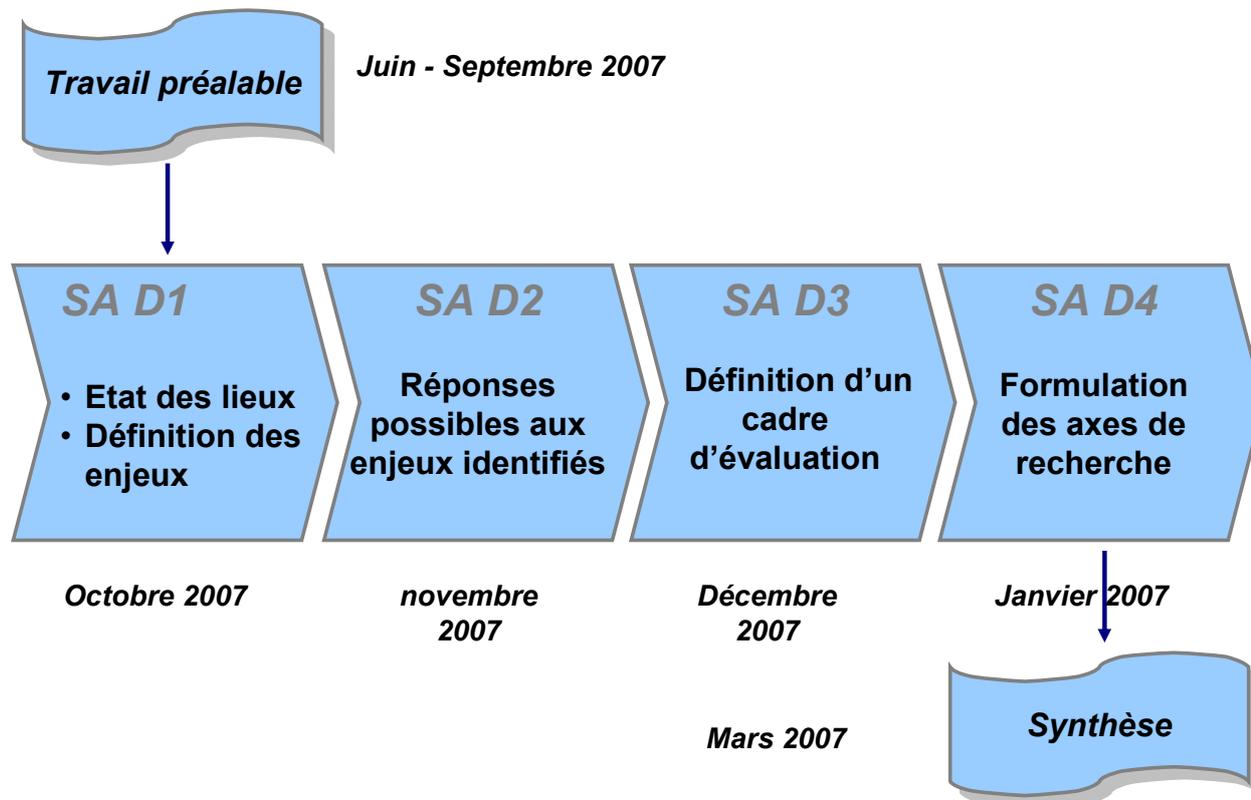
Elle permet à un **groupe de personnes de penser les futurs possibles et souhaitables**.

Elle ne se **substitue pas aux discours** des acteurs, mais leur **donne un cadre pour organiser leur vision**.

C'est une **traduction des anticipations en objet de discussion**.

Elle **superpose d'autres images aux images dominantes**.

5 Déroulement et calendrier



Je ne suis pas très sûr du calendrier...

6 Contenu et méthodologie

6.1 Travail préalable

Le travail préalable en amont de la série d'atelier vise à réaliser un état des lieux de la prise en compte des aspects sociaux, économiques et environnementaux dans le domaine de l'écologie industrielle. Il s'agira également d'analyser la prise de ces aspects dans les domaines connexes à l'écologie industrielle tels que :

- Eco-efficacité (technologies propres, système de management environnementaux, ACV, etc.),
- Développement durable.

Questions clés :

- Quelle évaluation ou système d'évaluation ?
- Quels outils et quelles méthodes utilisés ?
- Quels référentiels et quels indicateurs ?
- Qui évalue et pourquoi ?

Moyens

Ce travail sur l'état des lieux sera réalisé par l'intermédiaire :

- De recherches et synthèses bibliographiques,
- D'un questionnaire d'enquête,
- D'entretiens avec des experts.

Il est donc nécessaire de produire :

- Une liste de références bibliographiques
- Un questionnaire d'enquête et une liste de personnes à interroger,
- Un guide d'entretien et une liste des experts à solliciter,

La prise en compte de la dimension historique de cet état des lieux ne sera pas prise en compte en raison du temps disponible pour le travail préalable.

L'état des lieux sera partagé en amont de la première réunion. Il fera l'objet d'un document servant de support à la définition des enjeux liés aux systèmes d'évaluation (sociale, économique, environnementale) dans le domaine de l'écologie industrielle.

Cette définition des enjeux est l'objet de la première réunion du sous-atelier D (SA D1).

Liste des personnalités à solliciter

- Walter Stahel (Institut de la Durée, Genève),
- Suren Erkman (ICAST, Genève),
- Danièle Poliautre (Ville de Lille),
- Etc. à compléter

SA D1 : Etat des lieux et définition des enjeux (« Qui sommes-nous ? »)

Objet de la réunion

Cette première réunion s'articule en deux temps :

1. Restitution et discussion sur l'état des lieux réalisé au cours du travail préalable,
2. Définition des enjeux liés à la prise en compte des aspects sociaux, économiques et environnementaux dans le domaine de l'écologie industrielle. Il s'agit essentiellement de formuler des questions clés telles que :
 - o *Quels systèmes d'évaluation en écologie industrielle ?*
 - o *Qui a besoin de cette évaluation et pourquoi ?*
 - o Etc.

Déroulement

1. Restitution et discussion de l'état des lieux (interventions ?)
2. Formulation collective des questions clés

6.2 SA D2 : Réponses possibles aux enjeux identifiés (« Que peut-il advenir ? »)

Objet de la réunion

Cette deuxième réunion doit permettre une projection des enjeux, c'est-à-dire de formuler collectivement les réponses possibles aux enjeux identifiés lors du SA D1.

- o *Quels systèmes d'évaluation en écologie industrielle ?* → Définition précise des aspects économiques, sociaux et environnementaux à prendre en compte dans le champ de l'écologie industrielle.
- o *Qui a besoin de cette évaluation et pourquoi ?* → Identification des acteurs utilisant, (ou pertinents pour utiliser) des systèmes d'évaluation.

Il ne s'agit donc pas dans cette réunion d'apporter des réponses définitives aux enjeux, mais plutôt de définir, pour chaque question clé, un champ de réponses le plus exhaustif possible. Il s'agit ainsi de limiter au maximum les oublis afin de ne pas laisser des éléments importants de côté.

Déroulement

1. Rappel des enjeux identifiés au SA D1
2. Formulation collective des réponses possibles aux questions clés

6.3 SA D3 : Choix du cadre d'un système d'évaluation dédié à l'écologie industrielle (« Que voulons-nous ? »)

Objet de la réunion

Cette troisième réunion doit permettre de définir le cadre d'un système d'évaluation le mieux adapté aux objectifs et aux enjeux de l'écologie industrielle définis par ARPEGE. Il s'agit donc de faire des choix parmi les champs de réponses identifiés au SAD3 et de formaliser un cadre d'évaluation pour l'écologie industrielle.

Déroulement

1. Rappel des questions clés et de leur champ de réponses possibles,

2. Choix parmi les réponses,
3. Définition d'un cadre d'évaluation adapté à l'écologie industrielle.

6.4 SA D4 : Formulation des axes de Recherche (« Que pouvons-nous faire ? »)

Objet de la réunion

Le cadre d'évaluation défini au SA D3 est un cadre idéal faisant apparaître des « manques » pouvant faire l'objet de recherches spécifiques. D'autres axes de recherche potentiels auront également émergés tout au long des trois premières réunions du SA D.

Déroulement

1. Rassembler les axes déjà identifiés,
2. Identifier l'ensemble des « manques » du cadre d'évaluation,
3. Formuler les axes de recherche pertinents concernant la prise en compte des aspects économique, sociaux et environnementaux.

6.5 Rôle des animateurs

- Poser le cadre de réflexion,
- Préparer les documents supports,
- Réaliser et coordonner le travail préalable à chaque réunion de sous-ateliers,
- Animer les sous-ateliers,
- Rédiger la synthèse,
- Coordonner les actions intermédiaires,
- Assurer le délai de réalisation des tâches,
- Distribuer les rôles,
- A compléter si nécessaire

Annexe 4 :

Ecologie industrielle : une réponse aux enjeux des territoires ?

Retours d'expérience en Europe



Écologie Industrielle

Une réponse aux enjeux des territoires ?

→ Retours d'expérience en Europe





Projets ayant servi de base pour le REX

- ✓ National industrial symbiosis programme (NISP) - *Royaume-Uni*
- ✓ Analyse des flux de matière et empreinte écologique de la ville de York - *Royaume uni*
- ✓ Symbiose industrielle de Landskrona - *Suède*
- ✓ Modèle industriel régional de Santa Croce sull'Arno - *Italie*
- ✓ Symbiose industrielle de Kalundborg - *Danemark*
- ✓ Inter industrial material flow management - *Rhine Neckar, Allemagne*
- ✓ Ecosite - *République et canton de Genève, Suisse*
- ✓ Port autonome de Marseille - *France*
- ✓ Agenda 21 de Lille - *France*
- ✓ Club d'écologie industrielle de Troyes - *France*
- ✓ Parc d'activité de Grande-Synthe - *France*

- ✓ SINET (*Asia pro-Eco*)
- ✓ ECOSIND (*Interreg III C*)

Sommaire

I- Enjeux des territoires

II- Réponses apportées par l'écologie industrielle

III- Points clé et facteurs de succès

IV- L'écologie industrielle dans les politiques européennes





I

Enjeux des territoires



Principaux enjeux

- ✓ Développement économique
- ✓ Protection de l'environnement
- ✓ Accroissement démographique
- ✓ Volontés politiques
- ✓ Enjeux sociaux
- ✓ Aspects réglementaires



II

Réponses apportées par l'écologie industrielle



Réponses

- ✓ Développement économique
- ✓ Protection de l'environnement
- ✓ Accroissement démographique
- ✓ Volontés politiques
- ✓ Enjeux sociaux
- ✓ Aspects réglementaires





III

Points clé et facteurs de succès





Points à prendre en compte

- ✓ Diversité des types d'industries
- ✓ Proximité des structures à mettre en relation
- ✓ État des lieux du territoire
- ✓ Analyse approfondie des synergies possibles
- ✓ Contexte politique
- ✓ Vérification de la réglementation
- ✓ Mise en place d'une structure de coordination
- ✓ Étude des coûts et recherche de financements pérennes

Facteurs de succès

- ✓ Cohésion des acteurs,
- ✓ Présence d'une structure de cohésion avec un chargé de mission dédié à la coordination,
- ✓ Sensibilisation préalable des parties prenantes ET des acteurs locaux aux enjeux environnementaux,
- ✓ Étude préalable de l'échelle de territoire la mieux adaptée



IV

L'écologie industrielle dans les politiques européennes

•
•
•
envirope^eA . . . •



6^e Programme d'action pour l'environnement

DG Env

- ✓ Plan d'action pour les éco-technologies (ETAP),
- ✓ Stratégie thématique pour la prévention et le recyclage des déchets - COM(2005)666,
- ✓ Stratégie thématique sur l'utilisation durable des ressources naturelles - COM(2005)670,
- ✓ Plan d'action pour une production et une consommation durable,
- ✓ Plan d'action pour une stratégie de développement industriel durable.

Politique de cohésion et de dvpt régional

DG Regio



- ✓ « Une politique de cohésion pour soutenir la croissance et l'emploi : orientations stratégiques communautaires 2007 - 2013 » COM(2005)299,
- ✓ « L'agenda territorial de l'Union européenne » document cadre

Instrument financiers pour la mise en œuvre de ces politiques



DG Environnement :

- ✓ Life +,
- ✓ Programme cadre compétitivité et innovation (CIP),
- ✓ 7^e Programme de recherche et développement (PCRD),

DG Regio :

- ✓ Programmes opérationnels régionaux du FEDER - volet compétitivité et emploi,
- ✓ Programmes opérationnels régionaux du FEDER - volet coopération (projets transfrontaliers, interrégionaux ou transnationaux)

Annexe 5 :

Freins, leviers mécanismes réglementaires et fiscaux



Atelier de Réflexion Prospective en EcoloGie industrielle

| | |
|-----------|---|
| Date | 29 décembre 2007 |
| Version | 1 |
| Objet | Sous-atelier C |
| Référence | Freins, leviers, mécanismes réglementaires et fiscaux |
| Auteur(s) | C. Adoue |
| Diffusion | Membres Arpège |

Sommaire

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | CADRE DE L'ETUDE | 3 |
| 1.1 | DEFINITION DE L'ECOLOGIE INDUSTRIELLE (SOUS-ATELIER B) : | 3 |
| 1.2 | TYPES D'INTERACTIONS LIEES A LA REGLEMENTATION ET A LA FISCALITE | 4 |
| 1.3 | CADRE DE L'ETUDE | 5 |
| 2 | FREINS ET LEVIERS REGLEMENTAIRES | 6 |
| 2.1 | ECONOMIE DE FONCTIONNALITE | 6 |
| 2.1.1 | <i>Freins</i> | 6 |
| 2.1.2 | <i>Leviers</i> | 6 |
| 2.2 | BOUCLAGE DE FLUX | 6 |
| 2.2.1 | <i>Flux d'eau et d'énergie</i> | 6 |
| 2.2.2 | <i>Flux de matières</i> | 7 |
| 2.2.3 | <i>Leviers</i> | 9 |
| 2.3 | MECANISMES EN JEU | 10 |
| 3 | FREINS ET LEVIERS FISCAUX | 12 |
| 3.1 | FREINS | 12 |
| 3.2 | LEVIERS | 12 |
| 3.3 | MECANISMES EN JEU | 13 |
| 4 | CONCLUSIONS | 13 |
| 5 | BIBLIOGRAPHIE | 14 |
| 6 | | 21 |

1 Cadre de l'étude

1.1 Définition de l'écologie industrielle (sous-atelier B) :

« L'écologie industrielle s'inscrit dans l'Ecologie des sociétés industrielles, c'est-à-dire des activités humaines productrices et/ou consommatrices de biens et de services.

L'écologie industrielle porte une attention particulière à l'analyse des interactions entre les sociétés et la nature et à la circulation des matières et de l'énergie qui les caractérisent, ou qui caractérisent les sociétés industrielles elles-mêmes. Ces flux sont analysés d'un point de vue quantitatif (métabolisme industriel) voire naturaliste, mais aussi d'un point de vue économique et social, dans une perspective systémique.

L'écologie industrielle constitue ainsi un champ de recherche pluri et interdisciplinaire, mais aussi une démarche d'action dans la perspective d'un développement durable. En ce sens, elle appelle un changement de paradigme et de représentation basé sur une approche systémique.

L'écologie industrielle peut se focaliser sur une filière, une entreprise, un établissement industriel, une zone industrielle, un territoire, une région, une matière... etc. Elle se réfère à des méthodes à l'écologie scientifique, à la thermodynamique, à la sociologie des organisations, etc. »

L'écologie industrielle propose donc des outils de diagnostics comme les outils de métabolisme industriel. Elle propose également des applications comme le bouclage de flux de matières et d'énergie qui se traduit par la création de parcs éco-industriels ou symbioses ou encore l'économie de fonctionnalité.

L'utilisation de ces outils d'aide à la décision ou de ces modèles économiques sont en interaction avec différents éléments constituant notre société industrielle.

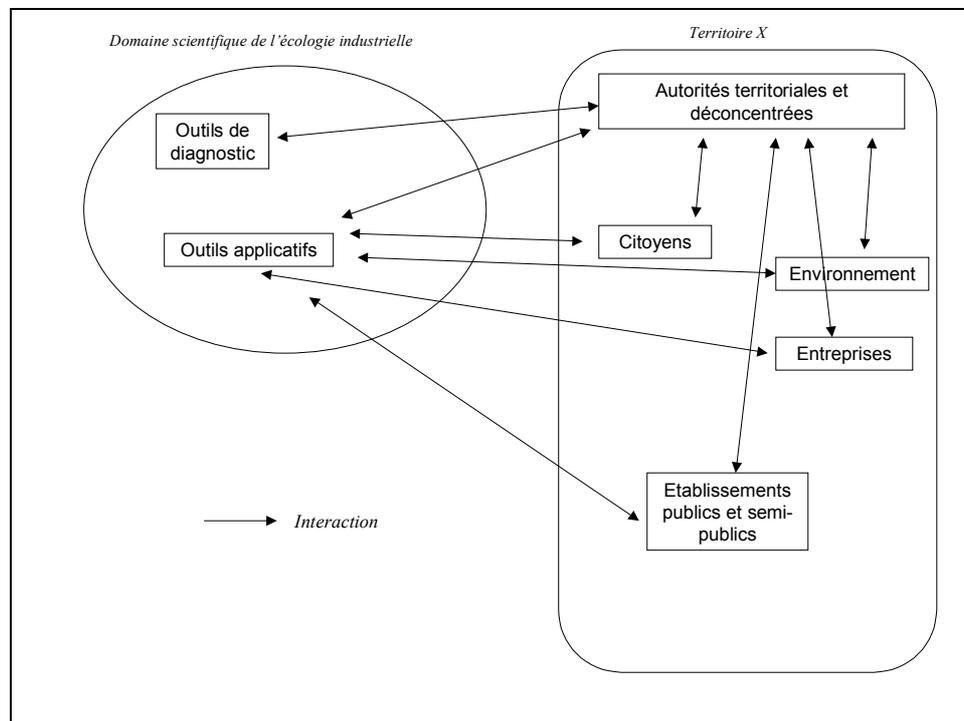


Figure 1 : Interactions liées aux projets d'écologie industrielle

Ces interactions sont elles même sous l'influence de facteurs qui ont un impact sur la concrétisation de projets d'écologie industrielle.

Les cadres réglementaires fiscaux font partie de ces facteurs.

1.2 Types d'interactions liées à la réglementation et à la fiscalité

La réglementation environnementale et la fiscalité proposent des interactions de nature différente avec les applications proposées par l'écologie industrielle.

La réglementation possède une dimension coercitive. Elle va encadrer les flux de matières et d'énergie de leur extraction jusqu'à leur fin de vie (déchets, effluents...). Cette possibilité de contraindre peut donc influencer des projets d'écologie industrielle de plusieurs façons. Dans le cadre du bouclage de flux ; elle peut par exemple orienter de façon directe le devenir de certains flux : interdiction de mise en décharge ou d'incinération, filière dédiée (DEEE)... La politique menée par exemple au Canada par certaines collectivités (interdictions de mise en décharge...) a débouché sur le développement des solutions d'écologie industrielle.

Elle peut également intervenir de façon indirecte. Le poids des procédures entourant la valorisation d'un type de flux peut par exemple décourager la mise en place d'une boucle de matière. Des objectifs chiffrés ambitieux dans l'organisation d'une filière peuvent également inciter les entreprises à ne plus commercialiser des produits destinés à devenir des déchets et à mettre en place une économie de fonctionnalité.

La fiscalité va influencer le coût et peut rendre les opérations d'écologie industrielle économiquement intéressantes. Une fiscalité dissuasive pour l'élimination de certains déchets fera émerger des filières de valorisation plus compétitives, comme par exemple la *Landfill Tax* au Royaume-Uni.

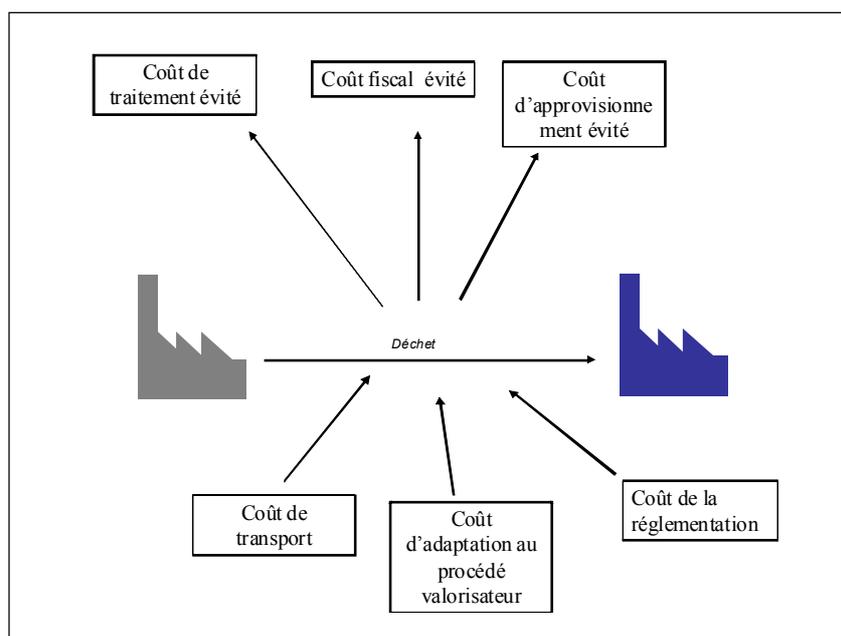


Figure 2 : Influence de la réglementation et de la fiscalité sur une synergie matière

La réglementation peut également avoir un effet indirect sur le coût à travers les prescriptions techniques qu'elle impose. Par exemple, pour le traitement d'un déchet, elle peut imposer un transport particulier plus onéreux, le passage par des installations autorisées spécifiques, ce qui occasionne là encore un surcoût.

1.3 Cadre de l'étude

Cette étude s'inscrit dans le cadre du sous-atelier C de l'ARPEGE. L'objectif est de mettre en évidence les interactions entre la réglementation, la fiscalité et les principales applications de l'écologie industrielle : le bouclage de flux et l'économie de fonctionnalité. Les interactions favorisant ces applications seront considérées comme des leviers, celles ayant une influence négative comme des freins. Comme prévu dans le document de cadrage de ce sous-atelier, ce travail essaiera de mettre en évidence les mécanismes encadrant ces freins ou impliqués pour actionner les leviers seront également analysés.

2 Freins et leviers réglementaires

2.1 Economie de fonctionnalité

L'économie de fonctionnalité propose de commercialiser les fonctions rendues par un produit à la place de ce produit.

2.1.1 Freins

La réglementation ne semble par interférer a priori de façon directe avec le développement de ce type d'approche. Elle reste toutefois tournée vers l'encadrement d'une approche de type produit et n'encourage en rien le développement de l'économie de fonctionnalité qui doit attendre l'arrivée à maturité des comportements de consommation et de production pour se développer réellement.

2.1.2 Leviers

Des leviers réglementaires pourraient contribuer au développement de l'économie de fonctionnalité et pousser les acteurs industriels à modifier leur positionnement commercial. Ils ne seront toutefois efficaces et n'auront de sens que si les consommateurs finaux sont également prêts à accepter cette modification de l'acte d'achat.

La réglementation encadrant la fin de vie de certaines classes de produit est un formidable levier (directive VHU, DEEE...).

La directive sur les Véhicule hors d'usage (VHU) souhaite par exemple favoriser la réutilisation des pièces et des matières, qui est un des effets envisageables de l'économie de fonctionnalité, sans mettre en place de mesures coercitives spécifiques. Les producteurs de véhicule n'ont comme obligation que d'organiser collectivement la filière de gestion des VHU. Une obligation de reprise de ces véhicules en fin de vie pourrait les obliger à se poser la question de façon individuelle et beaucoup plus pointue.

2.2 Bouclage de flux

Le bouclage des flux d'eau de matières et d'énergie au sein de la société industrielle proposé par l'écologie industrielle s'inscrit dans un cadre réglementaire complexe. Ce chapitre tente de décrire les différents mécanismes réglementaires face auxquels se retrouvent confrontés des industriels français souhaitant échanger de l'eau, de la matière ou de l'énergie. L'analyse de ces mécanismes, de leur mise en œuvre, accompagnées d'entretiens avec des entrepreneurs, a permis de mettre en évidence les différents impacts de la réglementation sur l'intérêt de la synergie. Si le cadre réglementaire de ces échanges peut dans certain cas freiner leur développement, des leviers sont mis en évidence.

2.2.1 Flux d'eau et d'énergie

2.2.1.1 Freins

Les flux d'énergie susceptibles d'être échangés par des industriels sont de deux types : les fluides vecteurs (vapeur d'eau, gaz chauffés, comprimés ...) et l'électricité. L'eau est quant à elle un flux fondamental dans les divers procédés industriels : production de vapeur, assemblage de bains chimiques, rinçage...

Hormis le cas de l'électricité, ce type de flux ne peut être échangé que sur de courtes distances (quelques kilomètres) : plus la distance entre les deux entreprises croît, plus le coût de l'échange augmente de façon significative : construction des infrastructures et fonctionnement...

Les infrastructures supports de ces échanges sont essentiellement des canalisations et des lignes électriques. Les canalisations transportant des matières dangereuses (liquides ou gaz inflammables...) seront soumises à des contraintes d'exploitation dépendant du fluide transporté : procédures de contrôle, qualité de l'instrumentation de surveillance.

Certains procédés industriels rejettent des flux d'eau qui peuvent être considérés comme des déchets comme par exemple les eaux de lavage et liqueurs mère de la chimie organique. Une telle qualification des flux d'eau ne concerne cependant qu'un faible nombre de procédés si l'on considère la multitude des usages de l'eau dans les diverses installations. Hormis quelques situations

particulières, la réglementation (notamment la réglementation ICPE) encadre donc essentiellement les prélèvements et les rejets de flux d'eau sans leur affecter un statut particulier mais en limitant quantités consommées et polluants rejetés dans le milieu. Lors d'un échange d'eau, les consommations du « fournisseur » ne devront en effet pas dépasser les quantités fixées dans son arrêté d'autorisation ou, s'il est simplement soumis à déclaration ceux fixés globalement pour les entreprises de son secteur.

La construction des différents types de canalisations et d'équipements reste soumise aux règles d'urbanisme. Le Code de l'Urbanisme exige pour certains travaux et constructions un permis de construire, d'autres peuvent en être exonérés, comme par exemple « *lorsqu'ils sont souterrains, les ouvrages ou installations de stockage de gaz ou fluides et les canalisations, lignes ou câbles* ».

Les freins réglementaires à l'échange de flux d'eau ou d'énergie sont ainsi limités et influencent peu la réalisation de ce type de synergies.

2.2.1.2 Leviers

Si l'échange de flux d'eau ou d'énergie est très peu contraint par la réglementation, cette dernière pourrait l'encourager. Sans aller jusqu'à une obligation de valorisation des effluents liquides ou des excédents énergétiques, les procédures encadrant les activités (procédures ICPE) pourraient contraindre les entreprises à chercher de façon systématique toutes les options de valorisation de ces flux dans un rayon donné. Ce type d'information n'existe en effet aujourd'hui quasiment pas. Il est pourtant à la base de la création de toute synergie. En effet, pour créer une synergie, il faut connaître le potentiel de valorisation d'un flux et identifier les débouchés locaux envisageables. Mettre en évidence les solutions potentielles de valorisation des flux d'eau et d'énergie aboutirait à la mise en œuvre de certaines pistes, en particulier celles dont l'intérêt économique est important.

2.2.2 Flux de matières

Les flux de matières susceptibles d'être échangés peuvent être de deux statuts réglementaires différents : déchets et non-déchets. Si le flux de matière n'est pas considéré comme un déchet, il n'est pas soumis à des mesures particulières autres que celles inhérentes à sa composition et son comportement (produit dangereux...). Ce type d'échange n'est considéré par la réglementation que s'il implique, pour une des deux installations, des modifications encadrées par une rubrique supplémentaire de la nomenclature ICPE. Le flux peut par exemple nécessiter quelques modifications (purification...) avant d'être réinjecté dans le procédé « récepteur ».

Si le flux de matière possède le statut de déchet, les répercussions pour les acteurs industriels sont conséquentes.

2.2.2.1 Freins

Réglementation ICPE :

Comme l'illustre la figure suivante, la valorisation d'un déchet venant d'une ICPE implique généralement une transformation du déchet (prétraitement...) chez le producteur de déchets (cas1), chez le valorisateur (cas2), ou à l'interface des deux dans une autre entreprise (cas 3). L'opération d'adaptation du déchet aux besoins du procédé consommant le flux entraîne donc l'existence d'une des rubriques liées au traitement de déchets pour au moins un de ces acteurs : 167 (Traitement de déchets industriels provenant d'ICPE), 322 (Stockage et traitement des ordures ménagères et autres résidus urbains)... Ces rubriques relèvent pour la plupart du régime de l'autorisation. La procédure d'autorisation s'étale sur douze à vingt-quatre mois. Cette durée s'associe à la complexité de la procédure et au niveau élevé de prescriptions techniques, et, si la motivation des industriels n'est pas suffisamment forte, elle peut devenir un facteur rédhibitoire.

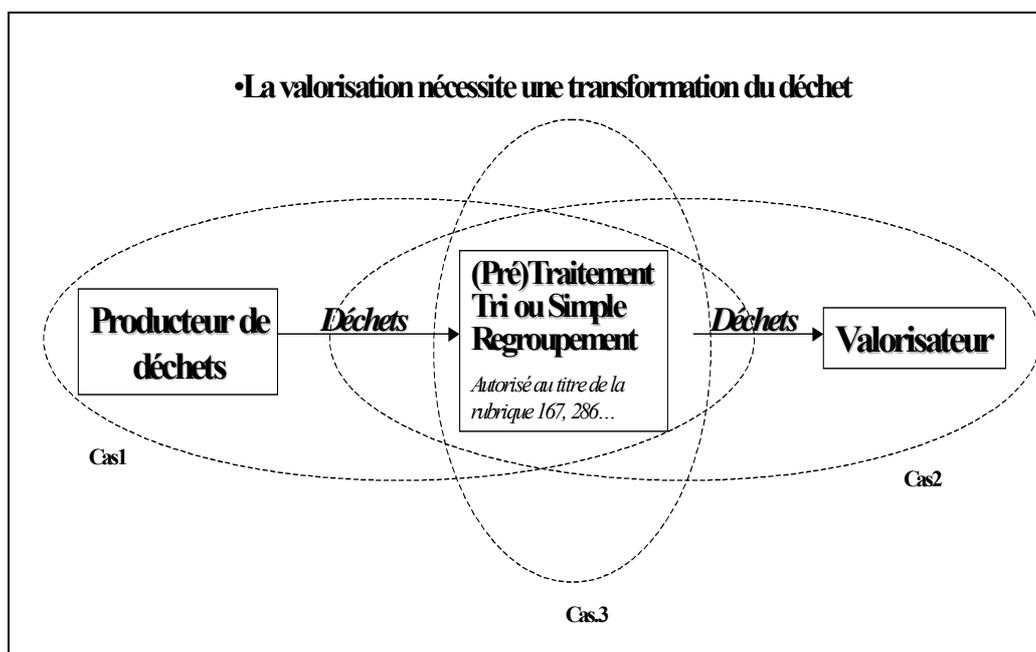


Figure 3 : Valorisation matière et réglementation ICPE

Trois exceptions sont cependant remarquables :

- ❑ Lorsque, dans de rares cas, le flux de déchet n'a à subir strictement aucune transformation avant d'être valorisé, une nouvelle autorisation ne devient pas indispensable. C'est le cas de certaines fines d'aciéries, déchets qui, extrêmement riches en zinc (plus que le minerai de base), peuvent être injectées directement dans le procédé de production sans prétraitement ou modifications techniques.
- ❑ Un déchet est considéré comme inerte lorsqu'il est d'une grande stabilité physico-chimique et sans dangers pour l'environnement (essentiellement des déchets minéraux : béton, tuiles, briques verre...). La réutilisation en remblais n'implique pas de mesures réglementaires particulières. Ce type de déchets a cependant souvent besoin d'être transformé (broyage, concassage...). L'équipement utilisé implique un classement au titre de la rubrique 2515 (broyage, concassage, criblage de produits minéraux). L'installation peut également être considérée comme une aire de transit et de triage de déchets. La jurisprudence à ce sujet est partagée. Elle peut être autorisée au titre de la rubrique 322 ou être considérée hors du champ de la réglementation ICPE et ne pas être encadrée par une rubrique concernant le traitement de déchets.
- ❑ Lorsqu'il s'agit d'une valorisation énergétique et que le déchet possède le statut de biomasse (matière végétale non traitée), l'installation est considérée comme une installation de combustion (rubrique 2910) et non comme une installation d'incinération (rubriques 167 et 322).

Transport :

Hormis dans les cas d'installations adjacentes, les flux de matières échangés doivent en général circuler au-delà des limites des unités productrices et réceptrices. Le transport prend également en compte ce statut particulier de « déchet » et des mesures réglementaires s'ajoutent à celles déjà liées à la spécificité de la matière transportée (dangerosité...). Le transporteur doit en général être déclaré en préfecture, le déchet suivi à l'aide d'un bordereau s'il présente un caractère toxique ou dangereux.

Ainsi l'encadrement réglementaire d'un échange de matière entre deux industriels est étroitement lié au statut du flux.

La réglementation impose donc un certain nombre de freins aux échanges de flux de matières. En effet, face à ces contraintes, les avantages économiques que des industriels pourraient tirer d'un échange de déchets restent en général limités. Les motivations des entrepreneurs à concrétiser une piste de synergie matière sont donc souvent fragiles et à comparer avec les risques induits :

- ❑ Un risque social existe pour les entrepreneurs identifiés par la réglementation ICPE comme des « traiteurs de déchets » : ce statut peut entraîner des tensions avec les populations locales susceptibles de menacer à terme la pérennité de l'implantation.
- ❑ Ensuite la révision de l'arrêté préfectoral lié à une nouvelle autorisation peut représenter dans l'esprit de certains entrepreneurs une prise de risques financiers liés à des investissements non identifiés ou non planifiés mais rendus obligatoires par, entre autres, de nouvelles contraintes réglementaires qui seraient imposées par l'autorité de contrôle à l'issue du processus : mises en conformité non prévue....
- ❑ Enfin, la procédure d'autorisation s'étale sur douze à vingt-quatre mois. Cette durée s'associe à la complexité de la procédure (enquête publique, étude d'impact...) et au niveau élevé de prescriptions techniques. Elle peut devenir un facteur réhibitoire si la motivation des industriels n'est pas suffisamment forte.

2.2.3 Leviers

Le contexte réglementaire a ainsi un impact fort sur les échanges de matières que pourraient envisager des industriels français. Que la valorisation soit énergétique ou matière, le statut de déchet entraîne les entrepreneurs dans un « engrenage » réglementaire qui peut les effrayer .

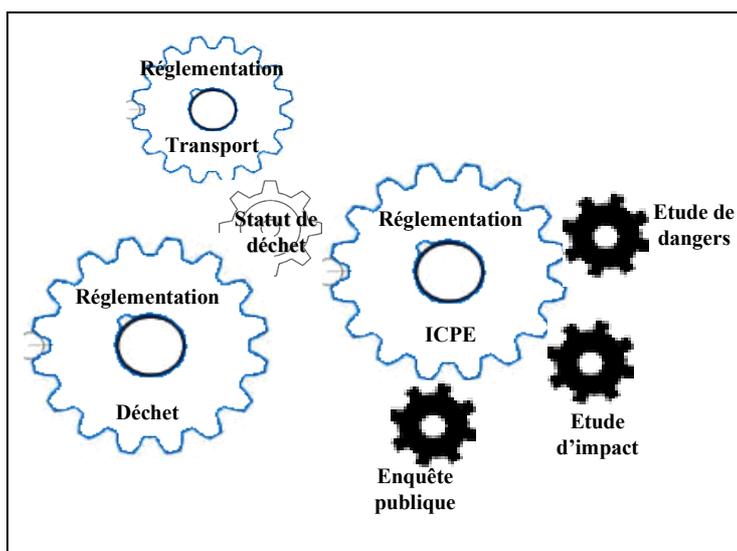


Figure 4 : Le statut de déchet et l'engrenage réglementaire

Le fragile intérêt économique des échanges entre alors en compétition avec l'application de procédures administratives conséquentes. Le législateur possède donc un levier important pour le développement des solutions que propose l'écologie industrielle. Deux niveaux d'action se dessinent :

- ❑ Le premier, sur le long terme, consiste à travailler sur la première pièce de l'engrenage réglementaire : le statut de déchet. Une définition plus précise et qui exclurait par exemple les matières valorisées sans compromettre la protection des personnes et de l'environnement éviterait ainsi aux industriels tout un ensemble de contraintes dissuasives. Une telle option implique une modification profonde de la politique environnementale communautaire. Cette modification devra prendre en compte le problème posé par la souvent faible valeur économique des sous-produits qui ne permet pas de garantir un transport et un usage sécurisés. L'idée d'une méthodologie permettant de distinguer les déchets des « non-déchets » est déjà fouillée et fait l'objet d'un lobbying soutenu de la part de l'UNICE (Union des Confédérations de l'Industrie et des Employeurs

d'Europe). L'approche proposée s'appuie sur la conformité de la matière à un cahier des charges précis (existence de standards techniques, d'un marché). La révision de la directive de 75 qui s'est achevée en 2006 n'a pas modifié la définition, mais l'interprétation proposée par la commission propose dans certains cas des éléments méthodologiques de ce type pour distinguer le déchet du non-déchet.

- Le deuxième niveau d'action consiste à concevoir un « nouvel engrenage réglementaire » pour les opérations de valorisation, sans toucher au statut de déchet. Il serait par exemple possible d'adapter les procédures aux risques réellement liés à la valorisation d'un type de déchet. Ce type de solution est déjà expérimenté en Belgique. Soucieuse de développer la valorisation, la Wallonie a tenté d'introduire, mais sans succès, un statut intermédiaire entre produits et déchets. Un deuxième texte simplifiant les démarches administratives et allégeant leur poids a donc vu le jour. L'autorisation autrefois nécessaire est remplacée, pour la valorisation de certains déchets, par un simple enregistrement. De même, l'Italie a obtenu l'aval de la Commission Européenne concernant un décret exonérant les valorisateurs de certains déchets dangereux d'une autorisation. Une déclaration auprès de l'autorité compétente suffira. Ce type d'aménagement, envisageable à moyen terme, serait bénéfique pour le développement des solutions proposées par l'écologie industrielle.

2.3 Mécanismes en jeu

2.3.1.1 Bouclage de flux de matières et économie de fonctionnalité

Le statut de la matière influe donc directement sur la démarche administrative à suivre par les industriels souhaitant échanger ce type de flux.

Si une action sur la teneur de la démarche administrative peut être mise en œuvre au niveau national, toute action sur le statut de déchet aura lieu au niveau communautaire.

La définition du déchet est internationalement identifiée comme un point crucial pour la mise en œuvre des principes de l'écologie industrielle. Elle est en Europe et en France le point d'entrée dans un « engrenage réglementaire » complexe encadrant le circuit du déchet de sa production à son traitement et qui peut s'accompagner de procédures complexes liées notamment à une nouvelle autorisation ICPE...

Le déchet est défini au niveau européen ainsi qu'au niveau français. La *directive 75/442/CEE du 15 juillet 1975* définit le déchet comme : « *Toute substance ou tout objet qui relève des catégories figurant à l'annexe I, dont le détenteur se défait ou a obligation de se défaire.* »

La définition française du déchet est donnée dans l'article L-541-1 du Code de l'Environnement : « *Est un déchet au sens du présent chapitre tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon.* »

Ces définitions introduisent un critère de subjectivité fort lié aux termes « se défait » ou à la notion « d'abandon ». Elles permettent ainsi aux juridictions européenne et nationale de qualifier de déchets tout ce qui n'est pas l'objectif premier de la production (l'essentiel des flux sortants de l'industrie même si la matière est valorisée ou qu'elle possède une valeur économique). Grâce à une définition très large de la notion de déchet, l'idée est de responsabiliser les acteurs afin de garantir la protection des personnes et de l'environnement, notamment en cas de carence sur déchet abandonné.

Si un statut de déchet « dangereux » existe, le simple statut de déchet n'implique toutefois pas une dangerosité du flux vis à vis des personnes ou de l'environnement (exemple : une boîte de conserve en acier, des gravats...).

Même s'ils sont techniquement des sous-produits d'un procédé, des exceptions historiques échappent cependant à ce statut dans notre pays. Un résidu de distillation n'est par exemple pas considéré comme un déchet s'il possède des caractéristiques physiques particulières (viscosité...) d'un fioul n°2 et s'il est commercialisé. Des déchets organiques peuvent également être homologués comme fertilisants s'ils remplissent un certain nombre de contraintes. Ils deviennent ainsi des produits.

Des Etats (Allemagne, 1995 ; Belgique, 1999) désireux de favoriser la valorisation en créant un statut intermédiaire pour la matière valorisée ont essayé d'aller plus loin en s'appuyant sur la subjectivité de

la définition. Leur position n'a cependant pas eu le succès escompté auprès des instances Européennes.

En ce qui concerne l'économie de fonctionnalité, l'organisation au niveau communautaire des filières dédiées pour certains déchets pourrait permettre de la développer dans ces secteurs d'activités dynamiques et tournés vers la grande consommation. Ce type d'action ne peut relever que de l'échelle communautaire tant il pourrait modifier les stratégies industrielles des acteurs concernés.

2.3.1.2 Bouclage de flux d'eau et d'énergie

Si peu de freins existent au développement des synergies eau et énergie, des leviers peuvent permettre de les développer. Une action simple au niveau de la réglementation ICPE permettrait par exemple d'identifier systématiquement les possibilités de synergie pour chaque activité soumise à cette réglementation.

2.3.1.3 Mécanismes en jeu

Les mécanismes en jeu dans cette partie consacrée aux interactions entre les projets d'écologie industrielle sont ainsi de deux niveaux :

- ❑ Le niveau du droit communautaire, pour la définition du déchet et du cadre législatif et réglementaire qui doit encadrer son traitement et qui définit également les contraintes liées à certaines filières de produits et de déchets.
- ❑ Le niveau de la réglementation nationale qui définit à travers la réglementation ICPE les conditions techniques et administratives de fonctionnement des activités d'un site industriel. Ces activités pouvant comprendre la valorisation de flux d'eau, de matières ou d'énergie.

3 Freins et leviers fiscaux

Comme l'illustre la figure 2, le signal économique occupe une place importante dans la concrétisation d'un échange de flux.

Il en va de même pour l'économie de fonctionnalité : l'industriel et le consommateur final seront sensibles aux coûts évités ou supplémentaires liés à ce nouveau type de modèle entrepreneurial.

La fiscalité est donc potentiellement un outil susceptible de concourir au développement de ces solutions en agissant directement sur le signal économique. Elle se positionne donc a priori comme un levier.

3.1 Freins

Seule la taxe professionnelle qui se calcule en partie sur les immobilisations de l'entreprise peut pénaliser a priori la mise en œuvre de synergies demandant des modifications de procédés ou de nouveaux matériels. Elle peut aussi impacter le passage à une économie de fonctionnalité. En effet, la nature de l'activité change considérablement par rapport à une approche produit classique, l'industriel peut par exemple devenir propriétaire du produit à différents moments de son cycle de vie ou encore avoir besoin de nombreuses chaînes de démantèlement et de refabrication. Ce type d'immobilisation a un impact sur le coût de la taxe professionnelle.

3.2 Leviers

Taxes fiscales, parafiscales redevances et autres impôts constituent un arsenal important. Il existe en outre des instruments déjà focalisés sur les activités ayant un impact sur l'environnement : la TGAP, taxe générale sur les activités polluantes.

Elle concerne toutefois un faible nombre d'activités en fonction de leur nature (installations de combustion ou d'incinération...) ou de l'utilisation de certains types de flux (solvants, oxyde d'azote...). Le décret du 17 juin 1999 oblige en outre certaines installations à tenir un registre très précis sur leurs entrants (incinération).

Partant de ces principes, ce type de taxe pourrait élargir son champ d'action. Elle inciterait ainsi un plus large panel d'industriels à consommer moins d'eau, d'énergie et de matières premières neuves. Une première étape serait de les obliger à faire leur bilan de flux entrants et sortants, en distinguant matières, eau et combustibles « neufs » des déchets et sous-produits puis, sur cette base, de calculer la taxe. Plus l'entreprise serait économe en flux neufs par rapport à son volume d'activités, plus la taxe diminuerait. En distinguant les usages matière et énergétique, trois indicateurs simples pourraient permettre de la calculer :

- ❑ Masse de matières secondaires / masse totale de matière consommée
- ❑ Energie renouvelable, issue de combustibles alternatifs et récupérée/ énergie totale consommée
- ❑ Masse de déchets et d'effluents valorisés/ masse totale des déchets et effluents

Une taxe spécifique et suffisamment dissuasive sur l'élimination des déchets pourrait également inciter les industriels à chercher des exutoires différents.

Suite aux Grenelles de l'environnement de l'automne 2007, une taxe carbone pourrait voir le jour en 2008. Elle utiliserait comme indicateur le taux d'équivalent carbone lié à l'utilisation d'un produit. Elle se focaliserait donc sur les produits et non plus sur l'activité et utiliserait un type particulier d'indicateur : la contribution au réchauffement climatique.

Le recours à ce type de dispositifs présente toutefois certains risques et sont à manier avec précaution (baisse de compétitivité des entreprises par rapport aux entreprises produisant à l'étranger...).

Le recours à une TVA modérée pour des produits et services écologiques peut également doper le développement de l'économie de fonctionnalité en rendant cette formule compétitive vis à vis du grand public. Ce type de proposition a également été étudié lors des Grenelles de l'environnement.

3.3 Mécanismes en jeu

Les mécanismes en jeu derrière le recours à l'outil fiscal sont à observer sur deux plans : le plan macro-économique et le plan institutionnel.

Le recours à la fiscalité possède un impact direct sur la compétitivité d'une économie et son maniement doit être accompagné de mesures permettant aux acteurs d'évoluer dans le sens désiré.

Sur le plan institutionnel, les états-membres disposent d'une relative liberté dans leur fiscalité à condition que leur politique budgétaire globale leur permette de respecter le pacte de stabilité (déficit et dette publique <3% et à 60% du PIB). Les leviers envisageables pourraient donc être actionnés si le dispositif global (taxe+accompagnement) s'inscrit dans le respect de ce pacte.

Une action sur la TVA pourrait toutefois poser un problème institutionnel car si elle était entreprise de façon isolée par un état-membre, elle irait à l'encontre de la politique d'uniformisation des taux de TVA qui est menée par l'Europe depuis des années. Le recours au levier TVA devrait donc être formalisé non plus au niveau national mais au niveau communautaire.

4 Conclusions

Les applications proposées par l'écologie industrielle sous la forme de synergies entre acteurs économiques ou de mutation vers l'économie de fonctionnalité sont donc en prise, entre autres, avec des mécanismes fiscaux et réglementaires. Des freins existent (définition du déchet, procédure ICPE...) mais des leviers aussi (taxe sur les consommations et rejets d'eau de matière et d'énergie, simplification de certaines procédures...).

L'étude menée dans ce document dans le cadre de l'ARPEGE permet de mettre en évidence une des caractéristiques principales de la R&D en écologie industrielle : les concepts supports du domaine sont relativement clairs. L'écologie industrielle permet grâce à eux de répondre à un certain nombre d'enjeux, mais les solutions concrètes qu'elle propose sont confrontées à un certain nombre de freins et peuvent être encouragées par l'action sur certains leviers.

Le type d'applications proposées est en outre confronté à une grande diversité de situations et à de très nombreuses interactions. Il est donc confronté à de nombreux freins et leviers (comportement des acteurs, facteurs économiques, institutionnels, administratifs...). Au delà des simples questions réglementaires et fiscales et de façon très opérationnelle, un effort particulier de recherche semble devoir être porté, à l'avenir, sur ces questions qui se posent, en aval, lors des phases de mise en œuvre.

5 Bibliographie

[ADOUE04] ADOUE C., FORGUES C., LECOINTE C., *Développement des solutions d'écologie industrielle et réglementation : freins et leviers*, Déchets Sciences & Techniques, N° 33, 2004.

[ARDEN94] PREFECTURE DES ARDENNES. *Arrêté N° 4292 du 02/06/1994 concernant les activités exercées par la société Collignon en son établissement sis au lieudit « La Carbonnière » à Deville.*

[ARDEN94-a] PREFECTURE DES ARDENNES. *Arrêté N° 4293 du 02/06/1994 concernant les activités exercées par la société Collignon en son établissement sis au lieudit « St Eloi » à Deville.*

[BORDE86] TRIBUNAL ADMINISTRATIF DE BORDEAUX, Lettre en audience publique du 02/10/1986 dans les affaires 1173/85 et 1638/85, Société Sepanso.

[BOUIL02] BOUILLON R., *Transfert de déchets : l'UE cherche ses marques*, Environnement Magazine, N°1608, juin 2002, p31.

[CARLO04] CARLOT JF., *Explosion de la Mède, 9 novembre 1992*, [en ligne] sur <http://www.jurisques.com/jfcmede.htm> , consulté le 17/07/2004.

[CCE75] CONSEIL DES COMMUNAUTES EUROPEENNES, *Directive 75/442/CEE relative aux déchets* . Journal Officiel des Communautés Européennes, 25/07/1975, p.0039-0041.

[CCE76] CONSEIL DES COMMUNAUTES EUROPEENNES, *Directive du conseil no 76/464/CEE du 4 mai 1976 concernant la pollution causée par certaines substances dangereuses déversées dans le milieu aquatique de la Communauté*. Journal Officiel des Communautés Européennes. 18/05/1976.

[CCE91] CONSEIL DES COMMUNAUTES EUROPEENNES, *Directive 91/156/CEE modifiant la directive 75/442/CEE*. Journal Officiel des Communautés Européennes. 26/03/1991, p.0032 – 0037.

[CCE93] CONSEIL DES COMMUNAUTES EUROPEENNES, *Règlement n°259/93 concernant la surveillance et le contrôle des transferts de déchets à l'entrée et à la sortie de la Communauté Européenne*. Journal Officiel des Communautés Européennes, 06/02/1993, p.0001 – 0028.

[CCE96] CONSEIL DES COMMUNAUTES EUROPEENNES, *Directive 96/61/CE relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution*. Journal Officiel des Communautés Européennes. 10/10/1996.

[CCE97] CONSEIL DES COMMUNAUTES EUROPEENNES, *Règlement n°120/97 modifiant le règlement n°259/93*. Journal Officiel des Communautés Européennes, 24/01/1997, p. 0014 – 0015.

[CCE99] CONSEIL DES COMMUNAUTES EUROPEENNES, *Directive du Conseil no 1999/31/CE du 26 avril 1999 concernant la mise en décharge des déchets*. Journal Officiel des Communautés Européennes, 16/07/1999.

[CCE00] COMMISSION DES COMMUNAUTES EUROPEENNES, *Directive du conseil n° 2000/53/CE du 18 septembre 2000 relative aux véhicules hors d'usage*, Journal Officiel des Communautés Européennes, 21/10/2000.

[CCE00 -a] COMMISSION DES COMMUNAUTES EUROPEENNES, *Décision 2000/532/CE établissant une liste de déchets en application de l'article 1er de la directive 75/442*. Journal Officiel des Communautés Européenne, 06/09/2000.

[CCE01] CONSEIL DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES, *Directive 2001/80/CE relative à la promotion de l'électricité produite à partir de sources d'énergies renouvelables sur le marché intérieur de l'électricité*. Journal Officiel des Communautés Européenne, 27/10/2001.

[CCE01-a] CONSEIL DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES, *Directive 2001/77/CE relative à la limitation des émissions de certains polluants dans l'atmosphère en provenance des grandes installations de combustion*. Journal Officiel des Communautés Européenne, 27/11/2001.

[CCE02] COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES, *Décision de la Commission du 13/11/02 relative aux règles italiennes concernant la dispense de l'autorisation imposée aux entreprises et établissements qui valorisent des déchets dangereux en vertu de l'article 3 de la directive 91/689/00 sur les déchets dangereux*. Journal Officiel des Communautés Européenne, 19/11/2002.

[CCE03] COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES, *Communication de la Commission : vers une stratégie thématique pour la prévention et le recyclage des déchets*, 14/04/03.

[CCE06] CONSEIL DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES, *Directive 2006/12/CE relative aux déchets*, Journal Officiel des Communautés Européenne, 27/04/2006.

[CCE07] COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES, *Communication de la Commission relative à la communication interprétative sur la notion de déchets et de sous-produits*, 21/02/07

[CE01] CONSEIL D'ÉTAT, *Lecture du 23 /05/2001*, affaire no 201938.

[CJCE90] COUR DE JUSTICE DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES, *Arrêt de la cour du 28/03/1990 : questions de la Pretura di SanVito al Tagliamento relatives à l'interprétation de la directive 75/442 (C-359/88)*. Journal Officiel des Communautés Européenne.

[CJCE99] COUR DE JUSTICE DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES, *Arrêt de la cour : Affaire C232/97 (1997/ C232/97)*. Journal Officiel des Communautés Européennes.

[CJCE00] COUR DE JUSTICE DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES, *Demande de décision préjudicielle présentée par ordonnance de la Korkein hallinto-oikos rendue le 31 décembre 1999 dans l'affaire Palin Granit Oy et Vehmassalon kansanterveystyon kuntaryhman hallitus (2000/C102/16)*. Journal Officiel des Communautés Européennes, 08/04/2000.

[CJCE83] COURS DE JUSTICE DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES, *Arrêt du 13/05/83*. Journal Officiel des Communautés Européenne.

[CJCE95] COUR DE JUSTICE DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES, *Arrêt du 10/05/95 dans l'affaire C422-92 Commission des Communautés européennes c/ République fédérale d'Allemagne*. Journal Officiel des Communautés Européenne.

[CJCE97] COUR DE JUSTICE DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES, *Arrêt de la cour du 18/12/1997 : questions relatives à l'interprétation de la directive 75/442 (C-129/96)*. Journal Officiel des Communautés Européenne.

[CJCE97-a] COUR DE JUSTICE DES COMMUNAUTES EUROPEENNES, *Arrêt de la cour du 25/06/1997 : questions relatives à l'interprétation de la directive 91/156 modifiant la directive 75/442 (C-304/94, C-330/94, C-342/94, C-224/95)*. Journal Officiel des Communautés Européenne.

[CJCE00-a] COUR DE JUSTICE DES COMMUNAUTES EUROPEENNES, Arrêt de la cours du 15/06/2000, affaires jointes C-418/97 et nos C-419/97.

[CJCE02-a] COUR DE JUSTICE DES COMMUNAUTES EUROPEENNES, Arrêt de la cour du 18/06/2002 : *Palin Granit Oy contre Vehmassalon kansanterveystyon kuntaryhman hallitus*, affaire C9/00. Journal Officiel des Communautés Européennes.

[CPEN02] *Code Permanent Environnement et Nuisances*, **[CD-ROM]**, Paris : Editions Législatives, N°39, Mars 2002.

[DURET04] DURET B., *Pratiques internationales d'écologie industrielle : retour d'expérience*, Rapport de projet d'étude, EDF R&D, CREIDD, ICAST et Auxilia, 05/2004.

[FABER00] FABER C., *Déchets, définition au cas par cas*. Environnement Magazine, N°1592, novembre 2000, p51.

[GIRAR01] GIRARD A., *Le fioul n'est pas un déchet*, Ouest-France, 07/12/2001, **[en ligne]**, disponible sur www.france-ouest.com (consulté le 10.09.2002).

[GWALL99] GOUVERNEMENT WALLON, *Arrêté du Gouvernement Wallon établissant une liste de matières assimilables à des produits*. Le Moniteur Belge, 10 /06/1999.

[GWALL01] GOUVERNEMENT WALLON, *Arrêté du Gouvernement Wallon favorisant la valorisation de certains déchets*. Le Moniteur Belge. 10/07/2001.

[LAMY99] LAMY, *Les déchets, Etude 138 : les déchets animaux*. LAMY Environnement, 01/1999.

[LAMY02] LAMY, *Des débris de pierre sont ils des déchets ?* La lettre LAMY de l'environnement, N°195, 04/07/2002.

[LILLE95] TRIBUNAL ADMINISTRATIF DE LILLE, *Lecture du 07/08/1995 dans l'affaire 94-640, Tassart*.

[LOWE98] LOWE E., MORAN S., HOLMES D., *Eco-Industrial Parks : a handbook for local development team*, Indigo Development, Oakland, 1998.

[LOWE01] LOWE E.A., *Eco-Industrial Handbook for Asian Developing Countries [en ligne]*, USA, 2001. Disponible sur www.indigodev.com (consulté le 08/07/2002).

[MEDEF99] MEDEF, *Déchet ou non-déchet ?* Guide méthodologique, MEDEF, Paris, Avril 1999.

[NANCY02] COURS ADMINISTRATIVE D'APPEL DE NANCY. 7/03/2002.

[PARIS95] COURS ADMINISTRATIVE D'APPEL DE PARIS, *Affaires 94PA00306 et 94PA00355, cne de Groslay c/ Association «Mieux vivre à Groslay»*, 19/01/1995.

[PHGAR97] PREFECTURE DE HAUTE GARONNE. Arrêté N°011 du 20/01/1997 concernant les activités exercées par la société Pyrenecell en son établissement sis à St Gaudens.

[RF75] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Arrêté du 20 juin 1975 relatif à l'équipement et à l'exploitation des installations thermiques en vue de réduire la pollution atmosphérique et d'économiser l'énergie.* Journal Officiel de la République Française, 31/07/1975.

[RF77-a] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Décret N° 77-1133 pris pour l'application de la loi N°76-663 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement.* Journal Officiel de la République Française, 08/10/1977.

[RF76] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Loi 76-663 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement.* Journal Officiel de la République Française, 20/07/1976.

[RF77] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Décret no 77-1141 du 12 octobre 1977 pris pour l'application de l'article 2 de la loi no 76-629 du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature.* Journal Officiel de la République Française, 13/10/1977.

[RF77-b] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Décret N° 77-974 relatif aux informations à fournir au sujet des déchets générateurs de nuisances.* Journal Officiel de la République Française, 28/08/1977.

[RF77-c] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Décret N° 77-752 du 7 Juillet 1977.* Journal Officiel de la République Française.

[RF80] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Circulaire du 26/06/1980 relative à la collecte, l'élimination et la valorisation des déchets industriels.* Journal Officiel de la République Française.

[RF80-a] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Loi N° 80-531, du 15 juillet 1980 relative aux économies d'énergie et à l'utilisation de la chaleur.* Journal Officiel de la République Française, 16/07/1980.

[RF83] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Arrêté du 31/05/1983 fixant les règles techniques auxquelles doivent satisfaire, au titre de la protection de l'environnement, les établissements travaillant du lait et ses dérivés.* Journal Officiel de la République Française, 04/10/1983.

[RF85] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Circulaire DPP/SEI N°4311 du 30/08/1985 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement. Installations de transit, regroupement et prétraitement de déchets industriels.* Journal Officiel de la République Française, 17/12/1985.

[RF85-a] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Arrêté du 04 janvier 1985 relatif au contrôle des circuits d'élimination de déchets générateurs de nuisances.* Journal Officiel de la République Française, 16/02/1985.

[RF86] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Code de l'Urbanisme, Article L421.1 (Loi 86-13).* Journal Officiel de la République Française.

[RF86-a] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Code de l'Urbanisme, Article R421.1 (Décret 86-72 du 15/01/1986).* Journal Officiel de la République Française.

[RF86-b] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Code de l'Urbanisme, Article R422.3 (Décret 86.514 du 14/03/86).* Journal Officiel de la République Française .

[RF90] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Arrêté du 27 juin 1990 relatif à la limitation des rejets atmosphériques des grandes installations de combustion et aux conditions d'évacuation des rejets des installations de combustions*. Journal Officiel de la République Française, 19/08/1990.

[RF93] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Arrêté du 14/05/1993 relatif à l'industrie du verre*. Journal Officiel de la République Française, 08/07/1993.

[RF94] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Arrêté du 20 avril 1994 relatif à la déclaration, la classification, l'emballage et l'étiquetage des substances*. Journal Officiel de la République Française, 08/05/1994.

[RF94-a] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Arrêté du 06/01/1994 relatif à l'industrie papetière*. Journal Officiel de la République Française, 25/05/1994.

[RF95] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Arrêté du 19 décembre 1995 relatif à la lutte contre les émissions de composés organiques volatils résultant de la distribution de l'essence des terminaux aux stations-service*. Journal Officiel de la République Française, 31/12/1995.

[RF95-a] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Circulaire DPPR/SEI N°95-251 du 10/05/1995 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement. Réglementation des installations mobiles*. Journal Officiel de la République Française.

[RF95-b] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Arrêté 21 mars 1995 Réglementant le transport des marchandises dangereuses par la liaison fixe trans-Manche*. Journal Officiel de la République Française, 20/04/1995.

[RF96] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Arrêté du 5 décembre 1996 relatif au transport des marchandises dangereuses par route (dit « arrêté ADR »)*. Journal Officiel de la République Française, 27/12/1996.

[RF96-a] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Décret N° 96-1009 relatif aux plans d'élimination des déchets industriels spéciaux*. Journal Officiel de la République Française.

[RF98] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Décret N° 98-679 relatif au transport par route, au négoce et au courtage de déchets*. Journal Officiel de la République Française, 06/08/1998.

[RF97] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Arrêté du 25/07/97 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement soumises à déclaration sous la rubrique 2910b*. Journal Officiel de la République Française, 27/09/1997.

[RF98-a] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Arrêté du 12 mars 1998 relatif au transport des marchandises dangereuses par voies de navigation intérieure (dit « arrêté ADNR »)*. Journal Officiel de la République Française, 05/04/1998.

[RF98-b] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Arrêté du 02/02/1998 relatif au prélèvement et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation*. Journal Officiel de la République Française, 02/03/1998.

[RF99-a] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Décret no 99-1046 du 13 décembre 1999 relatif aux équipements sous pression*. Journal Officiel de la République Française, 15/12/1999.

[RF99-b] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Décret no 99-508 du 17 juin 1999 relatif à la taxe générale sur les activités polluantes*. Journal Officiel de la République Française, 20/06/1999.

[RF98-c] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Titre IV du livre V du Code de l'Environnement, relatif aux déchets*. Journal Officiel de la République Française.

[RF99] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Arrêté du 28 janvier 1999 relatif aux conditions de ramassage des huiles usagées*. Journal Officiel de la République Française, 24/02/1999.

[RF00-a] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Arrêté du 02/04/2000 relatif à l'industrie papetière*. Journal Officiel de la République Française, 17/06/2000, p9143.

[RF00-b] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Chapitre VI du Code Rural relatif à l'équarrissage*. Journal Officiel de la République Française.

[RF00-c] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Ordonnance N°2000-914 relative à la partie législative du Code de l'Environnement*. Journal Officiel de la République Française, 21/09/2000.

[RF01] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Circulaire du 25/09/2001 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement – procédure d'instruction des demandes d'autorisation*. Non parue au Journal Officiel de la République Française.

[RF01-b] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Arrêté du 01/06/2001 relatif au transport des marchandises dangereuses par route (arrêté ADR)*. Journal Officiel de la République Française, 30/06/2001.

[RF01-c] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Arrêté du 05/06/01 relatif au transport des marchandises dangereuses par chemin de fer (arrêté RID)*. Journal Officiel de la République Française, 11/07/2001.

[RF02-a] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Décret N° 2002-540 relatif à la classification des déchets*. Journal Officiel de la République Française, 20/04/2002, pp.7074 – 7088.

[RF02-b] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets non dangereux et aux installations incinérant des déchets d'activités de soins à risques infectieux*. Journal Officiel de la République Française, 01/12/2002.

[RF02-c] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets dangereux*. Journal Officiel de la République Française, 01/12/2002.

[RF02-d] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Arrêté du 5 décembre 2002 relatif au transport des marchandises dangereuses par voie de navigation intérieure (arrêté ADNR)*. Journal Officiel de la République Française, 27/12/2002.

[RF03] REPUBLIQUE FRANCAISE, *Arrêté du 30 juillet 2003 relatif aux chaudières présentes dans des installations existantes de combustion d'une puissance supérieure à 20 MWth*. Journal Officiel de la République Française, 06/11/2003.

[ROUEN95] TRIBUNAL ADMINISTRATIF DE ROUEN, *Jugement dans l'affaire N°93865*, 17/07/1995.

[RIFFA02] RIFFAUD O., *Quel classement pour mieux traiter le déchets industriels*, L'usine nouvelle, 14/03/2002.

[STEIC01] STEICHEN P., *Etre ou ne pas être un déchet*, Droit de l'Environnement, N°91, septembre 2001, pp 213-217.

[STNAZ00] TRIBUNAL DE COMMERCE DE SAINT NAZAIRE, Jugement no A0-408 du 06/12/00, Commune de Mesquer c/ Total raffinage distribution et Total international. 2000.

6

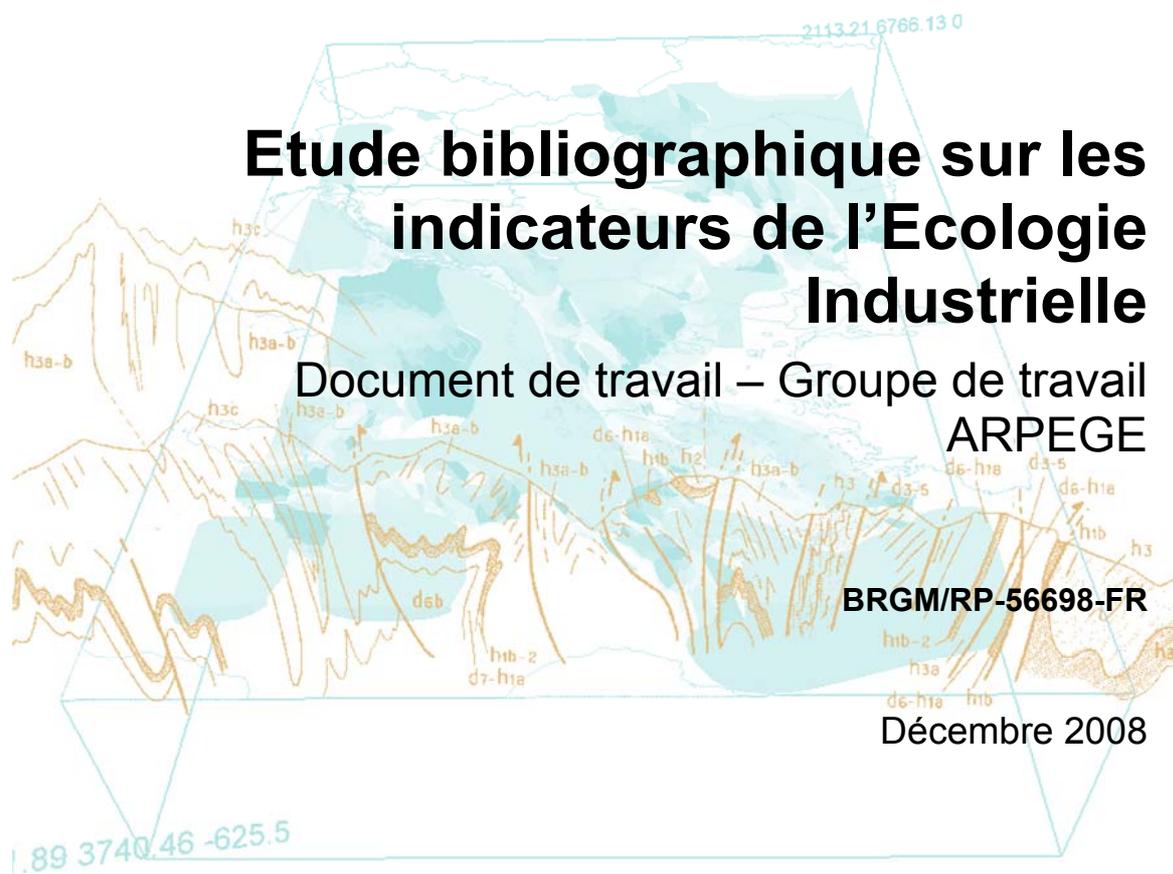
¶ **Tribunal de commerce de St-Nazaire, 2000.** Jugement du 6/12/2000 : le produit transporté par le pétrolier Erika n'était pas un déchet mais « *un composé clairement caractérisé et répondant à des besoins précis de consommation* ». Il répondait aux spécifications d'un fioul lourd (spécifications essentiellement de nature physique : viscosité, PCI...) commercialisable en tant que combustible.

Annexe 6 :

Etude bibliographique sur les indicateurs

de l'Ecologie Industrielle

Document public



Etude bibliographique sur les indicateurs de l'Ecologie Industrielle

Document de travail – Groupe de travail ARPEGE

BRGM/RP-56698-FR

Décembre 2008



Etude bibliographique sur les indicateurs de l'Ecologie Industrielle

Rapport final

Décembre 2008

Étude réalisée dans le cadre de l'atelier D du groupe de travail
ARPEGE

BRGM/RP-56698-FR

C. Merly

Vérificateur :

Nom : D. GUYONNET

Date : 6/01/09

Signature :

Approbateur :

Nom : H. GABORIAU

Date : 6/01/09

Signature :

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique, l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.

Mots clés : Ecologie Industrielle, Indicateurs, Développement Durable, Arpège, Eco-efficacité

En bibliographie, ce document sera cité de la façon suivante : C. MERLY (2008) - Etude bibliographique sur les indicateurs de l'écologie industrielle - Étude réalisée dans le cadre de l'atelier D du groupe de travail ARPEGE – BRGM-/RP-56698-FR - Rapport final. 63 p.

Sommaire

| | |
|---|-----------|
| Synthèse | 7 |
| 1. Introduction | 11 |
| 1.1. CONTEXTE | 11 |
| 1.2. CARACTERISTIQUES ET ROLES DES INDICATEURS..... | 12 |
| 1.3. LES GRANDS PRINCIPES DE L'ECOLOGIE INDUSTRIELLE | 14 |
| 2. Indicateurs de l'écologie industrielle..... | 17 |
| 2.1. LES INDICATEURS EXISTANTS..... | 17 |
| 2.1.1. Les indicateurs relatifs aux flux de matières..... | 17 |
| 2.1.2. Les indicateurs définis selon une approche thermodynamique..... | 19 |
| 2.1.3. Les indicateurs de coopération industrielle | 22 |
| 2.1.4. Les indicateurs définis selon une approche systémique | 22 |
| 2.2. FACTEURS DETERMINANTS ET PARAMETRES CLEFS DE L'EI | 32 |
| 2.2.1. Les critères de succès de la symbiose industrielle de Kalundborg | 32 |
| 2.2.2. L'Ecodesign, le Regional Flow Diagram et Resources Utilization Map | 32 |
| 2.2.3. Les facteurs de réussite et d'échec des parcs éco-industriels | 34 |
| 2.2.4. Les causes de succès du réseau NISP | 35 |
| 2.3. CONCLUSIONS..... | 36 |
| 3. Indicateurs d'éco-efficacité | 39 |
| 3.1. DEFINITION DE L'ECO-EFFICACITE ET SES INDICATEURS..... | 39 |
| 3.1.1. Définition de l'éco-efficacité..... | 39 |
| 3.1.2. Indicateurs et contexte d'application | 40 |
| 3.2. APPLICATION DE L'ECO-EFFICACITE DANS LE DOMAINE DE L'ECOLOGIE INDUSTRIELLE | 42 |
| 3.2.1. La prise en compte de l'éco-efficacité dans l'EI | 42 |
| 3.2.2. Les limites de l'éco-efficacité dans le domaine de l'EI | 43 |
| 4. Indicateurs de développement durable | 45 |
| 4.1. CADRE CONCEPTUEL DES INDICATEURS DU DEVELOPPEMENT DURABLE..... | 45 |

| | |
|---|-----------|
| 4.1.1. Cadres conceptuels et indicateurs des structures internationales | 45 |
| 4.1.2. Système intégré de compatibilité environnementale économique - SEEA46 | |
| 4.1.3. Cadre conceptuel et indicateurs du développement durable définis par la France | 47 |
| 4.1.4. Méthodologies et indicateurs du développement durable développés pour la mesure de performance écologique à l'échelle d'une ville ou d'un territoire | 49 |
| 4.1.5. Approche participative de la détermination des indicateurs de développement durable à l'échelle d'une mine | 50 |
| 4.2. LES INDICATEURS SOCIAUX | 51 |
| 4.2.1. Cadre conceptuel et indicateurs sociaux du développement durable | 52 |
| 4.2.2. Indicateurs de « Qualité de vie » selon l'approche Londonienne..... | 54 |
| 4.3. LES INDICATEURS GLOBAUX..... | 55 |
| 4.3.1. Capacité de charge "Carrying capacity" | 55 |
| 4.4. LA PRISE EN COMPTE DU DEVELOPPEMENT DURABLE DANS L'EI..... | 56 |
| 4.5. CONCLUSIONS | 58 |
| 5. Références | 59 |

Synthèse

L'étude bibliographique sur les indicateurs de l'Ecologie Industrielle (EI) présentée dans ce rapport a été réalisée dans le cadre du sous-atelier D de l'Atelier de Réflexion en Ecologie Industriel (ARPEGE): « Prise en compte des aspects sociaux, économiques et environnementaux » qui a pour but de :

- comprendre les enjeux liés à l'évaluation et la mesure de la performance de l'EI,
- définir la typologie d'un système d'évaluation adapté aux objectifs de l'EI,
- identifier l'articulation d'un système d'évaluation dédié à l'EI en référence aux systèmes dédiés aux approches d'éco-efficacité et de développement durable,
- formuler les axes de recherche permettant de faciliter la prise en compte des aspects sociaux environnementaux et économiques de l'EI.

Le présent rapport est le résultat d'une étude bibliographique visant à déterminer les indicateurs existants dans le domaine de l'EI (chapitre 3), les indicateurs développés dans le cadre de l'éco-efficacité et leur pertinence par rapport à l'EI (chapitre 4) et les indicateurs du développement durable et leur pertinence par rapport à l'EI (chapitre 5).

Les indicateurs de l'EI

La notion d'indicateur peut être très différente suivant les objectifs pour lesquels l'indicateur est développé et le type d'acteur auquel il est destiné. Le présent rapport montre que les indicateurs de l'EI ont des objectifs variés allant de l'évaluation d'un type d'industrie, de la possibilité de reconversion d'une zone industrielle en éco-parc, de l'évaluation d'une symbiose industrielle existante, etc... C'est pourquoi, il est nécessaire de définir la notion d'indicateur et le cadre conceptuel dans lequel il est défini et dans lequel il s'applique.

Les indicateurs de l'écologie industrielle existants portent principalement sur l'analyse et le bilan des flux et des ressources engendrées ou utilisées par un ensemble d'industries. Ces indicateurs ou critères ne sont pas forcément reconnus comme indicateurs « en tant que tels » mais permettent de rendre compte de la capacité des industries à se mettre en réseau pour optimiser les flux et obtenir une meilleure rentabilité tout en minimisant l'impact des industries sur l'environnement (minimisation de l'utilisation des ressources et minimisation de la production de déchets).

Les indicateurs des flux de matières (et d'énergie) sont dans la majorité des cas systématiquement pris en compte dans l'analyse d'une symbiose industrielle. Cependant, on remarque que les indicateurs sociaux et économiques, ainsi que les indicateurs permettant de mesurer les externalités et les impacts environnementaux sont plus rarement pris en compte. Les indicateurs sociaux correspondent presque uniquement au nombre d'emplois créés.

Dans la littérature, beaucoup d'indicateurs « dits » de l'EI sont développés pour un type d'industrie (exemples : production d'énergie, génération des déchets, industries métallurgiques, cimenterie et extraction de granulats, etc.) et ne décrivent pas forcément un complexe industriel.

Les indicateurs sont d'une complexité variable et sont plus ou moins intégrés selon le contexte. On note que les indicateurs se référant aux principes thermodynamiques sont souvent les plus complexes à établir car ils nécessitent beaucoup de données d'entrée. Les indicateurs de comptabilisation des flux sont souvent plus simples à établir (si on fait abstraction des difficultés relatives à l'aspect confidentiel des données).

La revue des indicateurs de l'écologie industrielle montre que la notion d'indicateur dans ce domaine n'est pas très explicite : Il existe un certain nombre de paramètres qui permettent de définir les flux et les ressources entrant en compte dans des schémas d'écologie industrielle, mais ces paramètres ne font pas toujours référence à la notion d'indicateur.

Un certain nombre de paramètres de succès ou d'échec de l'EI ont pu être répertoriés et pourraient potentiellement être utilisés comme indicateurs même s'ils ne sont pas clairement nommés comme tels.

De plus, des indicateurs décrivant l'aspect de "capacité de charge" (carrying capacity : un écosystème donné a une capacité de charge bien définie pour chaque espèce) qui est un concept clé de l'écologie biologique ne semble pas être pris en compte dans l'évaluation de l'écologie industrielle.

Les indicateurs de l'éco-efficacité

Les indicateurs de l'éco-efficacité visent à comparer la performance économique avec la performance environnementale. La notion d'éco-efficacité est assez largement utilisée dans le domaine de l'EI car elle permet de mesurer les impacts environnementaux d'une symbiose industrielle par rapport à sa performance économique. Cependant, l'application de l'éco-efficacité dans l'EI a ses limites car elle souffre d'un manque de vision globale et de buts réels et parce qu'elle est basée sur la théorie dominante économique du système économique actuel. L'éco-efficacité devrait inclure les principes plus larges du développement durable.

Les indicateurs du développement durable

Les indicateurs du développement durable ne sont en général pas utilisés dans leur globalité dans le cadre de l'EI (en particulier les indicateurs sociaux).

Il existe de nombreux cadres conceptuels et structures dans lesquels des indicateurs du développement durable sont définis. Ces structures sont élaborées à différents niveaux international, national, régional ou d'un site. Les indicateurs sont dans la majorité définis pour les trois piliers du développement durable (environnement, société et économie) à l'exception du système SEEA, qui ne prend pas en compte les aspects sociétaux et des systèmes définis par les Nations Unis et l'IFEN, qui prennent

également en compte les aspects institutionnels. Les systèmes d'évaluation du développement durable comprennent dans la majorité des cas de nombreux indicateurs et de nombreux critères.

Les différents cadres conceptuels définissent des indicateurs plus ou moins intégrés. Notamment, des indices tels que l'IHD, l'ISEW, le GPI, le MDP ou le HWI et les indicateurs se rapportant à la capacité de charge peuvent être dits « globaux ».

1. Introduction

1.1. CONTEXTE

L'Atelier de Réflexion Prospective en Ecologie Industrielle (ARPEGE) est un projet financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) et qui a pour objectifs de définir les problématiques de recherche et de développement pour les années à venir dans le domaine de l'Ecologie Industrielle (EI), de renforcer le pôle français de l'EI et de créer une communauté d'acteurs de l'écologie industrielle.

L'ARPEGE a structuré sa réflexion sous forme de 5 ateliers thématiques :

- Atelier A : Animation et communication,
- Atelier B : Mise au point conceptuelle,
- Atelier C : Analyse comparative – Etat des lieux – Verrous et leviers,
- Atelier D : Prise en compte des aspects sociaux, économiques et environnementaux,
- Atelier E : Formulation des besoins fonctionnels et en Recherche et Développement.

L'étude bibliographique sur les indicateurs de l'EI présentée dans ce rapport a été réalisée dans le cadre de l'atelier D : « Prise en compte des aspects sociaux, économiques et environnementaux » qui a pour but de :

- comprendre les enjeux liés à l'évaluation et la mesure de la performance de l'EI,
- définir la typologie d'un système d'évaluation adapté aux objectifs de l'EI,
- identifier l'articulation d'un système d'évaluation dédié à l'EI en référence aux systèmes dédiés aux approches d'éco-efficacité et de développement durable,
- formuler les axes de recherche permettant de faciliter la prise en compte des aspects sociaux environnementaux et économiques de l'EI.

Le présent travail bibliographique fait le bilan des indicateurs utilisés actuellement :

- les indicateurs utilisés dans les comptes de flux de matière : mass flow accounting (MFA), Eurostat, ... Ceux qui intègrent des informations sur les entrées : direct material input (DMI) ; total material inputs (TMI). Ceux qui intègrent des informations sur les sorties : domestic processed output to nature (DPO), total material output (TMO) ;
- les indicateurs environnementaux relatifs aux émissions des unités de production industrielle et des unités de consommation ;
- les indicateurs couramment utilisés dans les techniques d'analyse de cycle de vie (ACV), de systèmes de management environnemental (SME).

Un certain nombre d'indicateurs utilisés dans des approches du développement durable sont aussi commentés.

La présente étude bibliographique est structurée de la manière suivante :

- Chapitre 2 : Introduction comprenant les caractéristiques et les rôles des indicateurs et une description des grands principes de l'Ecologie Industrielle.
- Chapitre 3 : Les indicateurs de l'EI.
- Chapitre 4 : Les indicateurs utilisés dans le cadre de l'éco-efficacité et leur application potentielle à l'EI.
- Chapitre 5 : Les indicateurs utilisés dans le domaine du développement durable et leur application potentielle à l'EI.

1.2. CARACTERISTIQUES ET ROLES DES INDICATEURS

La recherche bibliographique a été réalisée en recherchant une certaine exhaustivité et en prenant en compte et sans distinction les différentes définitions des indicateurs. L'Agence Environnementale Européenne (EAA, 1999) définit quatre types d'éco-indicateurs :

- Les indicateurs descriptifs qui décrivent les pressions sur l'environnement (exemple : émissions de dioxine de soufre)
- Les indicateurs de performance : ils permettent d'évaluer si ce qui se passe dans l'environnement pose un problème ou non (exemple : nombre de personnes exposées à des teneurs en dioxyde d'azote supérieures aux normes en vigueur)
- Les indicateurs d'efficacité : ils permettent de mesurer si le système s'améliore, l'éco-efficacité de la production ou de la consommation de biens (exemple : kg de déchets produits par famille).
- Les indicateurs de « bien-être global » (tels que le produit national brut vert Green GDP ou l'Index of Sustainable Economic Welfare)

Au cours de l'étude bibliographique, les termes d'indicateurs, d'indices, de critères ou de principes ont été rencontrés. Dans le contexte du développement durable, les indices sont généralement définis comme l'agrégation d'indicateurs après pondération : ceux-ci nécessitent que les indicateurs soient exprimés en unités communes (monnaie ou normalité) (Boulanger, 2004). Les figures 1 et 2 décrivent de manière schématisée la différence entre indicateurs et indices.

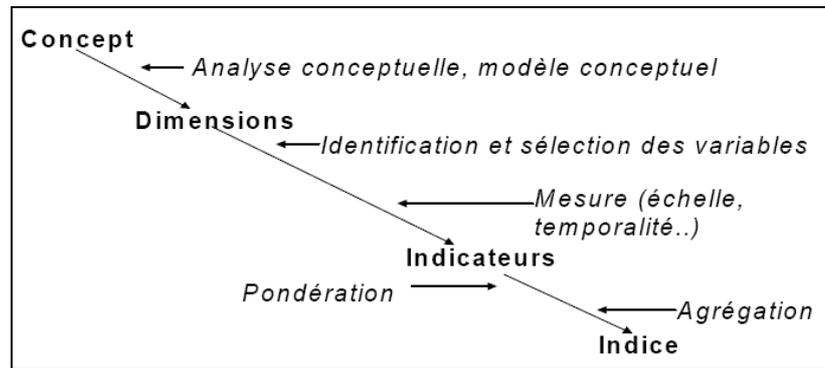


Figure 1 : Du concept aux indices (Boulanger 2004)

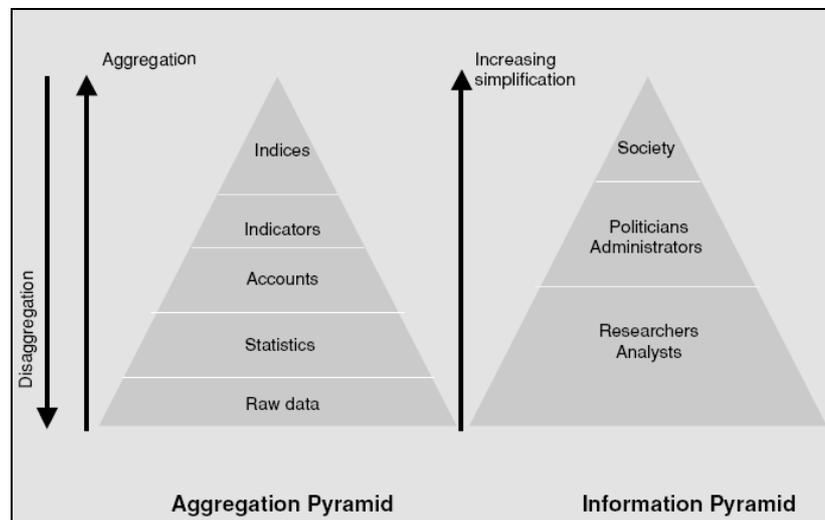


Figure 2 : Agrégation et pyramide d'information (Pedersen et al, 2006)

Les indicateurs permettent de condenser/d'agréger l'information de manière à ce que celle-ci puisse être utilisée dans le cadre de la prise à la décision (EAA, 1999). Ils doivent :

- informer,
- donner des directions,
- être simples et limités en nombre,
- être associés à des objectifs.

Les indicateurs doivent être définis de manière à ce qu'ils soient simples, valides, de bonne qualité, pouvant être établis à moindre coût, ayant la capacité de combiner l'information, mesurables et pertinents d'un point de vue politique (Dewulf, 2005).

L'étude menée par l'Université Norvégienne des Sciences et Technologies (NTU, Fet, 2003) sur le développement de modèles utilisant l'éco-efficacité dans le contexte de l'écologie industrielle a permis d'établir un certain nombre de recommandations quant à la définition et au rôle des indicateurs :

- Il est important de développer des indicateurs qui permettent de mesurer les progrès et les changements au cours du temps.
- Le challenge est de trouver des indicateurs de performance qui soient utiles au site de production, au cycle de vie du produit (« value chain ») et à la communauté locale où est implantée le site de production.
- Il est aussi très important de développer des indicateurs qui soient utiles aux parties prenantes et leur permettent de communiquer sur l'éco-efficacité et de véhiculer une bonne image.

Le rôle et les caractéristiques des indicateurs dépendent du cadre conceptuel dans lequel ils sont définis (Pour qui ? Pourquoi ?).

1.3. LES GRANDS PRINCIPES DE L'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE

L'écologie industrielle peut se définir autour des grands principes suivants (Erkman, 1998) :

- Décarboniser l'énergie (énergie fossile),
- Valoriser les déchets comme ressources,
- Boucler les cycles de matière et minimiser les émissions dissipatives : la consommation et l'utilisation polluent souvent plus que la fabrication, d'où l'intérêt de concevoir de nouveaux produits et services minimisant ou rendant inoffensive leur dissipation (écolabels ?),
- Dématérialiser les produits et les activités économiques : obtenir plus de services avec une quantité moindre de matière, notamment en fabricant des objets plus légers.

Erkman (2004) décrit deux types de référentiels pour le développement de l'écologie industrielle : les parcs éco-industriels et les biocénoses industrielles. Les parcs éco-industriels sont définis comme une zone où les entreprises coopèrent pour optimiser l'usage des ressources, notamment en valorisant mutuellement leurs déchets (les déchets d'une entreprise servant de matière première pour une autre). Les «biocénoses industrielles» s'appuient sur le concept de biocénose biologique qui se réfère au fait que, dans les écosystèmes, les différentes espèces d'organismes se rencontrent toujours selon des associations caractéristiques. On peut étendre ce concept aux complexes industriels en cherchant à déterminer les «bonnes» associations et les meilleurs panachages d'activités industrielles.

La mise en place de l'écologie peut se décrire en trois étapes correspondant à trois niveaux d'action (Baas et al., 2004) :

- L'efficacité régionale : la première étape, appelée efficacité régionale, est décrite comme étant "une action autonome des entreprises visant à une coordination entre entreprises locales afin de minimiser les inefficacités (i.e. partage des services).
- Apprentissage régional : la deuxième étape élargit les objectifs et la coopération en un apprentissage régional. Sur la base d'une reconnaissance et d'une confiance mutuelles, les acteurs (les entreprises et autres partenaires) échangent leurs connaissances et élargissent leur champ d'action dans le domaine du développement durable.

- District industriel durable : La troisième étape, appelée district industriel durable, tend à développer une vision stratégique et une action de collaboration basées sur les principes du développement durable.

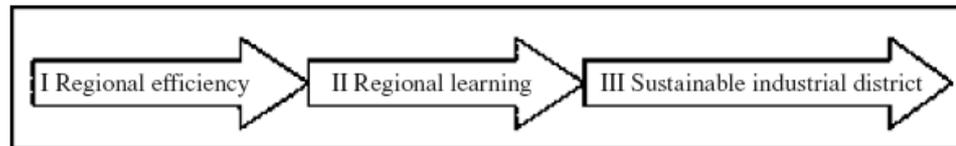


Figure 3 : De l'efficacité régionale à une zone industrielle durable (Baas et Al., 2004)

L'écologie industrielle appréhende les activités industrielles comme des écosystèmes particuliers, caractérisés par des flux de matière, d'énergie et d'information. (Tranchant, 2004).

Dans le cadre des travaux de réflexion de l'atelier B, les membres d'ARPEGE ont défini de manière concertée l'EI de la manière suivante :

L'EI s'inscrit dans l'Ecologie des sociétés industrielles, c'est-à-dire des activités humaines productrices et/ou consommatrices de biens et de services.

L'EI porte une attention particulière à l'analyse des échanges entre les sociétés et la nature et à la circulation des matières et de l'énergie qui les caractérisent, ou qui caractérisent les sociétés industrielles elles-mêmes. Ces flux sont analysés d'un point de vue quantitatif (métabolisme industriel) voire naturaliste, mais aussi d'un point de vue économique et social, dans une perspective systémique.

L'Ecologie Industrielle constitue ainsi un champ de recherche pluri et interdisciplinaire, mais aussi une démarche d'action dans la perspective d'un développement durable. Sa mise en œuvre vise à rendre compatible les actions humaines avec les capacités de la biosphère. En ce sens, l'écologie industrielle appelle un changement de paradigme et de représentation.

L'EI peut porter sur une filière, une entreprise, un établissement industriel, une zone industrielle, un territoire, une région, une matière... etc. Elle se réfère à des méthodes issues de l'écologie scientifique, à la thermodynamique, à la sociologie des organisations, etc.

2. Indicateurs de l'écologie industrielle

Cette section fait, en premier lieu, le bilan des indicateurs existants de l'EI. D'une manière générale, il existe plusieurs types d'indicateurs (environnementaux, sociaux, économiques, degré de collaboration, etc.). Les acteurs de l'EI ont développé différents types d'indicateurs ayant des niveaux d'intégration variés, allant du simple calcul de flux à la détermination d'indicateurs intégrant une approche systémique. Sur ces principes, les indicateurs existants peuvent se distinguer en plusieurs groupes :

- Les indicateurs permettant de quantifier les flux de matières et énergétique du système industriel. Ces indicateurs sont souvent proches des indicateurs utilisés lors de comptes d'analyse de matière (Mass Flow Analyses, MFA).
- Les indicateurs établis selon les principes thermodynamiques tels que l'exergie, l'énergie, etc...
- Les indicateurs établis selon une approche systémique.

Dans un deuxième temps, les facteurs déterminants (comme les paramètres de succès ou d'échec) pour l'EI sont synthétisés. Ces facteurs ne sont pas directement appelés « indicateurs » mais peuvent être considérés comme des indicateurs potentiels.

Les indicateurs de l'EI présentés dans ce rapport ont été développés dans un contexte de Recherche et Développement et/ou ont été utilisés dans le cadre d'études de cas de symbiose industrielle.

2.1. LES INDICATEURS EXISTANTS

2.1.1. Les indicateurs relatifs aux flux de matières

La comptabilisation de flux de matières constitue une des premières étapes d'évaluation d'un système d'EI. Par exemple, dans le cas de Kalundborg (Danemark) qui est le plus ancien et le plus étudié des écosystèmes industriels fonctionnant aujourd'hui (Erkman, 1998) et qui met en œuvre l'échange d'une vingtaine de sous-produits environ incluant les flux et les échanges d'eau usée, de soufre, de gaz, de gypse, de vapeur et de chaleur excédentaire, les indicateurs de bon fonctionnement de la symbiose industrielle comprennent la réduction de la consommation des ressources (eau, charbon, pétrole), la réduction des gaz à effet de serre et la réutilisation des déchets.

De la même manière, la première phase du projet ECOSITE, projet de développement de l'écologie industrielle dans le canton de Genève (Erkman, 2005), a consisté à effectuer une étude des flux de ressources définissant la base des activités économiques dans le canton et a eu pour but de mieux comprendre l'« écosystème industriel du genevois ». Les indicateurs sélectionnés pour évaluer les flux de ressources sont l'énergie, les matériaux de construction, les produits alimentaires, les

métaux, les plastiques, le bois et l'eau. Les études montrent que les flux énergétiques sont les plus problématiques. Le logiciel PRESTEO, développé pour ce même projet (Adoue, 2006), définit des paramètres et des indicateurs qui permettent d'identifier et de quantifier *les flux sortants, les flux entrants et la collaboration entre entreprises*. Ce logiciel distingue trois grands types de synergies :

- les substitutions de matières, d'énergie ou d'eau,
- La mutualisation de la production,
- La mutualisation de l'approvisionnement, l'évacuation et le traitement des flux.

La comptabilisation des flux est un outil puissant qui permet de déterminer les flux entrants et les flux sortants du système industriel. L'approche MFA est utilisée couramment dans le contexte industriel ou d'éco-parcs industriels. Cependant, le MFA constitue parfois une fin en soi pour évaluer les possibilités de symbiose industrielle sans prendre en compte d'autres facteurs (comme certains facteurs économiques, environnementaux et sociaux).

Dans le cadre de la reconversion d'une zone industrielle en un éco-parc industriel, une zone industrielle de 39 compagnies située dans la région de Barcelone a été évaluée à l'aide d'indicateurs s'appuyant sur le MFA et des indicateurs relatifs à l'eau et à l'énergie (Gabarrell, 2003 et Sendra, 2007). Chaque compagnie a été organisée en sous-systèmes pour lesquels les indicateurs ont été calculés.

Les indicateurs peuvent être utilisés afin de :

- détecter les sous-systèmes qui ont un fort impact environnemental, une perte de matière première et qui génère des déchets.
- donner des valeurs numériques permettant de suivre l'évolution temporelle, spatiale et d'échelles des systèmes et des sous-systèmes.
- planifier une reconversion de zone industrielle en un éco-parc.

Les indicateurs ont été développés à partir de paramètres tels que la consommation de matière, d'énergie et d'eau, la production de déchets, la production et autres flux. Afin d'appliquer la méthode du MFA au parc industriel et aux compagnies, la méthodologie Eurostat a été adaptée et complétée avec des indicateurs pour l'eau et l'énergie. Deux indicateurs d'entrée du MFA ont été utilisés : les entrées de matière directes (Direct Material Input, DMI) et le besoin global en matière (Total Material Requirement, TMR). D'autres indicateurs environnementaux ont été déduits du MFA (voir Tableau ci-dessous). Les indicateurs ont été définis de manière absolue et de manière relative. Les indicateurs dits « absolus » donnent des informations sur la consommation ou la production globale ou peuvent renseigner sur la consommation d'eau, de matières et d'énergie ou la production de déchets. Les indicateurs dits « relatifs » renseignent sur l'efficacité de l'utilisation de matières ou d'eau. Cette étude a démontré que les indicateurs liés aux flux de matière ne sont pas suffisants pour analyser l'utilisation des ressources par les industries et leur efficacité et doivent être accompagnés d'indicateurs liés à l'eau et à l'énergie. Le lien entre les flux de matières et les impacts

environnementaux n'étant pas direct, la méthodologie utilisée ne permet pas de déterminer la combinaison des impacts complexes et multiples sur l'environnement.

D'autres études (Moriguchi, 2007) mènent aux mêmes conclusions et préconisent que les liens entre les flux de matière et les impacts environnementaux fassent l'objet de recherches supplémentaires de manière à ce qu'ils soient utilisables dans le cadre de la politique environnementale. De plus, d'autres indicateurs sont nécessaires afin de rendre compte de la performance des facteurs micro-économiques.

| Indicator | Definition | Expression |
|------------------|-----------------------------|--|
| DMI (t) | Direct material input | Domestic extraction (DE) + imports |
| TMR (t) | Total material requirement | Direct material input + indirect flows + unused DE |
| DMIw (t/worker) | DMI/worker | DMI/number of workers |
| TMRw (t/worker) | TMR/worker | TMR/number of workers |
| TWG (t) | Total wastes generation | Total amount of wastes produced |
| TWGw (t/worker) | TWG/worker | TWG/number of workers |
| WP (t/worker) | Worker productivity | Total production/number of workers |
| Eco-Ef | Eco-efficiency | Annual production/TMR |
| Eco-In | Eco-intensity | TMR/total production |
| M-Inef | Material inefficiency | Outputs to nature/DMI |
| TWI (t) | Total water input | Total water consumption |
| TWWG (t) | Total wastewater generation | Total amount of waste water produced |
| TWIw (t/worker) | TWI/worker | TWI/number of workers |
| TEI (GJ) | Total energy input | Total energy consumption |
| TEIw (GJ/worker) | TEI/worker | TEI/number of workers |
| E-In (G/t) | Energetic intensity | TEI/total production |

Figure 4 : Indicateurs environnementaux définis selon le MFA (Sendra, 2007)

2.1.2. Les indicateurs définis selon une approche thermodynamique

L'application des « cycles ressource–utilisation » observés dans les écosystèmes biologiques au contexte des écosystèmes industriels est un des thèmes centraux de l'EI. L'interprétation thermodynamique de l'évolution des écosystèmes, visant à renforcer l'analogie entre écosystème biologique et industriel, a été l'objet de nombreuses recherches.

Les indicateurs dérivés de cette approche thermodynamique sont essentiellement :

- l'exergie (« exergy ») : en thermodynamique, l'exergie désigne le travail maximum qui peut être extrait d'un système lorsqu'il se met à l'équilibre thermodynamique avec son environnement. Si l'énergie ne peut que se

transformer sans jamais se détruire (voir Premier principe de la thermodynamique), l'exergie ne peut en revanche que diminuer dans les transformations réelles. L'exergie détruite au cours d'une réaction est appelée anergie. Ce phénomène est lié à l'entropie du système et de son environnement, qui ne peut qu'augmenter au cours d'une transformation réelle, non réversible (voir Deuxième principe de la thermodynamique).

- l'analyse de la consommation d'exergie cumulée (« cumulative exergy consumption (CEC) analysis») : prise en compte de l'exergie dans le cadre d'analyse de cycle de vie.
- l'émergie (« emergy ») : L'émergie est l'énergie solaire disponible utilisée directement ou indirectement pour produire des biens ou des services.
- la consommation d'exergie écologique cumulée « Ecological cumulative Exergy Consumption » (ECEC).

Ces indicateurs et leur pertinence par rapport à l'EI sont décrits ci-dessous.

Connelly et al (2001a ; 2001b) ont étudié en détail l'application de l'exergie dans le contexte de l'écologie industrielle. Ces études ont permis de montrer que les limites de l'application du concept de l'exergie à l'EI étaient principalement associées à la difficulté de définir la consommation des ressources. Elles définissent un indicateur appelé le nombre de déplétion (« depletion number ») qui s'exprime comme une fonction d'indicateurs non dimensionnels qui mesure l'implémentation des stratégies relatives à la conservation d'une ressource spécifique. Trois indicateurs ont été définis :

- l'exergy cycling fraction : une mesure du recyclage qui comptabilise les changements de qualité et le débit de la consommation des ressources et de leur amélioration
- l'exergy efficiency : une mesure universelle de l'efficacité des processus à prendre en compte dans les premier et second principes de la thermodynamique.
- La renewed exergy fraction : mesure du ratio des ressources renouvelables sur l'ensemble des ressources nécessaires au système industriel.

Dewulf (2005) a développé une série de cinq indicateurs environnementaux permettant d'évaluer les produits et les modes de production en intégrant les principes de l'écologie industrielle à savoir la deuxième loi de thermodynamique et les paramètres liés au métabolisme industriel (les échanges d'énergie et de matière entre industries).

Ces indicateurs permettent de prendre en considération les facteurs suivants :

- Le renouvellement des ressources,
- La toxicité des émissions,
- La production / utilisation des matériaux usagers,
- La récupération des produits en fin de vie,
- L'efficacité des procédés.

Les indicateurs développés par Dewulf, exprimés en termes d'exergie, incluent :

- *Indicateur d'efficacité* : cet indicateur est défini comme le ratio entre les produits « utiles » sortant du procédé et les ressources nécessaires à la

production de produits (incluant l'utilisation de ressources primaires et l'utilisation de matériaux usagés).

- *Indicateur de réutilisation des matériaux* : cet indicateur est défini comme le degré de réutilisation des matériaux déjà utilisés en comparaison à l'utilisation de ressources primaires.
- *Indicateur de récupération des matériaux en fin de vie* : cet indicateur est défini comme le ratio entre la production en sortie et la fraction de matériaux qui est récupérable.
- *Indicateur de renouvellement* : Cet indicateur est défini comme le ratio entre la consommation de matériaux primaires et le taux de production de matériau dans l'écosystème. Il est quantifié en termes d'exergie.
- *Indicateur d'émission de toxicité*.

Dewulf précise que ce jeu d'indicateurs environnementaux doit être combiné avec des indicateurs économiques et sociaux. De plus, il suggère que le développement d'indicateurs basés sur la toxicité biologique¹ pourrait faire l'objet de futur projet de recherche.

La méthodologie développée par Dewulf a été illustrée dans trois études de cas :

- production d'alcools à partir de ressources pétrochimiques et de produits huileux,
- option de cycle de vie pour la production de polyéthylène et le traitement des déchets,
- production d'énergie à partir de ressources renouvelables et non renouvelables.

L'analyse de l'exergie a été développée et testée sur des systèmes éco-industriels et a permis d'établir les caractéristiques thermodynamiques de l'utilisation des ressources en étudiant les flux de matières du système industriel (Yang et al., 2006). Cette analyse a permis de définir différents indicateurs basés sur l'exergie comme l'index de déplétion de l'exergie du système, rapport cyclique de l'exergie de matière, etc... Ces indicateurs peuvent être utilisés afin d'évaluer l'efficacité de l'utilisation des ressources et de leur effet potentiel sur l'environnement. Ces indicateurs ont été testés sur l'éco-parc industriel de Lubei. Les résultats de cette étude montrent que les indicateurs peuvent rendre compte des changements d'utilisation de matière et de l'efficacité des systèmes éco-industriels. Cependant, la seule prise en compte de ces indicateurs basés sur l'exergie est insuffisante. Il est nécessaire de prendre en compte les caractéristiques économiques et environnementales du système afin d'avoir une analyse complète des systèmes éco-industriels.

L'analyse de l'exergie est une méthode reconnue pour analyser et améliorer l'efficacité des processus chimiques et thermodynamiques. Son extension, tel que le concept de CEC permet de considérer l'aspect cycle de vie en incluant l'ensemble des processus des ressources naturelles au produit fini (Hau, 2003).

¹ NDL : Il est important de noter que la perte de biodiversité n'est pas uniquement liée à la toxicité mais avant tout à la perte d'habitat.

L'énergie est l'énergie solaire disponible utilisée directement ou indirectement pour produire des biens ou des services et a été développée plusieurs décennies avant les notions d'ACV, d'EI ou de développement durable. Si l'énergie, concept théorique nécessitant beaucoup de données, a souvent été critiqué, il est indéniable que cette notion est particulièrement intéressante et pourrait avoir dans le futur un fort impact (Hau, 2004b).

Le concept de CEC a été étendu à la notion de ECEC (Ecological cumulative Exergy Consumption), qui inclut la contribution des écosystèmes (Hau, 2004a). L'ECEC est très similaire à l'énergie dans le cadre des limites de l'étude. Ce concept permet de combiner les meilleurs aspects des analyses de l'énergie et de l'exergie et permet de prendre en compte les bénéfices de la comptabilisation de la contribution naturelle dans les activités industrielles.

2.1.3. Les indicateurs de coopération industrielle

Le logiciel PRESTEO (Adoue, 2006) définit des paramètres / indicateurs qui permettent d'identifier et de quantifier *la collaboration entre entreprises*.

Ce logiciel distingue trois grands types de synergies :

- les substitutions de matières, d'énergie ou d'eau,
- La mutualisation de la production,
- La mutualisation de l'approvisionnement, l'évacuation et le traitement des flux.

Le développement du système SIG (Plancherel, 2003) pour la détection des synergies industrielles s'inscrit dans le travail du groupe Ecosite. Elle permet de lier les synergies aux territoires sur lesquels elles prennent place, en proposant une analyse spatiale des synergies détectées sur le canton. L'utilisation des SIG pour la détection de synergies éco-industrielles au niveau d'un territoire implique la définition de métadonnées de la synergie industrielle. Le système SIG combine l'information concernant les flux de matière et d'énergie des entreprises, qui est extraite de l'outil de détection ISIS (Adoue, 2004) et les données additionnelles qui ont été fournies par un service cantonal, le système d'information du territoire genevois (SITG).

Le système ISIS (Industries et Synergies Inter Sectorielles) permet la création d'une synergie entre 2 entités d'un territoire. En introduisant les bilans entrants et sortants des entreprises, le système gère une base de données permettant d'identifier un maximum de synergies.

D'autres indicateurs de coopération industrielle sont décrits dans la section ci-dessous.

2.1.4. Les indicateurs définis selon une approche systémique

Un certain nombre d'études définissent ou caractérisent le métabolisme industriel d'une manière plus systémique en proposant :

- des indicateurs globaux (l'index E-Equity, Carbon footprint),

- des indicateurs prenant en compte les domaines environnemental, social et économique,
- des indicateurs mesurant la collaboration au sein du système.

Les indicateurs présentés ci-dessous comprennent :

- l'indice d'E-Equity développé pour les entreprises produisant de l'énergie,
- un ensemble d'indicateurs développement durable pour les entreprises métallurgiques,
- les indices développés dans le cadre de l'économie circulaire en Chine : comme la consommation de ressources par unité de PIB par produit et l'émission de polluants par unité de PIB par produit,
- les indicateurs environnementaux, économiques et sociaux définis pour les écosystèmes industriels dans le cadre de la gestion des déchets, des sous-produits et de l'énergie,
- les indicateurs environnementaux et économiques du système industriel de Kalundborg,
- les indicateurs choisis pour évaluer le degré d'application des principes de l'écologie industrielle, projet ECOSIND,
- les indicateurs environnementaux / sociaux et économiques dans le cadre d'une extraction de granulats,
- les indicateurs normatifs de l'EI.

Indice E-Equity

La méthodologie E-Equity se présente comme une nouvelle manière de penser appliquée aux entreprises produisant de l'énergie et qui visent à les orienter vers un système optimisé basé sur les principes de l'EI. L'E-Equity index a été défini (Makansi, 2003) afin d'évaluer la valeur totale de l'entreprise pour la société en élargissant l'évaluation au delà des bénéfices financiers et environnementaux. Cet index vise à évaluer quantitativement l'E-Equity d'une entreprise produisant de l'énergie par rapport à des entreprises intervenant dans le même secteur d'activité.

Les indices de l'E-Equity comprennent :

- Efficacité de la conversion fuel en électricité,
- Ratio de l'utilisation des sols totale sur l'énergie totale produite,
- Mesure du taux du recyclage de l'eau,
- Ratio de recyclage des produits récupérés,
- Probabilité comparative d'un risque accidentel et de l'impact mesuré,
- Mesure des taxes sur les revenus et de l'emploi sur la micro-économie d'une région ou d'une communauté,
- Valeur de la source d'énergie indigène à la sécurité nationale,
- Valeur de la grille de disponibilité / confiance relative de la situation de l'entreprise (versus importation d'énergie),
- Impact sur la micro-économie résultant d'une capacité d'arbitrage,
- Flexibilité de l'entreprise au cours de sa vie en relation avec les atouts physiques (comme est ce que celle-ci répond au marché et aux conditions émergentes).

Jeu d'indicateurs du développement durable, industries métallurgiques

Un ensemble d'indicateurs holistiques de flux de matières de matériaux métalliques bruts a été développé en prenant en compte les différents impacts écologiques, économiques et sociaux ainsi que les conditions institutionnelles de base (Kuckshinrichs, 2003). Ces indicateurs comprennent des indicateurs de flux de matière, de secteur et de production. Dans un premier temps, un jeu réduit d'indicateurs est utilisé afin d'aider les décideurs à départager les scénarios ayant des objectifs économiques et sociales très différents. En deuxième lieu, les limites du système d'indicateurs est déterminé selon le type d'acteur et le contexte de décision. Enfin, les seuils définis pour chaque indicateur sont définis afin de déterminer quand des actions sont à mettre en place. Cet outil d'aide à la décision a été appliqué à une usine de cuivre et d'aluminium.

Indices définis par l'économie circulaire

La gestion des flux est considérée comme étant une méthode de gestion et de planning unique dans le domaine de l'économie circulaire (Yong, 2007). Dans ce contexte, deux types d'indices rapportés au PIB ont été déterminés :

- la consommation de ressources par unité de PIB par produit,
- l'émission de polluants par unité de PIB par produit.

Indicateurs environnementaux, sociaux et économiques, gestion des déchets et de l'énergie

Des indicateurs environnementaux, économiques et sociaux ont été développés dans le cadre de la gestion régionale des déchets et de production d'énergie (Korhonen, 2004). Les indicateurs environnementaux ont été exprimés en équivalent de dioxyde de carbone et les indicateurs économiques ont été choisis comme étant les coûts et les revenus relatifs à la gestion des déchets, de l'énergie et du fuel. Les indicateurs sociaux portent sur les impacts du système de gestion des déchets sur l'emploi. Les difficultés rencontrées lors de la détermination des indicateurs sont la définition des limites du système, la quantification des effets environnementaux, économiques et sociaux et le manque de données relatives aux préférences et aux intérêts des acteurs. Les indicateurs ont été définis pour deux types d'impacts :

- Les impacts directs : Transport et Collecte, Traitement, Mise en décharge des déchets,
- Les impacts indirects : Utilisation des déchets matières et des déchets énergétiques en dehors du système de gestion des déchets dans des secteurs économiques et sociaux tels que l'agriculture, l'industrie et les ménages.

Les indicateurs ont été testés sur des systèmes régionaux de déchets et de production d'énergie de Satakunta. Les aspects économiques, environnementaux ont été évalués pour les impacts directs et indirects. Seuls les impacts directs ont fait l'objet de l'évaluation des aspects sociaux (voir tableau ci-dessous).

| | Social | | | Economic | | | Environmental | | |
|--|---------------------------|---------------|-------|---------------------------|----------|---------|-----------------------------------|----------|--------|
| | (personnel working years) | | | Revenue/costs (€/t waste) | | | (kg CO ₂ eqv./t waste) | | |
| | Direct | Indirect | Total | Direct | Indirect | Total | Direct | Indirect | Total |
| 0 scenario (MSW, BW&REF) | | | | | | | | | |
| (a) Landfilling | 24.8 | Not estimated | 24.8 | -46.7 | - | -46.7 | 337.5 | - | 337.5 |
| (b) Composting | 8.2 | Not estimated | 8.2 | -62.8 | - | -62.8 | 19.4 | - | 19.4 |
| (c) Incineration of REF (CHP) [*] | (0.5) | Not estimated | (0.5) | -(44.8) | (+13.4) | (-31.4) | (496) | (-824) | (-328) |
| Total | 2.6 | | 26 | 58 | | -57 | 341 | | 340 |
| Subsections of 0 scenario | | | | | | | | | |
| 1. Landfilling scenario (MSW) | | | | | | | | | |
| (a) No gas collection | 24.8 | Not estimated | 24.8 | -46.7 | - | -46.7 | 380 | - | 360 |
| (b) Gas collection and incineration in flare | 24.8 | Not estimated | 24.8 | -46.7 | - | -46.7 | 197 | - | 197 |
| (c) Gas collection and incineration in CHP | 24.8 | Not estimated | 24.8 | -46.2 | +0.5 | -46.7 | 197 | -31 | 166 |
| 2. Biological treatment scenario (BW) | | | | | | | | | |
| (a) Composting | 59.3 | Not estimated | 59.3 | -52.8 | - | -62.8 | 19.4 | -2.8 | 16.6 |
| (b) Anaerobic digestion (heat and electricity recovery) | 35.8 | Not estimated | 35.8 | -56.0 | +1.1 | -64.9 | 11.3 | -86.5 | -75.2 |
| 3. Thermal treatment scenario (MSW&RDF) | | | | | | | | | |
| (a) Mass-burn incineration (MSW) (electricity recovery) | 59.4 | Not estimated | 59.4 | -115.7 | +5.7 | -110 | 257 | -226 | 31 |
| (b) Co-incineration with coal (RDF) (electricity recovery) | 88.4 | Not estimated | 66.4 | -115.1 | +7.9 | -107.2 | 948 | -804 | 142 |
| 4. Integrated treatment scenario (MSW&BW) | | | | | | | | | |
| Anaerobic digestion of BW, co-incineration | 54.5 | Not estimated | 54.5 | -83.8 | +4.5 | -79.2 | 498.1 | -444.9 | 53.2 |

^{*}Transportation of REF is not included into calculations

Figure 5 - Indicateurs définis pour la région de Satakunt (Khoronen, 2004)

Indicateurs environnementaux et économiques de la région de Kalundborg

Une évaluation quantitative des aspects environnementaux et économiques de la symbiose industrielle de Kalundborg a été réalisée par Jacobsen (2006). Cette étude est basée sur les échanges d'eau et de vapeur de la symbiose industrielle de Kalundborg et l'évaluation des impacts économiques et environnementaux liés à ces échanges. Les aspects environnementaux liés aux échanges d'eau sont évalués en termes de *réduction de consommation d'eau de haute qualité*. Les aspects environnementaux liés aux échanges de chaleur et de vapeur sont évalués en termes de *mutualisation et de cogénération d'énergie* et de *réduction nette d'émission de dioxyde de carbone, de dioxyde de soufre et d'oxydes d'azote*. Les aspects économiques liés aux échanges d'eau et de vapeur sont discutés par rapport aux combinaisons d'*investissement* nécessaires à la mise en place des échanges et *aux gains financiers directs* (réduction des taxes d'émissions, des coûts de mise en décharge et réduction des coûts par substitution) et *aux gains financiers indirects* (réduction des frais d'investissement, augmentation de la flexibilité et de la sécurité) associés aux échanges d'eau et de vapeur.

Indicateurs choisis dans le cadre d'ECOSIND pour évaluer le degré d'application des principes de l'écologie industrielle

Le programme cadre ECOSIND (Marti / Ragué, 2006) est une initiative communautaire des fonds européens de développement régional INTERREG IIIC qui a pour objectif de renforcer la coopération et les échanges d'expériences entre les régions du Sud de l'Europe. Ce guide de recommandations a pour but de mettre en place les fondations

d'une nouvelle stratégie de développement industriel durable utilisant les principes de l'écologie industrielle. ECOSIND propose des indicateurs afin de suivre les bénéfices dérivant de l'application de l'écologie industrielle dans le cadre de l'aménagement d'une zone industrielle. Le plan d'aménagement doit définir une liste d'indicateurs environnementaux, qu'il faut actualiser régulièrement, des clauses de confidentialité avec les entreprises si nécessaires et les caractéristiques d'une base de données sécurisée. Des indicateurs environnementaux, économiques et sociaux ont été définis afin de caractériser :

- les activités,
- le fonctionnement,
- les impacts et,
- le degré de coopération environnementale au sein d'une zone industrielle.

Ces indicateurs sont classés en 14 catégories qui incluent l'identification de l'entreprise, l'environnement géographique, la localisation géographique, l'occupation du sol / urbanisation, l'activité économique, l'énergie, la mobilité, l'approvisionnement en eau, le réseau d'épuration de l'eau, les déchets, les impacts environnementaux, les risques, la gestion environnementale et les indicateurs d'évaluation de la zone industrielle.

| Indicateurs | Unité | Commentaires |
|--|----------------|---|
| Identification | | |
| Municipalité | Texte | |
| Année de création | Année | |
| Promoteur | Texte | Nom du promoteur ou indication ZI publique/privée |
| Type de ZI | Texte | Parc scientifique/logistique, parc de PME, zone de services.... |
| Environnement géographique | | |
| Population vivant à 100 mètres | Nb d'habitants | Population vivant dans un rayon de 100 mètres depuis le périmètre de la ZI |
| Population vivant à 15 min. | Nb d'habitants | Population vivant à maximum 15 min de la ZI (temps estimé avec un véhicule privé) |
| Distance à l'espace naturel le plus proche | Mètres | |
| Localisation géographique | | |
| Localisation de la ZI | Dxf | Dessin ou géoréférenciation de la ZI |
| Adresse | Texte | |
| Entreprises | Dxf | Géoréférenciation des entreprises et parcelles |
| Equipements collectifs | Dxf | Dessin ou géoréférenciation des équipements |
| Réseaux d'infrastructures | Dxf | Dessin ou géoréférenciation des infrastructures |
| Réseaux de communication | Txt | Énumération des réseaux disponibles |
| Occupation du sol / Urbanisation | | |
| Superficie de la ZI | M2 | |
| Superficie moyenne des parcelles | M2 | |
| Occupation de la ZI | % | Pourcentage total des parcelles non occupées |
| Distance à l'entrée de l'autoroute | m | Distance à l'entrée d'autoroute la plus proche |
| Distance à la station de train | m | Distance à la station de train la plus proche |
| Prix | €/m2 | Estimation du prix d'achat d'un m2 de la ZI |
| Activité économique | | |
| Nombre d'entreprises | Nb | |
| Entreprises manufacturières | % | Pourcentage d'entreprises manufacturières |
| Entreprises de construction | % | Pourcentage d'entreprises de construction |
| Entreprises d'extraction | % | Pourcentage d'entreprises d'extraction |
| Entreprises de services | % | Pourcentage d'entreprises de services |
| Entreprises commerciales | % | Pourcentage d'entreprises commerciales |
| Entreprises d'autres secteurs | % | Pourcentage d'entreprises d'autres secteurs |
| Coopération entre entreprises | Nb | Existence de coopération entre une ou plusieurs entreprises de la ZI |
| Nombre de travailleurs | Nb | Somme des travailleurs de toutes les entreprises |

Figure 6 : Indicateurs choisis dans le cadre d'ECOSIND pour évaluer le degré d'application des principes de l'écologie industrielle (1/3).

| | | |
|--|-----------|--|
| Chiffre d'affaire annuel | Euros | de la ZI Somme du chiffre d'affaire de toutes les entreprises de la ZI |
| Energie | | |
| Consommation d'énergie primaire | TEP/an | |
| Consommation d'énergies renouvelables | % | |
| Cogénération individuelle | Oui/non | Existence d'une installation de cogénération dans une des entreprises |
| Cogénération partagée | Oui/non | Existence d'une installation de cogénération pour 2 entreprises ou plus |
| Coût annuel de la consommation d'énergie | € | |
| Mobilité | | |
| Transit de véhicules légers | Nb | Nombre total d'entrées et de sorties de véhicules légers |
| Transit de véhicules lourds | Nb | Nombre total d'entrées et de sorties de véhicules lourds |
| Disponibilité d'un service d'autobus | Oui/non | |
| Disponibilité d'un service ferroviaire | Oui/non | |
| Coût annuel du transport | € | |
| Approvisionnement en eau | | |
| Consommation d'eau potable | m3/an | Débit d'eau potable consommé |
| Consommation d'eau réutilisée | m3/an | Débit d'eau réutilisée |
| Débit de captation de l'eau de l'aquifère | m3/an | Débit d'eau capté par des méthodes propres |
| Réseau d'épuration de l'eau | | |
| Existence d'un réseau de séparation | Oui/non | |
| Existence d'une station d'épuration de la ZI | Oui/non | |
| Entreprises avec un système d'épuration propre | % | Pourcentage d'entreprises qui réalisent un traitement ou pré traitement dans la ZI |
| Déversement sans traitement | m3/an | Débit d'eau déversée sans traitement ou prétraitement dans la ZI |
| Débit de versement dans l'aquifère | Oui/non | |
| Déversement vers une STEP | m3/an | Débit d'eau traité par une STEP |
| Coût annuel de l'eau | € | Ce coût inclut la consommation et le traitement |
| Déchets | | |
| Déchets générés | Tonnes/an | Quantité totale des déchets générés par la ZI |
| Déchets dangereux | texte | Liste des déchets qui nécessitent un traitement spécifique |
| Quantité de déchets valorisés | % | Pourcentage de déchets réutilisés à l'intérieur de la ZI |
| Quantité des déchets stockés | % | Pourcentage des déchets éliminés en centre de stockage des déchets |
| Quantité de déchets traités | % | Pourcentage de déchets de la ZI qui subissent un traitement physique ou chimique |
| Coût annuel du traitement des déchets | € | |
| Impacts environnementaux | | |
| Entreprises et droits d'émission | Nb | Total des entreprises de la ZI qui ont des droits d'émission |
| Emissions de CO2 | Tonnes/an | Volume total des émissions de CO2 des |

Figure 6 : Indicateurs choisis dans le cadre d'ECOSIND pour évaluer le degré d'application des principes de l'écologie industrielle (2/3).

| | | |
|---|---------|---|
| | | entreprises de la ZI |
| Contamination acoustique | Oui/non | |
| Odeurs | Oui/non | |
| Risques d'inondations | Oui/non | ZI situé sur une zone inondée il y a moins de 50 ans |
| Autres | Texte | Description d'autres impacts sur l'environnement générés par la ZI |
| Risques | | |
| Degré de risque | % | Pourcentage des entreprises qui nécessitent et utilisent un plan d'urgence extérieur (risques chimiques ou autres) |
| Risques géologiques / du sous sol | Texte | Description des risques pour l'activité des entreprises, en relation avec l'érosion du sol, la contamination du sous sol... |
| Risques hydrologiques | Texte | Description des risques environnementaux pour l'activité des entreprises sur les masses d'eau (mer, rivières, aquifères) |
| Gestion environnementale | | |
| Implication individuelle dans la gestion environnementale | % | Pourcentage d'entreprises avec la qualification EMAS ou ISO à l'intérieur de la ZI |
| Existence de responsables environnement | Oui/non | Existence à l'intérieur de la ZI d'une entreprise, entité ou association responsable des thèmes de gestion environnementale dans toute la ZI. |
| Types de coopération environnementale | Texte | Description des types de gestion et coopération environnementales entre les entreprises de la ZI |
| Indicateurs d'évaluation environnementale de la ZI | | |
| Efficience d'occupation du sol | Indice | Capacité de minimisation de la consommation du sol industriel |
| Efficience énergétique | Indice | Capacité de minimisation de la consommation d'énergies primaires et de maximisation de l'utilisation d'énergies renouvelables |
| Efficience de la gestion de l'eau | Indice | Capacité de minimisation de la consommation d'eau et de maximisation de sa réutilisation |
| Efficience de la gestion des déchets | Indice | Capacité de minimisation de la génération des déchets et de maximisation de leur réutilisation |
| Efficience de la gestion de la mobilité | Indice | Capacité de minimisation du transit en relation avec le volume de marchandises et de personnes transportées |
| Efficience dans la gestion environnementale | Indice | Capacité de coopération entre entreprises (réduction des impacts et des coûts) |

Figure 6 : Indicateurs choisis dans le cadre d'ECOSIND pour évaluer le degré d'application des principes de l'écologie industrielle (3/3).

Les indicateurs portant sur *le degré de coopération environnementale* comprennent le degré de coopération entre entreprises, l'existence de cogénération d'énergie partagée, l'efficience de la gestion environnementale : la capacité de coopération entre entreprises (réduction des impacts et des coûts), etc...

Une gestion efficace de l'information est essentielle pour mener des actions de gestion coopérative. En effet, il est indispensable de diffuser et d'échanger des informations à l'intérieur et l'extérieur de la zone industrielle. Afin d'élaborer des plans de gestion efficaces et de bien connaître l'activité dans les zones industrielles et son évolution, il est important, selon ECOSIND, de disposer d'une bonne base de données et d'indicateurs fiables. De plus, pour mener des actions, il est nécessaire, d'une part

d'avoir des indicateurs permettant d'avoir une bonne connaissance de la situation, et d'autre part, il est important que les personnes de l'extérieur aient un accès facile et complet aux informations sur la zone industrielle.

Le projet PLANCOST effectué dans le cadre d'ECOSIND définit un système d'indicateurs pour caractériser et évaluer chaque zone industrielle à partir de critères évalués comme nécessaires. Ce système permet de déterminer quelles municipalités, et plus particulièrement quelles zones industrielles ont les résultats les plus positifs. PLANCOST a défini des indicateurs en deux catégories :

- Ceux qui ont un aspect territorial (planification, mobilité, paysage),
- Ceux qui ont un aspect environnemental (énergie, déchets, eau, atmosphère et bruit).

Les indicateurs environnementaux / sociaux et économiques dans le cadre d'une extraction de granulats

Martaud et al (2006) propose une méthodologie susceptible de quantifier les pressions ou impacts potentiels de l'exploitation à l'échelle des carrières. Il définit des indicateurs potentiels relatifs à la ressource en granulats naturels qu'il classe en trois catégories :

- Environnementaux :
 - o Epuisement des ressources naturelles et espaces utilisés (produit fini, roche extraite, découverte, surface utilisée ...)
 - o Consommations énergétiques (électricité, carburant)
 - o Eau (consommée, rejetée, quantité et devenir des boues)
 - o Déchets (...)
 - o Rejets atmosphériques (...)
 - o Biodiversité
- Sociaux :
 - o employés (nombre d'emplois directs et indirect, fréquence et gravité des accidents).
 - o Riverain (bruit, visuel vibration...)
 - o Remise en état (zones protégées ; zones classées)
- Economiques :
 - o Internalisation des coûts environnementaux
 - o Internalisation des coûts sociaux
 - o Investissements autres que fonciers
 - o Remise en état

Cette méthodologie implique des calculs des bilans de matière et énergie et du bilan des émissions atmosphériques. On note une similarité des indicateurs avec les paramètres considérés lors des études d'impacts environnementales.

L'évaluation des avantages sociaux de l'industrie cimentière a été tentée (Vigon, 2002) en utilisant la méthode d'ACV ou les méthodes d'Evaluation des Impacts du Cycle de Vie (EICV) (tel que l'approche eco-indicateur 99). L'EICV permet notamment de mesurer les impacts du système industriel sur la santé, sur la qualité des écosystèmes (biodiversité), sur la déplétion des ressources et sur l'occupation des sols. Cependant

l'approche EICV nécessite encore d'être largement développée afin de gagner en reconnaissance internationale.

Les indicateurs normatifs de l'EI

Korhonen (2006) définit quatre grands principes de l'EI basés sur une approche systémique de la durabilité:

- le bouclage : L'utilisation des déchets de matières locaux ou régionaux, des déchets énergétiques ou des renouvelables,
- la diversité : L'implication de nombreux acteurs et organisations (incluant les consommateurs),
- la coopération : Relations symbiotiques et collaboratives entre les acteurs et les organisations impliqués,
- la proximité : Cycles de vie des produits locaux et implication des acteurs locaux.

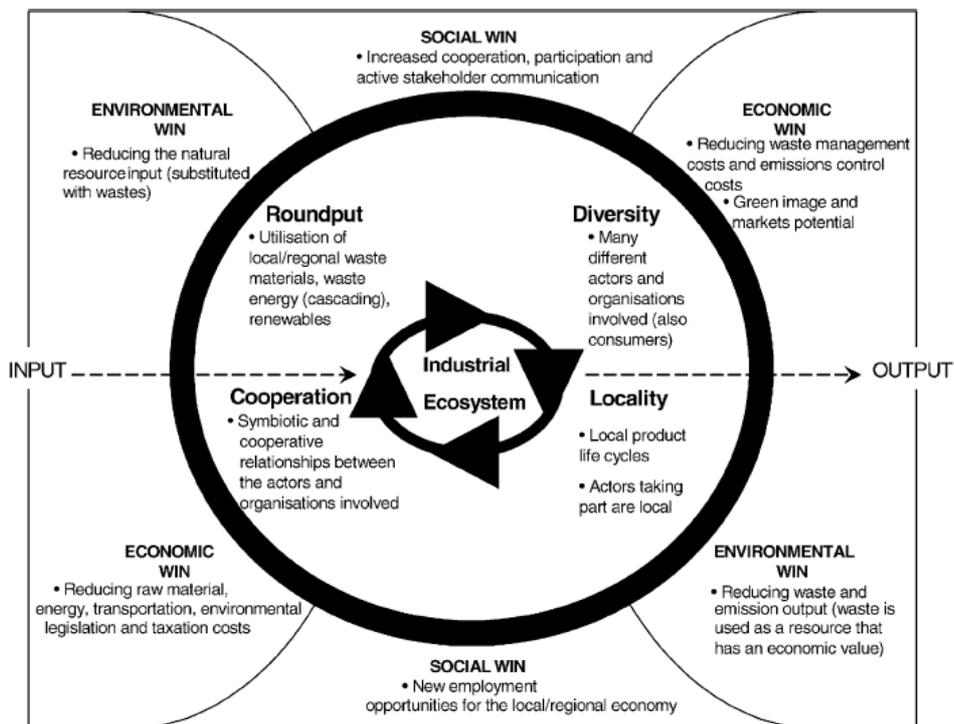


Figure 7 : Les indicateurs normatifs de l'EI (Korhonen, 2006)

Pour chacun de ces principes, des indicateurs normés et des outils ont été développés. Ces indicateurs permettent d'évaluer le caractère durable des systèmes complexes et comprennent :

- des indicateurs du métabolisme industriel et social : repérage, suivi et analyse des flux de matières et d'énergie au sein des systèmes sociaux et industriels et entre eux.

- Structure du système et composantes du système : calcul des composantes du système et des acteurs impliqués ainsi que le type d'acteurs (publics/privés, petite ou grande structure) et leur secteur d'activité industrielle.
- Organisation du système : comprendre les interactions et les relations entre les différents acteurs et composantes du système : coopération, compétition, influence, etc...
- L'utilisation de l'espace par le système, échelles et influences spatiale et géographique : quelle est la taille du système ? Quelle est le rayon d'influence des fonctions et des activités du système ? Limites du système ? Où et comment est localisé le système ?

2.2. FACTEURS DETERMINANTS ET PARAMETRES CLEFS DE L'EI

Cette revue bibliographique a permis d'identifier les facteurs ou les paramètres déterminants pour l'EI, qui peuvent potentiellement servir comme indicateurs, à défaut d'être nommés comme tels.

2.2.1. Les critères de succès de la symbiose industrielle de Kalundborg

Les critères de succès de la symbiose industrielle de Kalundborg incluent les paramètres suivants (Erkman, 1998) :

- Le niveau de confiance des intervenants,
- La proximité géographique des industriels,
- La « petite » taille du réseau industriel,
- Les différences et les complémentarités du panache industriel,
- L'adaptation du système qui permet de changer facilement les procédés pour utiliser des déchets comme ressources,
- Une synergie pensée dès le développement de la zone industrielle.

Au-delà des critères de succès, la mise en place de la symbiose industrielle peut rendre le système vulnérable à cause notamment de l'auto-dépendance des entreprises, de la non prise en compte de solution de rechange si un des partenaires se retire de la symbiose industrielle, etc...

2.2.2. L'Ecodesign, le Regional Flow Diagram et Resources Utilization Map

Erkman (2003) a étudié dans quel contexte l'écologie industrielle pourrait être appliquée aux pays en voie de développement en effectuant des études de terrain en Inde entre 1996 et 2002. Dans ce contexte, il mentionne des schémas de fonctionnements environnementaux tels que l'Ecodesign, le *Regional Flow Diagram* (faisant intervenir des flux de matériaux, l'énergie, les aspects territoriaux et les ressources humaines) et le *Resources Utilization Map*.

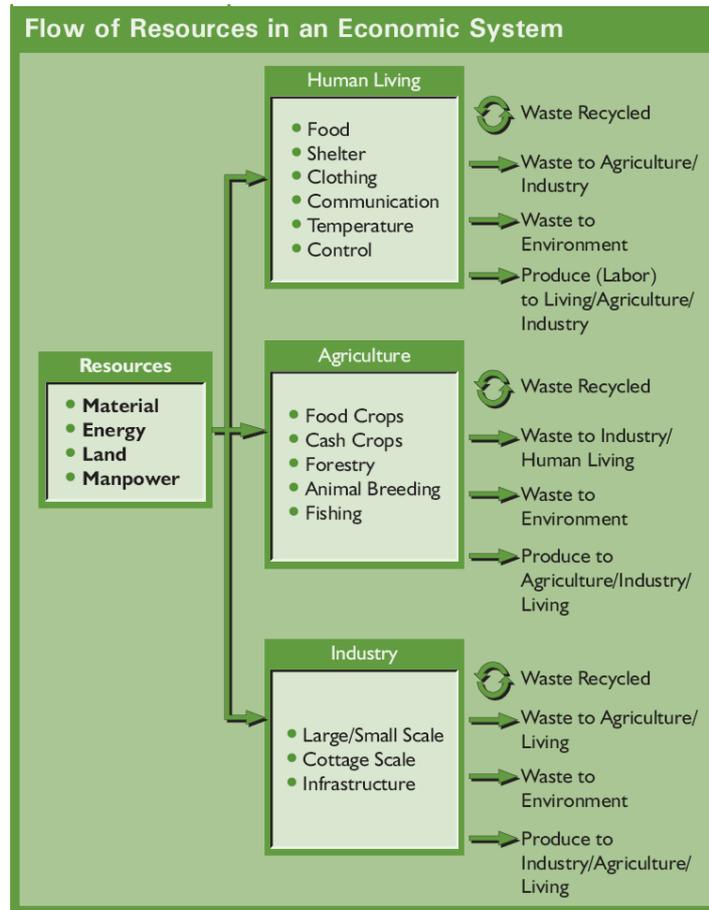


Figure 8 : Regional Flow diagram (Erkman, 2004)

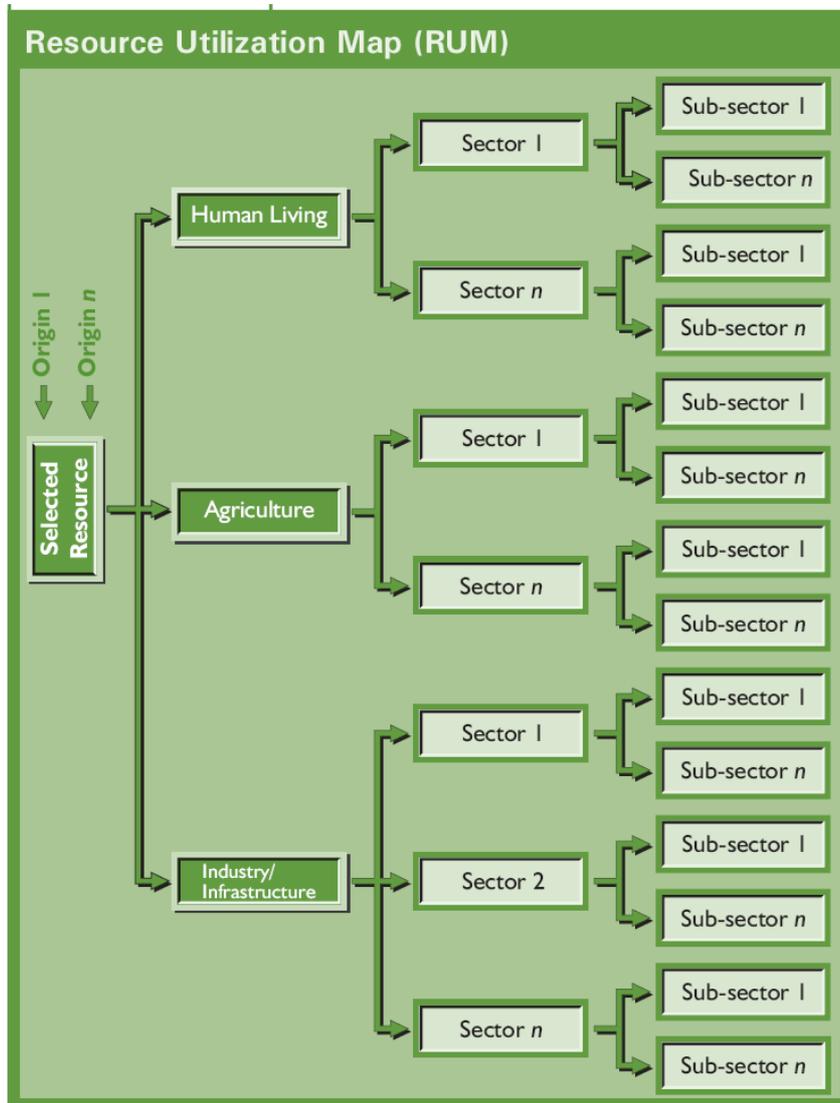


Figure 9 : Resource utilization map (Erkman, 2003)

2.2.3. Les facteurs de réussite et d'échec des parcs éco-industriels

Chertow (2007) propose un retour d'expérience sur l'application des concepts de l'écologie industrielle en analysant les facteurs de réussite et d'échec des parcs éco-industriels et des symbioses industrielles. Chertow conclut qu'il existe de nombreuses possibilités de symbioses industrielles non identifiées et qu'il est important de les identifier. Chertow mentionne les domaines et des paramètres clés de l'écologie industrielle ainsi que des bénéfices liés à l'écologie industrielle.

Les domaines et les paramètres pertinents au développement de l'écologie industrielle sont les suivants:

- Collaboration entre entreprises,

- Possibilités de synergies,
- Possibilités géographiques,
- La réutilisation des produits usés,
- Partage des infrastructures et des équipements,
- Provision conjointe des services.

Les bénéfices publics et privés liés au développement de l'écologie industrielle incluent :

- Disponibilité de la main d'œuvre,
- Accès au capital,
- Innovation technologique,
- Efficacité des infrastructures,
- Large développement économique,
- Remédiation des pollutions associées aux industries,
- Economies d'eau et de terrain,
- Réduction de gaz à effet de serre,
- Bénéfices financiers liés à la cogénération et au partage,
- Plantation d'arbres,
- Acceptation sociale des projets qui démontrent des bénéfices environnementaux,
- Création d'emplois,
- Incorporation de l'éducation environnementale dans les banlieues les plus pauvres et plus diversifiées,
- Partage des ressources (information, matériaux, eau, énergie, infrastructure et habitat naturel),
- Revitaliser les milieux urbains et ruraux, incluant les friches industrielles,
- Création et conservation des emplois,
- Encourager le développement durable.

Le succès de l'écologie industrielle est fortement dépendant des paramètres :

- Liés à l'organisation spontanée entre entreprise, appelée « Self organisation » en anglais : réduction des coûts, amélioration des revenus, développement du business et sécurisation d'un accès durable à l'eau et à l'énergie.
- Liés aux actions / fonctions de coordination : promotion de l'organisation des échanges, augmentation des échanges et amélioration de la communication interne et externe)

2.2.4. Les causes de succès du réseau NISP

Le programme national de symbiose industrielle (NISP) du Royaume Uni est le seul programme national de facilitation des synergies entre entreprises au monde (LRD, 2006). NISP favorise le dialogue entre entrepreneurs sur l'ensemble du territoire du Royaume Uni en les mettant en réseaux et en rendant accessibles les informations des entreprises sur leur flux et ressources.

Une étude de performance du programme NISP a été réalisée en exprimant les résultats du programme à l'aide des critères suivants :

- Environnementaux
 - o Tonnes de matières détournées des décharges,
 - o Tonnes de CO2 évitées,
 - o Tonnes de matières vierges économisées,
 - o Tonnes d'eau potable en moins utilisées,
 - o Tonnes de déchets dangereux supprimés.
- Sociaux
 - o Nombre d'emplois créés,
 - o Nombre d'emplois sauvés.
- Economiques
 - o Coût en moins pour les industriels,
 - o Vente en plus pour industriel,
 - o Investissement pour les installations de recyclages.

2.3. CONCLUSIONS

La notion d'indicateurs peut être très différente suivant les objectifs pour lesquels l'indicateur est développé et à quel type d'acteur il est destiné. Cette section montre que les indicateurs de l'EI ont des objectifs variés allant de l'évaluation d'un type d'industries, de la possibilité de reconversion d'une zone industrielle en éco-parc, de l'évaluation d'une symbiose industrielle existante, etc... C'est pourquoi il est nécessaire de définir la notion d'indicateur et le cadre conceptuel dans lequel il est défini et dans lequel il s'applique.

Les indicateurs de l'écologie industrielle existants portent principalement sur l'analyse et le bilan des flux et des ressources engendrées ou utilisées par un ensemble d'industries. Ces indicateurs ou critères ne sont pas forcément reconnus comme indicateurs « en tant que tels » mais permettent de rendre compte de la capacité des industries à se mettre en réseau pour optimiser les flux et obtenir une meilleure rentabilité tout en minimisant l'impact des industries sur l'environnement (minimisation de l'utilisation des ressources et minimisation de la production de déchets).

Les indicateurs des flux de matières (et d'énergie) sont dans la majorité des cas systématiquement pris en compte dans l'analyse d'une symbiose industrielle. Cependant, on remarque que les indicateurs sociaux et économiques, ainsi que les indicateurs permettant de mesurer les externalités et les impacts environnementaux sont plus rarement pris en compte. Les indicateurs sociaux correspondent presque uniquement au nombre d'emplois créés.

Dans la littérature, beaucoup des indicateurs « dits » de l'EI sont développés pour un type d'industrie (exemples : production d'énergie, gestion des déchets, industries métallurgiques, cimenterie et extraction de granulats, etc.) et ne décrivent pas forcément un tissu industriel.

Les indicateurs sont d'une complexité variable et sont plus ou moins intégrés selon le contexte. On note que les indicateurs se référant aux principes thermodynamiques sont souvent les plus complexes à établir car ils nécessitent beaucoup de données

d'entrée. Les indicateurs de comptabilisation des flux sont souvent plus simples à établir (en l'absence de difficultés relatives à l'aspect confidentiel des données).

La revue des indicateurs de l'écologie industrielle montre que la notion d'indicateur dans le domaine de l'écologie industrielle n'est pas très explicite : Il existe un certain nombre de paramètres qui permettent de définir les flux et les ressources entrant en compte dans des schémas d'écologie industrielle, mais ces paramètres ne font pas toujours référence à la notion d'indicateur.

De plus, des indicateurs décrivant l'aspect de "capacité de charge" (carrying capacity : un écosystème donné ayant une capacité de charge bien définie pour chaque espèce) qui est un concept clé de l'écologie biologique ne semble pas être pris en compte dans l'évaluation de l'écologie industrielle.

3. Indicateurs d'éco-efficacité

Cette section décrit brièvement les indicateurs existants dans le domaine de l'éco-efficacité et l'application potentielle de l'éco-efficacité au domaine de l'écologie industrielle.

3.1. DEFINITION DE L'ECO-EFFICACITE ET SES INDICATEURS

3.1.1. Définition de l'éco-efficacité

L'éco-efficacité est un outil qui doit permettre de mesurer le progrès interne et de communiquer les niveaux de performance économique et environnementale (Fet, 2002). L'éco-efficacité est le ratio entre la performance économique et la performance environnementale. Contrairement au concept de développement durable, elle ne prend pas en compte les aspects sociaux (voir figure ci-dessous).

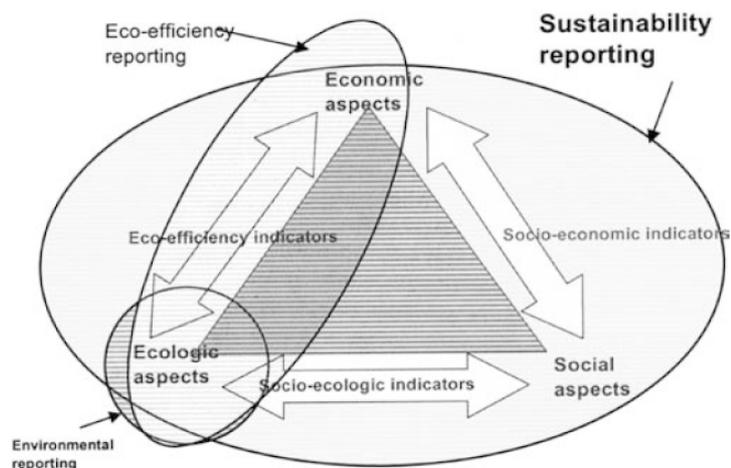


Figure 10 : Positionnement de l'éco-efficacité par rapport au développement durable.

L'éco-efficacité peut s'exprimer de la manière suivante :

Eco-efficacité = Valeur du produit ou du service / Influence environnementale

D'après le World Business Council for Sustainable Development (WBCSD, 2001), l'amélioration de l'éco-efficacité repose sur les sept éléments suivants:

- réduction de la demande de matières pour les produits et services,
- réduction de l'intensité énergétique pour les produits et services,
- réduction de la dispersion des substances toxiques,
- augmentation de la recyclabilité des matières,

- maximisation de l'utilisation durable des ressources renouvelables,
- augmentation de la durabilité des produits,
- augmentation de l'intensité des services.

3.1.2. Indicateurs et contexte d'application

Verfaillie (2000) donne des exemples d'indicateurs de valeur de produits ou de services (quantité de biens ou de services produits ou fournis aux consommateurs, vente nette) ainsi que des exemples d'indicateurs d'influence environnementale (consommation d'énergie, consommation de matériaux, consommation d'eau, émissions de gaz à effet de serre, diminution de la couche d'ozone).

Verfaillie propose une structure volontaire et modulable pour les indicateurs de l'éco-efficacité. Cette structure peut accommoder des indicateurs génériques et des indicateurs spécifiques et est composée des cinq éléments suivants :

- La définition et terminologie reconnue pour les indicateurs économiques et environnementaux,
- Un jeu d'indicateurs majeurs qui suit des procédures de mesures largement reconnues et acceptées,
- Une procédure pour développer des indicateurs spécifiques représentatifs des spécificités de l'entreprise,
- Un moyen par lequel l'éco-efficacité peut être quantifiée,
- Des recommandations pour les entreprises sur la communication des mesures d'éco-efficacité.

Selon DeSimone (DeSimone et Popoff, 1997), des indicateurs devraient être développés afin de couvrir les sept recommandations définies par le WBCSD et permettant aux industriels d'améliorer leur éco-efficacité (voir ci-dessus).

BASF, 2000 a développé un modèle qui permet de mesurer l'éco-efficacité. Les indicateurs environnementaux du modèle comprennent la consommation de matériaux bruts, la consommation d'énergie, les émissions d'air et d'eau, la toxicité potentielle, le risque potentiel (voir schéma ci-dessous).

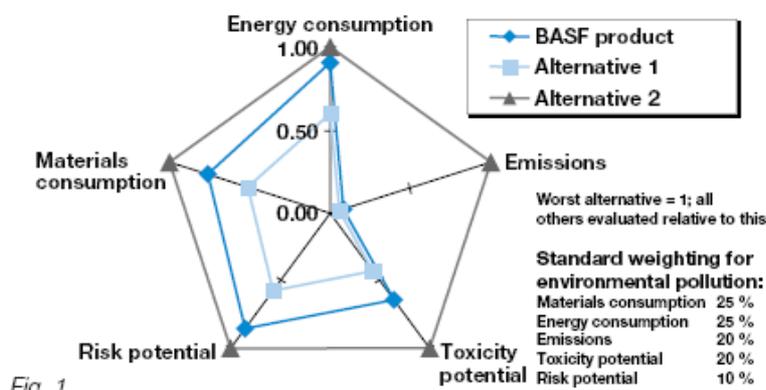


Figure 11 : Modèle de mesures de l'éco-efficacité, BASF, 2000

Le modèle propose une pondération des indicateurs comme suit :

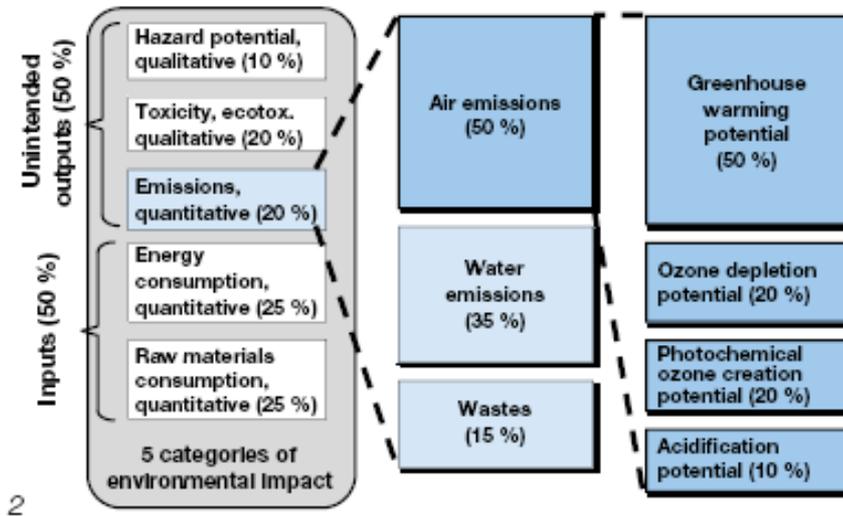


Figure 12 : Pondération des indicateurs, BASF, 2000

L'Agence Environnementale Européenne (EAA, 1999), en partenariat avec EUROSTAT, a développé une méthodologie pour suivre l'éco-efficacité à une échelle macro-économique. L'EAA propose les indicateurs environnementaux majeurs suivants :

- indicateurs d'entrée : ressources de matériaux bruts, consommation d'énergie, occupation du territoire, consommation d'eau.
- indicateurs de sorties : acidification, effets de serre, diminution de l'ozone, déchets (dangereux), produits chimiques.

Ces composantes environnementales sont principalement associées aux pressions du modèle DPSIR (Driver, Pressure, State, Impact and Response). L'EAA postule qu'il est nécessaire d'ajouter des indicateurs relatifs à l'état des milieux (State). L'EAA définit deux catégories d'indicateurs qui combinent la mesure économique (e.g. PIB) (Y) et la mesure de l'utilisation de la nature (M) en calculant :

- L'éco-intensité: M/Y ,
- La productivité des ressources Y/M .

Trois indicateurs de base ont été conçus par la Table Ronde Nationale sur l'Environnement et l'Economie (TRNEE, 2001), à savoir l'indicateur d'intensité énergétique, l'indicateur de l'eau et l'indicateur des déchets. Ces indicateurs permettent d'aider les entreprises à évaluer leur performance au fil du temps. Ces trois indicateurs sont définis comme suit :

- Indicateur d'intensité énergétique : énergie consommée dans les limites du projet provenant de toutes les sources par unité de production ou services offerts ;

- Indicateur de l'eau : matière totale (directe et indirecte) qui entre dans la limite du projet - matière qui finit dans le produit et le coproduit par unité de production ou services offerts ;
- Indicateur des déchets : eau utilisée par unité de production ou services offerts

Une analyse dynamique des performances environnementales a été développée sur la base des principes de l'éco-efficacité (Kortelainen, 2008). Cette approche définit un indicateur de performance environnemental à partir de l'efficacité des techniques et de l'indice de Malmquist. L'indicateur de performance est le ratio de facteurs d'éco-efficacité normés entre un temps t et t' . Cet indicateur a été testé pour comparer les pressions environnementales entre les différents pays en Europe telles que le PM10, le potentiel d'acidification, le potentiel de réchauffement climatique et le potentiel de formation d'ozone au niveau de la troposphère.

3.2. APPLICATION DE L'ECO-EFFICACITE DANS LE DOMAINE DE L'ECOLOGIE INDUSTRIELLE

3.2.1. La prise en compte de l'éco-efficacité dans l'EI

L'utilisation de l'éco-efficacité pour la planification des zones industrielles n'est pas nouvelle. Grant (1997) montre que les efforts nécessaires pour mettre en application l'écologie industrielle et augmenter l'éco-efficacité ne consistent pas uniquement à améliorer les procédés industriels, mais aussi à minimiser la production, la génération de déchets et à appliquer les grands principes de l'EI.

Un modèle de réutilisation complexe des déchets produits par l'industrie minière de la péninsule de Kola, Russie, a été développé par le Centre Scientifique de Kola (Salmi, 2007) afin de promouvoir la réutilisation de déchets produits par une industrie comme ressource exploitable pour une autre industrie. L'éco-efficacité de ce modèle, ainsi que l'éco-efficacité du système actuel ont été évaluées entre les années 1985 et 2005. Les indicateurs d'éco-efficacité employés pour l'évaluation comprennent le ratio de la production nette (en tonne) sur les émissions spécifiques (en tonne) ou bien le ratio de la production nette (en tonne) sur les produits d'entrée nécessaires à la production (en tonne). L'éco-efficacité du modèle augmente au cours des années. Cette évaluation montre que le fonctionnement actuel du système (accompagné d'une prévention de la pollution produite en amont et de technologies traditionnelles de fin de vie) produit des émissions en quantité identique au modèle de réutilisation complexe.

L'université Norvégienne des Science et Technologies (NTU) étudie le développement d'un modèle utilisant l'éco-efficacité dans le contexte de l'écologie industrielle (Fet, 2003). Le NTNU a développé deux études de cas. Il utilise les principes de l'éco-efficacité pour promouvoir l'écologie industrielle.

Les résultats de ces études de cas montrent que :

- Il est important de développer des indicateurs qui permettent de mesurer les progrès et les changements au cours du temps.

- L'enjeu est de trouver des indicateurs de performance qui sont utiles au site de production, au cycle de vie du produit (« value chain ») et à la communauté locale où est implanté le site de production.
- Il est aussi très important de développer des indicateurs qui soient utiles aux parties prenantes et leur permettent de communiquer sur l'éco-efficacité et de véhiculer une bonne image.
- Les indicateurs de performance les plus pertinents étaient les gaz à effet de serre, les émissions de produits photochimiques s'oxydant à l'air, les émissions de métaux lourds et les émissions de dégagements acides.
- Il est possible d'utiliser des indicateurs de l'éco-efficacité afin de calculer le bilan des produits.

3.2.2. Les limites de l'éco-efficacité dans le domaine de l'EI

Les recherches du NTNU montrent que l'application de l'éco-efficacité dans un contexte plus large peut poser les problèmes suivants:

- Il n'existe pas de moyen de calculer la valeur créée tout au long du cycle de vie du produit.
- L'harmonisation des indicateurs de l'éco-efficacité et la mise en conformité de ces indicateurs par rapport aux exigences liées à la déclaration environnementale d'un produit (ISO 14001) ne sont pas évidentes à mettre en place.
- Un accord international sur les conditions d'utilisation des indicateurs de l'éco-efficacité dans le cadre de la déclaration environnementale ne sera pas facile à obtenir.

Huesemann (2004) montre qu'utiliser l'éco-efficacité comme seul facteur d'amélioration des systèmes industriels ne permet pas d'avoir une vision durable du secteur industriel. En effet, il considère que la notion d'éco-efficacité a ses limites car elle ne prend pas en compte les éléments suivants:

- le caractère limité des ressources non-renouvelables : les ressources non-renouvelables en minéraux sont limitées et ne peuvent pas être indéfiniment augmentées par le recyclage et les produits de substitution.
- les impacts environnementaux associés à l'utilisation des sources d'énergie renouvelable ou nucléaire à grande échelle.
- l'impact de la croissance démographique sur la croissance industrielle.

C'est pourquoi, l'amélioration de l'éco-efficacité est à elle seule insuffisante pour garantir la durabilité des systèmes industriels et une refonte des valeurs fondamentales de la société visant à se détacher de l'idée que « le bonheur est basé sur le confort matériel » est nécessaire.

Selon Korhonen (2007), l'éco-efficacité souffre d'un manque de vision globale et de buts réels car elle est basée sur la théorie dominante économique du système économique actuel. L'éco-efficacité devrait inclure les principes plus larges de la durabilité tels que définis dans le TNS. L'approche The Natural Step (TNS) framework définit les quatre grands principes de « durabilité » suivants :

- Au sein d'une société durable, la nature (la biosphère) n'est pas soumise à une augmentation systématique de :
 - o Concentrations en substances extraites de la croûte terrestre
 - o Concentrations en substances produites par la société
 - o Sa dégradation par des moyens physiques
- De plus dans cette société, les hommes ne sont pas soumis à des conditions qui diminuent systématiquement leur capacité à pouvoir subvenir à leurs besoins.

Les critères des principes de durabilité incluent l'échelle spatiale, l'échelle temporelle, la flexibilité, la participation, la démocratie, les incertitudes, la créativité, la direction et la complémentarité.

4. Indicateurs de développement durable

La revue des indicateurs du développement durable porte principalement sur le contexte dans lequel ils sont établis (cadre conceptuel), sur les indicateurs environnementaux, économiques et plus particulièrement sur les aspects sociaux (qui sont peu développés dans le cadre de l'écologie industrielle).

Les indicateurs utilisés dans le domaine du développement durable sont nombreux et de nature très diverse : ils peuvent être des indicateurs énergétiques et environnementaux (Svensson, 2005), des indicateurs physiques (tels que la demande matérielle globale au niveau national, la quantité physique de production d'une entreprise (Schenk, 2007), des indicateurs sociaux, des indicateurs économiques et/ou des indicateurs institutionnels. Ces indicateurs sont définis dans des cadres conceptuels bien précis et sont, comme pour les indicateurs de l'EI, plus ou moins intégrés et reflétant une approche plus ou moins systémique.

Cette section n'est pas le résultat d'une revue exhaustive des indicateurs du développement durable mais s'attache à mettre en avant, les éléments suivants :

- Les cadres conceptuels dans lesquels sont définis les indicateurs du développement durable.
- Les indicateurs relatifs aux aspects sociaux.
- Les indicateurs globaux et en particulier l'exemple de la capacité de charge.
- L'application du développement durable à l'EI.

4.1. CADRE CONCEPTUEL DES INDICATEURS DU DEVELOPPEMENT DURABLE

4.1.1. Cadres conceptuels et indicateurs des structures internationales

Farsari et al, 2002 ont étudié les indicateurs du développement durable existants, leurs rôles, leurs avantages et leurs inconvénients. Dans cette étude, plusieurs schémas conceptuels de développement des indicateurs du développement durable sont répertoriés :

- Le schéma Pressions-Etat-Réponse de l'Organisation pour la Coopération et le Développement Economique (OCDE). Cette approche vise à fournir une vue synthétique des principales menaces pesant sur le développement durable et des politiques mises en œuvre pour y faire face. L'OCDE recommande de classer les indicateurs (principalement environnementaux) en trois catégories :
 - les indicateurs représentatifs des pressions exercées sur l'environnement,
 - les indicateurs représentatifs des changements induits dans l'état de l'environnement,

- les indicateurs représentatifs des réponses apportées par les politiques publiques.
- Le schéma Banque Mondiale : le développement des indicateurs du développement durable a pour objectif de mesurer la richesse des nations.
- L'approche des Nations Unies (Commission of Sustainable Development - CSD) : 140 indicateurs ainsi que les méthodologies de développement associées y sont définis. Les indicateurs sont organisés en quatre catégories: sociale, environnementale, économique et institutionnelle.

L'office statistique des communautés européennes, Eurostat, a défini une méthode pour que tout pays européen puisse relever les flux de matières dont son économie dépend (LRD, 2006). Environ la moitié des pays industrialisés du monde – dont la Suisse, la Belgique, mais pas encore la France – tient à jour une comptabilité de ses flux physiques. Cela permet d'évaluer le taux de ponction sur des stocks limités de ressources.

Des Indicateurs Communs Européens (ICE) ont été définis par des groupes de travail européens (Commission européenne, 2000) et permettent de mesurer le développement durable à l'échelle locale. Toute collectivité peut mettre en œuvre ces indicateurs afin de comparer sa « performance » avec d'autres collectivités. Il existe 10 indicateurs communs européens incluant :

- la satisfaction du citoyen à l'égard de la collectivité locale,
- l'effet de l'activité humaine au niveau local sur les évolutions climatiques du globe,
- la mobilité locale et le transport des personnes,
- la proximité des espaces verts publics et des espaces de base,
- la qualité de l'air ambiant au niveau local,
- les modes de transports des enfants scolarisés,
- les modes de gestion des pouvoirs des entreprises de niveau local s'exerçant en accord avec les principes de développement durable,
- la pollution sonore,
- l'exploitation durable des sols,
- et les produits favorisant la durabilité.

Des sous-indicateurs sont définis pour chacune de ces catégories d'indicateurs.

4.1.2. Système intégré de compatibilité environnementale économique - SEEA

Le système satellite des comptes intégrés de l'économie et de l'environnement (SEEA) créé par les Nations Unies en 1993, est basé sur certains indices qui définissent des flux monétaires et des stocks de richesse en tenant compte des effets sur l'environnement. Les flux monétaires englobent les ressources et les emplois, la production totale, la demande finale, la formation du capital reproductible et l'accumulation sur l'étranger. Les stocks sont en revanche définis par le capital reproductible, le capital non reproductible et par la richesse. Le SEEA, à travers des agrégats spécifiques, intègre certains éléments environnementaux dans la comptabilité nationale, et notamment (Giovanelli, 2004) :

- l'utilisation quantitative et qualitative du capital naturel non reproductible; ce capital est constitué par un élément économique bien défini car lié directement à des transactions de marché (par exemple, minéraux, combustibles fossiles, bois de forêts faisant l'objet d'une exploitation commerciale, etc.) et par un élément non économique, indépendant de tout échange monétaire, comme c'est le cas des sols non utilisés à des fins productives.
- le transfert de ressources du capital naturel non économique au capital économique, par exemple quand des terrains non exploités sont achetés à des fins économiques.

Grace aux nouveaux concepts et outils développés (métabolisme sociétal, écoproduit intérieur net ou EPI, TIOP, AFM, AFE, ACV) le système de comptabilité environnementale économique (SEEA) fournit les informations requises pour améliorer les politiques économiques selon les grandes lignes suivantes :

- Evaluation des performances économiques,
- Réforme de politiques économiques,
- Evaluation des effets de l'action des pouvoirs publics.

4.1.3. Cadre conceptuel et indicateurs du développement durable définis par la France

L'IFEN (IFEN, 2001) définit un schéma modulaire du développement durable comprenant 9 modules :

- Efficacité de l'appareil productif (38 indicateurs, intensité et efficacité de l'utilisation des inputs (couplage/découplage), structure de l'appareil collectif, les produits et leurs impacts (couplage/découplage)),
- Prélèvements et pollutions critiques (29 indicateurs, les prélèvements des ressources critiques, pollutions critiques et rejets de polluants rémanents),
- Gestion du patrimoine (34 indicateurs, patrimoine naturel critique, patrimoine humain, patrimoine bâti, infrastructures et patrimoine culturel, patrimoine administratif, institutionnel et juridique),
- Répartition des inégalités spatiales (52 indicateurs, capacité de charge et question de densité, polarisation et inégalités spatiales, accès aux services, réseaux et mobilité, consommation d'espaces sensibles),
- Globalisation et gouvernance (20 indicateurs, pressions sur les ressources et l'environnement du reste du monde, relations économiques au reste du monde, relations sociales et institutionnelles avec le reste du monde),
- Accès aux revenus, services et patrimoines, inégalités et exclusions (40 indicateurs, inégalités écologiques et exposition aux risques, inégalité de l'accès aux biens et aux services, inégalités de revenus et d'exclusion),
- Satisfaction, préférences, engagement, politiques et gouvernance (29 indicateurs, préférence et satisfaction déclarées, comportement exprimant opposition ou désaffectation, engagement et participation de la société civile, gouvernance et institutions),
- Principes de responsabilité et de précaution (26 indicateurs, institution et prise en compte du Développement Durable (DD), legs négatifs aux générations futures, prévention, précaution et prise en compte du DD),

- Résilience, adaptabilité, flexibilité, développement de la réactivité (39 indicateurs, vulnérabilité et dépendance environnementale, adaptabilité et flexibilité socio-économiques et techniques, gestion des risques et crises).

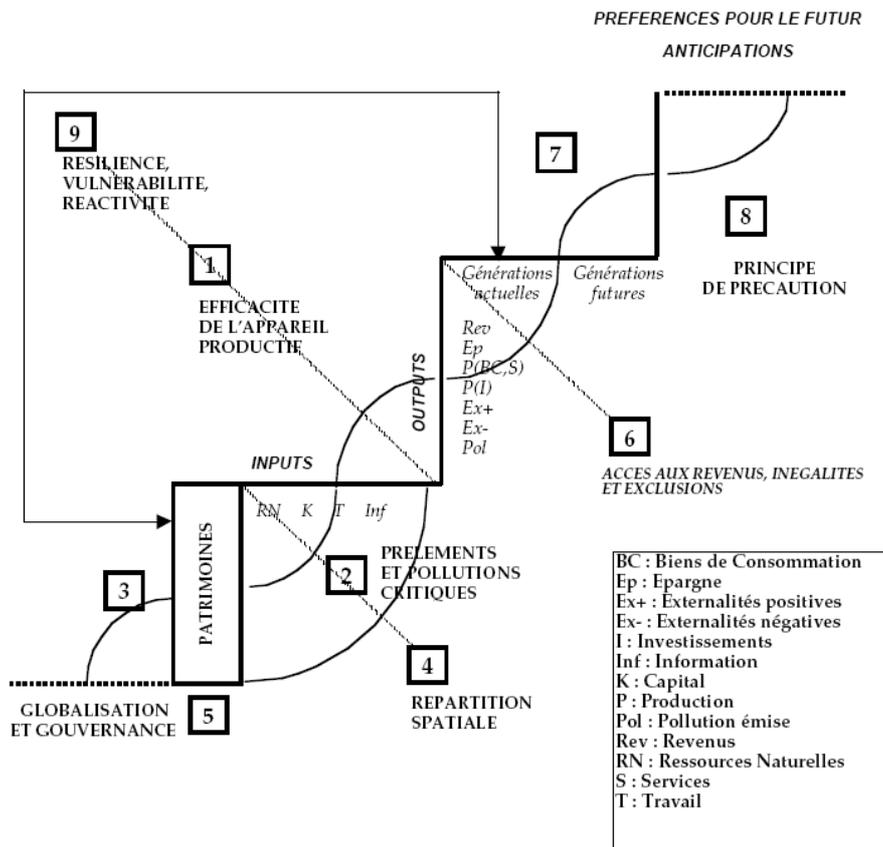


Figure 13 : Schéma modulaire du développement durable défini par l'IFEN.

La Stratégie Nationale de Développement Durable (SNDD) adoptée en 2003 par le Comité Interministériel du Développement Durable prévoit, parmi ses actions, la mise en place d'indicateurs de suivi de la SNDD et l'élaboration d'indicateurs nationaux de développement durable qui devront être mis à la disposition du citoyen. Un rapport du groupe de travail interministériel sur les indicateurs de développement durable SNDD, 2004 présente une liste de 45 indicateurs classés selon les trois « piliers » du DD :

- économique (indicateurs synthétiques, amélioration de la croissance potentielle, équité intergénérationnelle et qualité de la gestion patrimoniale, innovation et recherche et mode d'insertion dans la mondialisation).
- environnemental (changement climatique, ressources environnementales, modes de production et de consommation, Santé-Environnement).
- socio-sanitaire (cohésion sociale, mode de vie et santé et valorisation des ressources humaines).

Le Ministère Français chargé de l'Environnement définit un cadre de référence pour les projets territoriaux de développement durable (MEDD, 2005). Ce cadre de référence permet de rendre compte dans le cadre de l'Agenda 21 des actions territoriales dans le domaine du développement durable et définit des éléments précis d'évaluation (dont les indicateurs) afin de suivre les plans d'action du développement durable mis en œuvre.

4.1.4. Méthodologies et indicateurs du développement durable développés pour la mesure de performance écologique à l'échelle d'une ville ou d'un territoire

Barles (2007) utilise l'EUROSTAT à l'échelle de la ville de Paris afin de quantifier les flux. Les principes et les indicateurs de l'EUROSTAT utilisés sont exprimés ci-dessous.

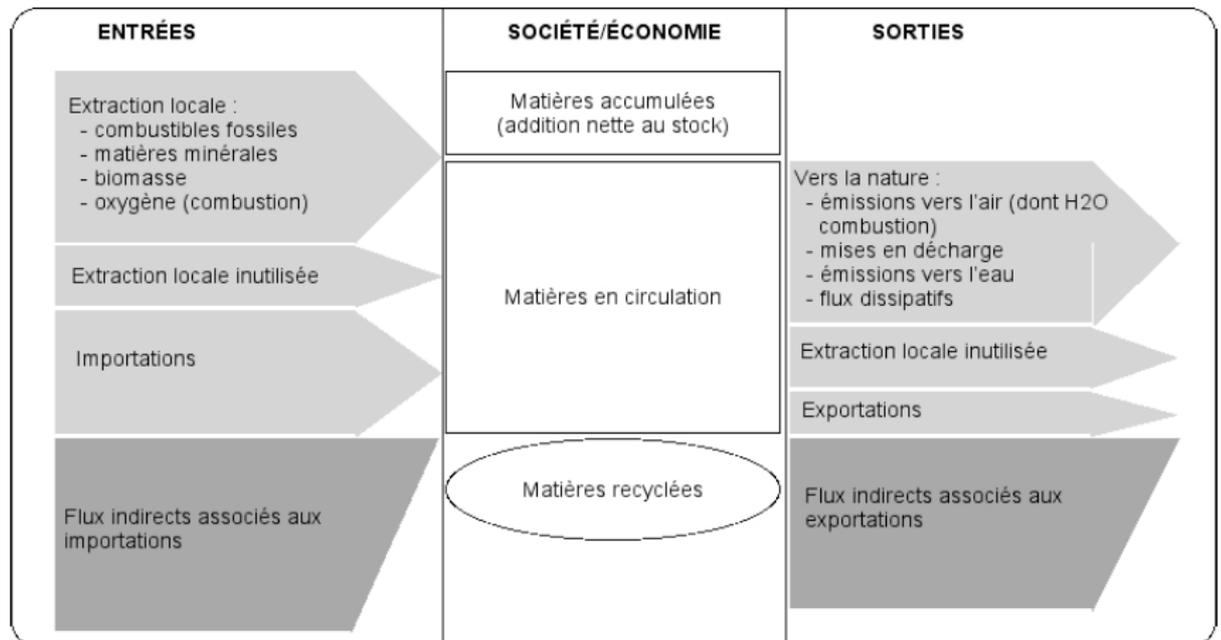
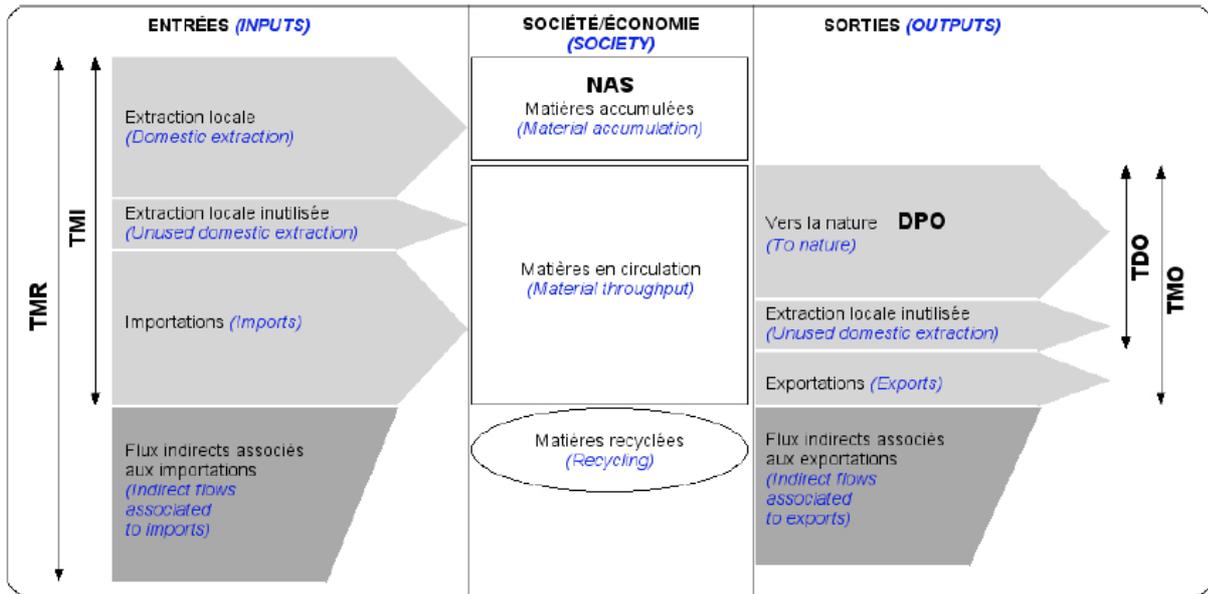


Figure 14 : Schéma de principe de l'analyse des flux de matières brutes (EUROSTAT, 2001)



TMI : Total Material Input
 TMO : Total Material Output
 DPO : Direct Processed Output
 DMI (non représenté ici) : Direct Material Input (extraction locale utilisée + importations)
 DMO (non représenté ici) : Direct Material Output (DPO + exportations)
 TMI = NAS + TMO

TMR : Total Material Requirement
 TDO : Total Domestic Output
 NAS : Net Addition to Stock
 DMI = NAS + DMO

Figure 15 : Principaux indicateurs issus du bilan de matières (Barles, 2007)

L'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région de l'Île de France (IAURIF, 2005) propose l'organisation d'une base d'indicateurs de développement durable en région Île de France. Cette approche peut se résumer en deux étapes :

- une déclinaison régionale d'indicateurs globaux (mondiaux, européens et/ou nationaux)
- une « création » d'indicateurs, dits « locaux », tenant compte de la spécificité du territoire francilien, et des données originales et disponibles qui peuvent être mobilisées par l'IAURIF et ses partenaires.

4.1.5. Approche participative de la détermination des indicateurs de développement durable à l'échelle d'une mine

Afin de s'assurer que les indicateurs du développement durable sont utiles aux différents acteurs engagés dans le processus de la prise de décisions, Chamaret (2007) a sélectionné et déterminé les indicateurs de développement durable pour la mine d'Arlit au Niger en incluant fortement la participation des parties prenantes. L'approche participative est décrite ci-dessous.

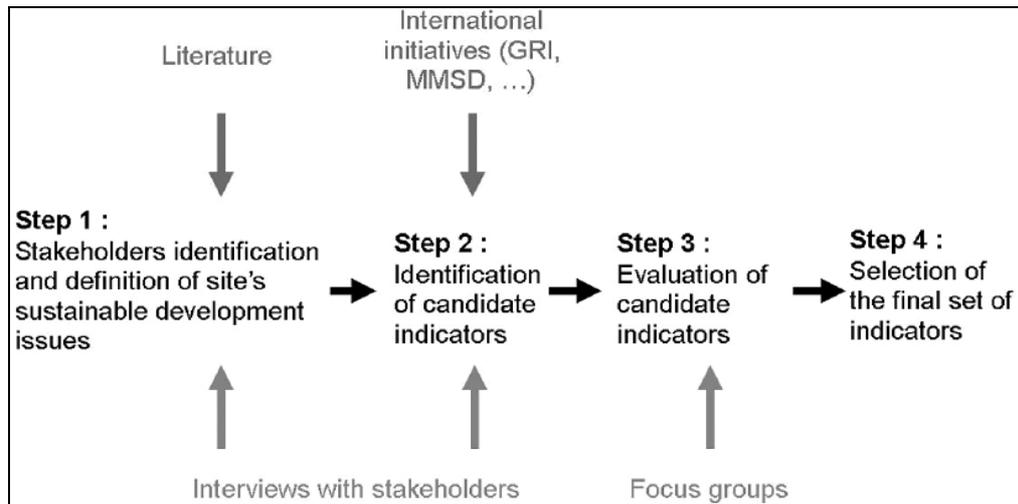


Figure 16 : Les quatre étapes de l'approche participative de la sélection des indicateurs, Chamaret 2007

Des indicateurs ont été développés pour les catégories suivantes :

- Performances économiques et financières,
- Redistribution des bénéfices,
- Communauté locale,
- Santé et sécurité des employés,
- Emploi et équité,
- Salaires et conditions de travail,
- Gestion environnementale,
- Impacts environnementaux,
- Gestion des ressources et des produits.

4.2. LES INDICATEURS SOCIAUX

Les indicateurs sociaux décrits brièvement dans la section 4.1 comprennent :

- Les indicateurs sociaux définis par les Nations Unies
- Indicateurs de l'ICE :
 - o La satisfaction du citoyen à l'égard de la collectivité locale,
 - o La mobilité locale et le transport des personnes,
 - o La proximité des espaces verts publics et des espaces de base,
- Les indicateurs de l'IFEN :
 - o Accès aux revenus, services et patrimoines, inégalités et exclusions (40 indicateurs, inégalités écologiques et exposition aux risques, inégalité de l'accès aux biens et aux services, inégalités de revenus et d'exclusion),
 - o Satisfaction, préférences, engagement, politiques et gouvernance (29 indicateurs, préférence et satisfaction déclarées, comportement exprimant opposition ou désaffectation, engagement et participation de la société civile, gouvernance et institutions),

- Les indicateurs selon le SNDD (France) : socio-sanitaire (cohésion sociale, mode de vie et santé et valorisation des ressources humaines).
- Les indicateurs définis à l'échelle d'une entreprise :
 - o Communauté locale,
 - o Santé et sécurité des employés,
 - o Emploi et équité,
 - o Salaires et conditions de travail.

Ces indicateurs ont été définis au sein de cadres conceptuels comportant pour la plupart de fortes composantes environnementales et économiques. Cependant certains auteurs pensent que l'aspect social devrait être replacé au centre du développement durable. Cette approche est décrite plus en détail dans les sections ci-dessous.

4.2.1. Cadre conceptuel et indicateurs sociaux du développement durable

Peret (2002) recommande de distinguer les indicateurs sociaux des indicateurs de développement durable et des extensions de la comptabilité nationale pour les raisons suivantes :

« ...Le champ des indicateurs sociaux pose un double problème de frontière, avec les indicateurs de développement durable et avec les tentatives d'élargissement de la comptabilité nationale.

La notion officielle de développement durable inclut des aspects sociaux. On pourrait donc envisager de s'en tenir à une meilleure prise en compte du social dans les indicateurs de développement durable. En pratique, cependant, il est douteux que l'on gagne en lisibilité en mélangeant d'emblée les questions environnementales et les questions sociales. Pour deux raisons au moins : elles relèvent de modes d'analyse différents (scientifico-technique dans un cas, sociologique de l'autre) et, surtout, elles s'inscrivent dans une temporalité différente (le principal intérêt de la notion de développement durable est d'inciter à l'inscription des politiques publiques dans la longue durée. Or, en pratique, l'horizon des politiques sociales est plus court). Maintenir la dualité des deux approches n'interdit évidemment pas les recouvrements et les articulations: les indicateurs de développement durable peuvent inclure certains indicateurs sociaux (démographie, état sanitaire, voire capital humain et social) et les indicateurs sociaux peuvent inclure des indicateurs de qualité de la vie à caractère environnemental (qualité de l'air, de l'eau, des paysages...)....»

Boulangier (2004) estime que les indicateurs sociaux du développement durables sont soumis à trois exigences :

- rigueur scientifique,
- efficacité politique,
- légitimité démocratique.

Boulangier décrit les indicateurs du développement durable : L'IDH, ou indicateur de développement humain, a été créé par le Programme des Nations Unies pour le

développement (PNUD) ; L'ISEW, ou Index of Sustainable Economic Welfare ; Le GPI, pour Genuine Progress Indicator ; Le MDP, ou Measure of Domestic Progress, est un dérivé de l'ISEW proche du GPI ; L'indicateur de bien-être économique et social de Osberg et Sharpe ; et Le HWI, ou Human Well-Being Index. ISEW semble être l'indicateur le plus adapté car il inclut l'environnement, l'écologie, la diminution des ressources et le réchauffement climatique.

Boulanger propose la structure suivante pour organiser les indicateurs du développement durable :

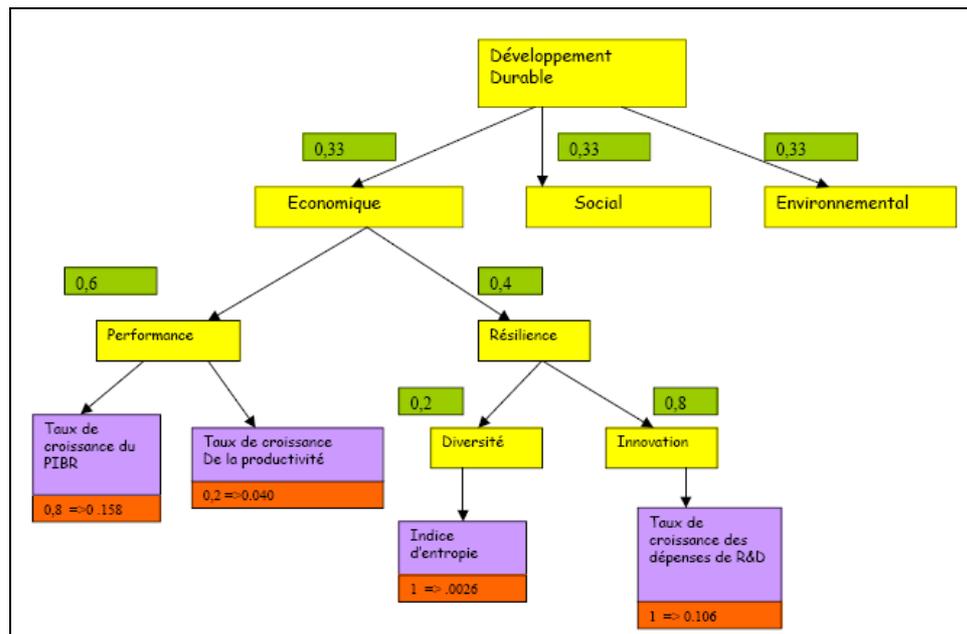


Figure 17 : L'arbre du développement durable – Boulanger, 2004

Les indicateurs peuvent jouer trois rôles :

- base d'information pour la prise de décision politique,
- fonction d'évaluation interne et externe,
- constituer des éléments de la définition collective d'un monde commun / bien commun et moyens de les atteindre.

Quatre approches sont décrites pour la définition des indicateurs (Boulanger) :

- en terme de pilier (approche sectorielle : environnement, société et économie sont séparés),
- quantification des ressources,
- quantification du bien-être,
- approche normative.

L'approche normative privilégie une conception procédurale et permet d'envisager le développement durable en termes normatifs. De ce point de vue, serait considéré comme développement durable toute forme d'action sociale satisfaisant à des normes et/ou des procédures. Cette approche a été privilégiée par les suédois (SEPA, 2001).

Les indicateurs de l'approche normative s'articulent autour des 4 grands thèmes suivants :

- efficience,
- égalité / participation,
- adaptabilité,
- valeurs et ressources.

| | Secteurs Systèmes | Ressources Capitaux | Hommes | Normes |
|----------------------|--|---|---|--|
| Développement | ? | ? | Bien-être <i>Capabilities</i> Fonctionnements | Efficacité Participation Liberté... |
| Durabilité | Equilibre Découplage Co-évolution... | Epargne véritable Empreinte écologique <i>Maximum sustainable yield</i> | ? | Equité Efficience Résilience Prudence |
| Echelle | Etat Région | Etat Planète | Civilisation | Local - global |

Figure 18 : Espaces de dimension du développement durable

D'après Boulanger, des quatre perspectives discutées (secteurs systèmes, ressources capitaux, hommes et normes), seule celle en termes de normes peut être considérée comme complète, puisqu'elle nous informe autant sur les normes de développement que sur celles de durabilité. L'approche en termes de ressources fait l'impasse sur le développement et celle sur le bien-être escamote la problématique de la durabilité. Mais, bien entendu, il s'agit de types idéaux, de modèles purs. Dans les faits, les différentes approches s'entremêlent. Et, de ce point de vue, la combinaison du bien-être et des ressources semble le meilleur compromis pour guider un processus de construction d'un système d'information sur le développement durable.

4.2.2. Indicateurs de « Qualité de vie » selon l'approche Londonienne

La commission Londonienne (London SDC, 2005) en charge du développement durable a défini, en 2004, 20 indicateurs pour mesurer les actions de développement durable à Londres. Ces indicateurs renseignent les domaines suivants :

- Responsabilité
- Respect
- Ressources
- Résultats

Les indicateurs et leur progression sont décrits dans le schéma ci-dessous. Les indicateurs relatifs aux ressources sont particulièrement applicables au concept d'écologie industrielle.



Figure 19 : Les indicateurs du développement durable à Londres et leur évolution

4.3. LES INDICATEURS GLOBAUX

Des indicateurs globaux regroupant les trois piliers du développement durable incluent l'IHD, l'ISEW, le GPI, le MDP ou le HWI. Une des notions intégratrices qui prend en compte les limites en ressources naturelles disponibles sur un territoire donnée est la capacité de charge. La capacité de charge est une notion importante qui est décrite plus en détails ci-dessous.

4.3.1. Capacité de charge "Carrying capacity"

Brodhag (2000) définit la capacité de charge et la capacité de charge appropriée comme suit :

Capacité de charge - « Le concept de capacité de charge, défini par des écologistes et des pastoralistes, est largement utilisé en gestion des ressources naturelles. Il désigne traditionnellement "le nombre (maximum ou optimum selon les définitions) d'animaux qu'un territoire donné peut tolérer sans que la ressource végétale ou le sol ne subissent de dégradation". »

Capacité de charge appropriée – « C'est un peu synonyme d'empreinte écologique. Par "appropriée", on entend saisie, réclamée ou occupée. L'empreinte écologique nous

rappelle que nous nous approprions la capacité écologique pour la nourriture, les fibres, l'énergie, l'absorption des déchets, etc. Dans les régions industrielles, une grande partie de ces matières en circulation est importée ».

Rees (1996) distingue trois classes de capital naturel :

- le capital naturel renouvelable (êtres vivants et écosystèmes qui sont en équilibre et utilisent l'énergie solaire et la photosynthèse),
- le capital naturel ré-approvisionable (par exemple cycle de l'eau),
- le capital non renouvelable (tel que les énergies fossiles).

Rees définit un ensemble d'indicateurs de la capacité de charge :

- La capacité de charge appropriée: la capacité appropriée d'assimilation de déchets ou de flux de ressources biophysiques, par unité de temps et pour une économie ou une population définie.
- L'empreinte écologique: la surface de sols productifs ou d'écosystème aquatique nécessaire pour produire les ressources utilisées et pour assimiler les déchets générés pour une population définie ayant un certain niveau de vie matériel.
- Personal planetoid : Il s'agit de l'empreinte écologique par capita.
- Fair Earthshare : la surface de sols productifs écologiquement et disponible per capita sur terre (en 1995, elle était de 1,95ha per capita). A fair seashare : la surface d'océan productif écologiquement divisé par le nombre d'habitant (elle est d'environ 5ha).
- Ecological Deficit : Un déficit écologique apparaît lorsque l'empreinte écologique d'une région définie (par exemple un pays) est supérieure à la biocapacité correspondante), c'est-à-dire lorsque la consommation dépasse la production naturelle de cette région.
- Sustainability Gap : une mesure de la diminution de la consommation (ou de l'augmentation de l'efficacité de matières ou d'énergie) requise pour éliminer le déficit écologique.

La capacité de charge permet de prendre en compte le fait que les ressources naturelles sont présentes en quantités finies et ne sont pas inépuisables. La capacité de charge pourrait être réduite en mettant en place des taxes sur la baisse de stocks, des quotas de ressources commercialisables et des taxes écologiques.

4.4. LA PRISE EN COMPTE DU DEVELOPPEMENT DURABLE DANS L'EI

Les principes de l'EI s'appuient sur une partie des grands principes de développement durable. On note cependant que l'utilisation des indicateurs de développement durable au sein de l'EI (en particuliers des indicateurs sociaux) est fort limitée. Quelques exemples décrivant la prise en compte des indicateurs du développement durable dans l'EI sont rapportés ci-dessous.

Chang (2005) définit un système d'indicateurs servant d'outil d'aide à la décision pour l'élaboration d'une société basée sur le recyclage (Recycling Oriented Society : ROS). Il s'appuie sur les principes du développement durable et de ses indicateurs (voir

tableau ci-dessous) pour définir un système d'indicateurs relatif à la symbiose environnementale.

| Summary of indicator systems related to ROS | |
|--|--|
| SD indicator systems (SDI) | For example, Taiwan SD indicator system (2003), IUCN Barometer of Sustainability (1997), UNDP/CSO Indicators of SD (1996), Indicators of SD for the U.K. (1996), and so on. ^a Additionally, some cities have been developing their own sustainability indicators, to try and measure quality of life issues meaningfully. These city's indicator systems have usually been developed on the basis of the local Agenda 21 consultations, or in response to national guidelines. Examples of such cities include Taipei (2003), London (2003), Santa Monica (2003), Sweden (2000), Seattle (1998), San Francisco (1996), and so on. ^b |
| Indicator systems related to ROS were developed by Japan | For example, Resource Utilization Healthiness (1999), Eco-Life Indicators system (1999), Urban Ecology Indicators system (1988), and indicator system proposed by Kanagawa prefecture (2002). ^c |
| Additional relevant indicator systems related to ROS | The eco-efficiency indicators (EEI) designed by the World Business Council on Sustainable Development (WBCSD). ^d The indicators for evaluating environmental performance proposed by ISO (International Organization for Standardization) 14031. ^e |

^a Summary of indicator systems according to [39–42]; ^b according to [43–48]; ^c according to [22, 49]; ^d according to [50, 51]; ^e according to [52, 53]

Figure 20 : Systèmes d'indicateurs du développement durable liés ROS

Les indicateurs utilisés dans le système d'évaluation de la symbiose environnementale ont été établis pour cinq grands critères : les espaces verts, l'utilisation des ressources, l'utilisation de l'énergie, l'utilisation de l'eau et les émissions de gaz carbonique.

| Crucial resource and environmental issues and indicators adopted in this case study city | | Some of relevant indicators adopted in Japan ^a | |
|--|--|---|---|
| Crucial issues | Representative indicators | Issue summarization | Indicators and objectives |
| Local green spaces | The rate of local green spaces | Green spaces | e.g. The urban park area per capita should increase by n% comparing with year y. e.g. The forest area in water resource conservation region should increase to n hectares by year y. |
| Resource recovery | The rate of resource recycling | Resources use | e.g. The rate of resource recycling should be higher than n%. e.g. The total household waste should be reduced by n% compared with year y. e.g. The rate of exchanging and reusing of industrial wastes should increase by n% compared with year y. e.g. The paper consumption should decrease by n% compared with year y. e.g. The rate of recycling paper use in office should increase by n% compared with year y. |
| Energy consumption pattern change | The rate of reduction of nonrenewable energy use | Energy use | e.g. Vehicle fuel consumption should be reduced by n% compared with year y. e.g. The use of electrical appliances in office should be reduced by n% compared with year y. e.g. The low-pollution vehicles should account for n% in public vehicles. |
| Freshwater conservation | The rate of freshwater conservation | Water use | e.g. The tap water consumption should be maintained to the average in year y. |
| Greenhouse effect abatement | The rate of reduction of CO ₂ emissions | CO ₂ emissions | e.g. By year y ₁ , the CO ₂ emissions per capita should be reduced to the level in year y ₂ . |

^a Some of the relevant indicators adopted in Japan were collected and summarized by this study according to [22] and the relevant indicators published on <<http://www.shonan.ne.jp/~gef20/1/progress2001.html>>

Figure 21 : Synthèse de facteurs et d'indicateurs environnementaux

L'approche ROS ainsi que le système d'évaluation de la symbiose environnementale et ses indicateurs développés par Chang sont dits applicable à l'EI.

Palm (2005) utilise le Système de Comptabilité Environnementale et Economique (SEEA) dans le domaine de l'EI.

4.5. CONCLUSIONS

Il existe de nombreux cadres conceptuels dans lesquels les indicateurs du développement durable sont définis. Ces structures sont élaborées à différents niveaux international, national, régional ou d'un site. Les indicateurs sont dans la majorité définis pour les trois piliers du développement durable (environnement, société et économie) à l'exception du système SEEA qui ne prend pas en compte les aspects sociétaux et des systèmes définis par les Nations Unis et l'IFEN qui prennent en plus en compte les aspects institutionnels. Les systèmes d'évaluation du développement durable comprennent dans la majorité des cas de nombreux indicateurs et de nombreux critères.

Les différents cadres conceptuels définissent des indicateurs plus ou moins intégrés. Notamment, des indices tels que l'IHD, l'ISEW, le GPI, le MDP ou le HWI et les indicateurs se rapportant à la capacité de charge peuvent être dits « globaux ».

Les indicateurs du développement durable ne sont en général pas utilisés dans leur globalité dans le cadre de l'EI (en particulier les indicateurs sociaux).

5. Références

- Adoue, 2004. ADOUE C. Méthodologie d'identification de synergies éco-industrielles réalisables entre entreprises sur le territoire français/ thèse de doctorat. 2004 Troyes. 224p.21
- Adoue, 2006. Recherche des synergies éco-industrielles sur le territoire du canton de Genève. Rapport publique, mars 2006.16
- Adoue, 2006. Recherche des synergies éco-industrielles sur le territoire du canton de Genève. Rapport publique, mars 2006.21
- Baas et al., 2004. Bass, L. W. and F. Boons. 2004. An industrial ecology project in practice: exploring the boundaries of decision-making levels in regional industrial systems. *Journal of Cleaner Production* 12(8-10): 1073-1085.14
- Barles, 2007. Barles S., Mesurer la performance écologique des villes et des territoires: Le métabolisme de Paris et de l'Île de France. Rapport de recherche final pour le compte de la ville de Paris. Janvier 2007.48
- BASF, 2000. www.basf.de/basf/img/position/effizienz_e.pdf38
- Boulanger, 2004. Les indicateurs de développement durable: un défi scientifique, un enjeu démocratique. Les séminaires de l'Iddri, n°12. Juillet 2004.....11, 51
- Brodhag, 2000. Brodhag C., Glossaire pour le développement durable. Volume 1. Agora21.org, 2001.....55
- Chamaret, 2007. Chamaret A., O'Connor M., Recoché G., Top-down / bottom-up approach for developing indicators for mining application to the Arlit uranium mines (Niger). *International Journal Sustainable Development*, Vol. 10, Nos. 1/2, 2007.49
- Chang, 2005. Chang Cheng, Lu L-T., Lin S-S. Using a set of strategic indicator systems as decision-making support implement for establishing a recycling oriented society. *Environ Sci & Pollut Res* 12 (2) (2005).....56
- Chertow, 2007. "Uncovering"Industrial Symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, 2007. Volume 11, Number 1. 11-3033
- Commission européenne, 2000. http://europa.eu.int/comm/environment/urban/common_indicators.htm.....44

| | |
|--|--------|
| Connelly, 2001a. Connelly L., Koshland C.P., Exergy and industrial ecology - Part 1: An exergy based definition of consumption and a thermodynamic interpretation of ecosystem evolution. Exergy Int. J. (3) (2001)..... | 18 |
| Connelly, 2001b. Connelly L., Koshland C.P., Exergy and industrial ecology - Part 2: A non dimensional analysis of means to reduce resource consumption. Exergy Int. J. (4) (2001) | 18 |
| DeSimone et Popoff, 1997. Eco-efficiency: the business link to sustainable development. The MIT press. Cambridge..... | 38 |
| Dewulf, 2005. Jo Dewulf, Herman Van Langenhove. Integrating industrial ecology principles into a set of environmental sustainability indicators for technology assessment. Resources, Conservation and Recycling 43 (2005) 419-432 | 12, 19 |
| EAA, 1999. Making sustainability accountable. Eco-efficiency, resource productivity and innovation. Topic report 11/1999 | 11, 39 |
| Erkman 2004. L'écologie industrielle: une stratégie de développement, Exposé de Suren Erkman. Bruxelles, 5 juin 2004..... | 13 |
| Erkman, 1998. Vers une écologie industrielle. Comment mettre en pratique le développement durable dans une société hyper-industrielle, Paris. Editions Charles Léopold Mayer | 13, 15 |
| Erkman, 2003. Suren Erkman & Ramesh Ramawamy. Applied Industrial Ecology. A New Platform for Planning Sustainable Societies (Focus on Developing Countries with Case Studies from India), Bangalore, Aicra Publishers, 2003. | 32 |
| Erkman, 2005. Ecologie industrielle à Genève. Premiers résultats et perspectives. Service cantonale de la direction des déchets..... | 15 |
| EUROSTAT, 2001. EUROSTAT, Economy wide material flow accounts and balances with derived resource use indicators. A methodological guide, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2001..... | 48 |
| Farsari et al, 2002. Y. Farsari and P. Prastacos, 2002. Sustainable Development Indicators: An Overview. International Conference "Citizens, Sustainable Development, Environment", Foundation for Mediterranean Cooperation, Athens, Greece, April 2002. | 43 |
| Fet, 2002. Fet M. A., Michelsen O. Industrial Ecology and Eco-efficiency - An introduction to the concepts. Paper presented at the NATO/CCMS pilot study on cleaner products and processes, Vilnius, Lithuania, May 12-16th, 2002..... | 37 |
| Fet, 2003. Fet M. A., Michelsen O. Industrial ecology research program at Norwegian University of Science and Technology. Clean Tech Environ Policy 5 (2003) 95-100 | 13, 41 |

| | |
|--|----|
| Gabarrell, 2003. Gabarrell X, Sendra C., Vicent T. Indicators used to plan an environmental strategy to convert a cluster into an eco-industrial park, presented at International Society for Industrial ecology (ISIE) Conference 2003, University of Michigan..... | 16 |
| Giovanelli, 2004. Comptabilité environnementale en tant qu'instrument pour le développement durable. Rapport..... | 45 |
| Grant, 1997. Grant J. Planning and designing industrial landscape. Journal Cleaner Prod Vol 5, 1997..... | 40 |
| Hau, 2003. Hau J.L., Bakshi B.R.. Ecological Cumulative Consumption Analysis, An approach for including ecological products and services, presented at the International Society for industrial ecology (ISIE) conference 2003, University of Michigan..... | 20 |
| Hau, 2004. Hau J.L., Bakshi B.R.. Promise and problems of emergy analysis. Short communication. Ecological Modelling 178 (2004) 215-225..... | 20 |
| Hau, 2004a. Hau J.L., Baksho B. R. Expanding Exergy Analysis to Account for Ecosystem Product and Services. J. Environmental science & technology (2004), vol. 38..... | 20 |
| Huesemann, 2004. Huesemann MH., The failure of eco-efficiency to guarantee sustainability: Future challenges for industrial ecology. Environmental Progress (23) 2004..... | 42 |
| IAURIF, 2005. L'organisation d'une base d'indicateurs de développement durable en région île de France. Conseil Régional d'île de France. IAURIF, Mai 2005..... | 49 |
| IFEN, 2001. Propositions d'indicateurs de développement durable pour la France. Collection "Etudes et travaux", n°35. Novembre 2001..... | 45 |
| Jacobsen, 2006. Industrial Symbiosis in Kalundborg, Denmark. A Quantitative Assesment of Economics and Environmental Aspects. Journal of Industrial Ecology. Volume 10, Number 1-2, P.239-255..... | 24 |
| Korhonen, 2004. Korhonen J., Okkonen L., Niutanen V. Industrial ecosystem indicators - direct and indirect effects of integrated water and by-product management and energy production. Clean Techn Environ Policy 6 (2004) 162-173..... | 23 |
| Korhonen, 2006. Four prescriptive principles versus four prescriptive indicators. Journal of Environmental Management.2007, vol. 82, no1, pp. 51-59 [9 page(s) (article)] (1 p.1/4)..... | 30 |
| Korhonen et al, 2007. Special issue of the Journal of Cleaner Production, "From Material Flow Analysis to Material Flow Management": strategic sustainability | |

| | |
|---|----|
| management on a principle level. Journal of Cleaner Production 15 (2007) 1585-1595 | 42 |
| Kortelainen, 2008. Kortelainen M. Dynamic environmental performance analysis: A Malmquist index approach. Ecological Economic 64 (2008) | 40 |
| Kuckshinrichs, 2003. Kuckshinrichs W., Huettner K-L., Poganietz W-R. A set of sustainability indicators for metallic raw material flows - A decision support approach. presented at the International Society of Industrial Ecology (ISIE) Conference 2003, University of Michigan. | 22 |
| London SDC, 2005. 2005 Report on London's Quality of Life indicators. London Sustainable Development Commission. | 53 |
| LRD, 2006. Eclaircissement sur le vocabulaire de l'écologie industrielle. La Revue Durable. Numéro 25. Juin-Juillet 2007. p 20..... | 44 |
| Makansi, 2003. Makansi J., Stallard S., Earney T. The E-Equity Index: The use of Industrial Ecology Principles to Benchmark sustainable business practices for power generation facilities. presented at International Society for Industrial Ecology (ISIE) conference 2003, University of Michigan..... | 22 |
| Martaud, 2006. Ressources en granulats: une démarche pour la prise en compte d'indicateurs de développement durable. | 29 |
| Marti / Ragué, 2006. Outlers Magali. ECOSIND. Guide de recommandations pour la planification et la gestion des zones industrielles avec l'écologie industrielle. Un produit ECOSIND. Novembre 2006..... | 25 |
| MEDD, 2005.Cadre de référence pour les projets territoriaux de développement durable..... | 47 |
| Moriguchi, 2007. Moriguchi Y. Material flow indicator to measure progress toward a sound material-cycle society. J. Mater Cycles Waste Manag (2007) 9: 112-120. | 17 |
| NISP. National Industrial Symbiosis Program. Site Internet: www.nisp.org.uk..... | 34 |
| Palm, 2005. Palm V. Using the System of Environmental and Economic Accounts (SEEA) in Industrial Ecology, presented at the International Society Industrial Ecology (ISIE) conference, 2005, Stockholm, Sweden. | 57 |
| Pedersen et al, 2006. Pederson O. G., De Haan M., The system of environmental and economic accounts - 2003 and the economic relevance of physical flow accounting. Journal of industrial ecology. Volume 10, Number 1-2, 19-42..... | 12 |
| Peret, 2002. Indicateurs sociaux, Etat des lieux et Perspectives. Les papiers du CERC. N°2002-01. Janvier 2002 | 51 |

| | |
|--|----|
| Rees, 1996. Rees W. E. Revisiting Carrying Capacity: Area-Based Indicators of Sustainability. Population and Environment: A journal of Interdisciplinary Studies Volume 17, Number 13, January 1996..... | 55 |
| Salmi, 2007. Salmi O. Eco-efficiency and industrial symbiosis: a counterfactual analysis of mining community. Journal of cleaner production 15 (2007)..... | 41 |
| Schenk, 2007. Schenk N. J., Moll H. C. The use of physical indicators for industrial energy demand scenarios. Ecological Economics 63 (2007) 521-535..... | 43 |
| Sendra, 2007. Sendra C., Gabarrell X., Vicent T. Material flow analysis adapted to an industrial area. Journal of Cleaner Production 15 (2007). 1706-1715..... | 16 |
| SEPA, 2001. Sustainable development. Indicators for Sweden - a first set 2001. Statistiska Swedens. Swedish Environmental Protection Agency. 2001..... | 53 |
| SNDD, 2004. Indicateurs nationaux de développement durable: lesquels retenir?, CNDD, Ministère de l'Ecologie et de Développement Durable, la Documentation française coll. Réponses environnement, 2004..... | 47 |
| Svensson, 2005. Svensson N., Roth L., Eklund M. and Martensson A. Environmental relevance and use of energy indicators in environmental management and research. Journal of Cleaner Production. Volume 14, Issue 2, 2006, Pages 134-145..... | 43 |
| Tranchant, 2004. Tranchant C., Vasseur L., Ouattara I., Vanderlinden J.-P. L'écologie industrielle: une approche écosystémique pour le développement durable. http://www.francophonie-durable.org | 14 |
| TRNEE, 2001. TRNEE, 2001. Indicateurs de l'éco-efficacité. Calcul des indicateurs de l'éco-efficacité = Guide à l'intention de l'industrie..... | 40 |
| Verfaillie et al., 2000. Verfaillie, H. A. and Bidwell, R. 2000. Measuring eco-efficiency - a guide to reporting company performance. WBCSD. http://wbcسد.org/newscenter/reports/2000/MeasuringEE.pdf | 38 |
| Vigon, 2002. Vigon B., Brunetti T., Gadkari V., Butner S., Engel-Cox J., Towards a sustainable cement industry. Substudy 9: Industrial Ecology in the cement industry, March 2002..... | 29 |
| WBCSD, 2001. WBCSD. Measuring eco-efficiency - A guide to reporting company performance, Genève, 2001..... | 37 |
| Yang et al., 2006. Yang L., HU S., Chen D., Zhang D. Exergy analysis on eco-industrial systems. Science in China: Series B Chemistry 2006 Vol.49 No3 281-288. | 20 |
| Yong, 2007. Yong R., The circular economy in China. J. Mater Cycles Waste Manag. (2007) 9: 121-129..... | 23 |



Centre scientifique et technique
Service Environnement et Procédés
3, avenue Claude-Guillemain

BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34