



LOUVAIN
School of Management

UNIVERSITE CATHOLIQUE DE LOUVAIN
LOUVAIN SCHOOL OF MANAGEMENT

Economie circulaire, compétitivité ?

Promoteur : Thierry Brechet

Mémoire- recherche présenté par
De Temmerman Yann

En vue de l'obtention du titre de
Master en en ingénieur de gestion

Année académique 2014-2015

Table des matières

Introduction	1
---------------------------	----------

PARTIE 1 :

Les grands enjeux de notre économie

1. La fin d'un modèle ?	3
1.1 Un processus trop linéaire	3
1.2 Une croissance liée à la production	5
1.3 Et maintenant ?	6
2. Etude de cas sur les métaux : Développement de deux réalités affectant les entreprises	7
2.1 Présentation	7
2.2 La hausse des prix et de leur volatilité	9
2.2.1 Les réserves et l'extraction de minerais	9
2.2.2 L'offre et la demande	11
2.2.3 La composante financière	14
2.3 Le risque de rupture d'approvisionnement	17
2.3.1 La filiale minière	18
2.3.1 Le recyclage	19
3. Conclusion	23

PARTIE 2 :

Analyse de la compétitivité de l'économie circulaire à travers trois démarches et un modèle.

1. Le concept d'économie circulaire	27
2. Le concept de compétitivité économique	28

3. La démarche d'éco-conception	31
3.1 Présentation	31
3.2 Exemple.....	33
3.3 Les caractéristiques d'un produit éco-conçu	34
3.4 Mise en place.....	39
3.4.1 L'équipe	39
3.4.2 Les objectifs parcourus par la démarche.....	39
3.5 Analyse de la compétitivité	40
3.5.1 Au niveau de la compétitivité prix.....	40
3.5.2 Au niveau de la compétitivité hors-prix	41
3.5.3 Conclusion	43
4. La démarche d'écologie industrielle	45
4.1 Présentation	45
4.2 Exemple.....	46
4.3 Similitude entre parcs éco-industriels	48
4.4 Mise en place.....	49
4.4.1 Etudier le métabolisme industriel	49
4.4.2 Identifier les synergies potentielles.....	49
4.4.3 Evaluer la faisabilité	50
4.5 Analyse de la compétitivité	52
4.5.1 Au niveau de la compétitivité prix.....	52
4.5.2 Au niveau de la compétitivité hors-prix	54
4.5.3 Conclusion	55
5. La démarche de reverse supply chain	57
5.1 Présentation	57
5.2 Exemple principal	58
5.3 Mise en place.....	60
5.3.1 Les activités principales.....	60
5.3.2 Les obstacles	62

5.4 Analyse de la compétitivité	63
5.4.1 Au niveau de la compétitivité prix	63
5.4.2 Au niveau de la compétitivité hors-prix	64
5.4.3 Conclusion	65
6. L'économie de la fonctionnalité : Modèle centré sur l'usage ou le résultat.....	67
6.1 Présentation	68
6.2 Exemple d'un service orienté usage	69
6.3 Mise en oeuvre	71
6.3.1 B2B	71
6.3.2 B2C	72
6.4 Analyse de la compétitivité	73
6.4.1 Au niveau de la compétitivité prix	73
6.4.2 Au niveau de la compétitivité hors-prix	74
6.4.3 Conclusion	75
Conclusion générale	77
Bibliographie.....	80
Annexes	87

Introduction

« McKinsey révèle que l'économie circulaire permettrait de réaliser une économie nette minimale de 380 milliards de dollars par an de matières premières en Europe ». (Ellen Macarthur, 2014)

380 milliards de dollars, un montant plus de deux fois supérieur au coût que représente actuellement la pollution atmosphérique en Europe¹. Mais l'économie circulaire c'est quoi ? Tout part d'une vision différente vis-à-vis de la gestion de nos ressources naturelles. Par exemple, un ordinateur usagé, c'est un déchet à mettre en décharge ou un appareil riche en ressources naturelles qu'il faut récupérer ? L'économie circulaire invite à la réflexion sur nos modes de production et de consommation. C'est un concept assez large qui s'inscrit dans le cadre du développement durable. L'économie circulaire recouvre différents modèles économiques et démarches qui convergent vers une utilisation plus durable des ressources naturelles.

L'objet de ce mémoire est d'analyser les facteurs de compétitivité de l'économie circulaire au travers des démarches d'éco-conception, d'écologie industrielle, de reverse supply chain et du modèle d'économie de la fonctionnalité.

Ces démarches et ce modèle sont souvent associés à l'écologie, mais étudier les impacts environnementaux qui en découlent ne sera pas la finalité de ce travail. La plupart des entreprises n'investissent pas dans des projets dont les bienfaits sont uniquement écologiques, sauf dans le cas où une entreprise désire travailler sur sa responsabilité sociétale. Le but de ce mémoire est donc de montrer que les bienfaits de ces démarches et de ce modèle ne sont pas qu'écologiques mais qu'ils peuvent aussi être économiques, qu'ils peuvent permettre à une entreprise de conforter sa compétitivité.

Dans la première partie, nous reviendrons sur deux caractéristiques de notre économie : une vision linéaire de nos processus de production et de consommation, ainsi qu'une économie basée sur la production, sur le volume des ventes. Nous citerons les grands enjeux des prochaines décennies, dont l'épuisement de certaines ressources naturelles. A partir de cela, nous nous intéresserons à deux réalités affectant les entreprises. D'une part des prix des ressources naturelles à la hausse et plus volatiles, et d'autre part des risques de rupture d'approvisionnement. Nous étudierons ces réalités via une étude de cas sur une ressource

¹ Estimé au maximum à 172 milliards de dollars annuellement par l'Agence européenne pour l'environnement (2015)

naturelle en particulier, les métaux, afin d'avoir une vision plus précise de la situation actuelle, et surtout comprendre comment nous sommes arrivés là. Pour cela, nous irons plus loin que le concept de Hotelling qui veut que plus une ressource naturelle se raréfie, plus son prix augmente. Nous développerons différents facteurs influençant les prix et l'approvisionnement des métaux. Nous nous intéresserons aux mines, aux techniques d'extraction, à la loi de l'offre et la demande et même aux échanges de métaux sur les marchés organisés. Nous terminerons avec l'analyse des deux canaux d'approvisionnement principaux en métaux : la filiale minière et le recyclage. Grâce à cette étude, nous identifierons quelques aspects sur lesquels les entreprises doivent travailler si elles veulent optimiser leur consommation de ressources naturelles.

Une fois les enjeux analysés, nous entrerons dans la seconde partie où nous aborderons de manière plus globale les démarches d'éco-conception, d'écologie industrielle, de reverse supply chain et le modèle d'économie de la fonctionnalité. Ils seront chacun présentés individuellement et illustrés à l'aide d'un exemple. Nous nous intéresserons à la mise en œuvre de ces démarches et de ce modèle, en reprenant les activités à organiser, ou les aspects auxquels les entreprises doivent porter attention. Nous constaterons que ces démarches et ce modèle s'apparentent à l'économie circulaire mais l'appliquent de manière différente. En effet, nous commencerons par étudier la conception de produits durables via l'éco-conception et terminerons par la découverte d'un modèle économique plus récent : l'économie de la fonctionnalité. Cette dernière se revendique de proposer des biens aux consommateurs différemment qu'en leur vendant la propriété. Finalement, nous analyserons les facteurs de compétitivité prix et hors-prix de ces démarches et de ce modèle. Pour la compétitivité prix, nous montrerons comment ils peuvent réduire ou stabiliser les coûts de l'entreprise. Pour la compétitivité hors-prix, l'accent portera sur les innovations, sur la réputation de l'entreprise et sur les marchés cibles.

Il s'agit d'une approche générale de trois démarches et d'un modèle faisant partie de l'économie circulaire. Il est évident que chaque entreprise ne bénéficiera pas des mêmes avantages et que les facteurs de compétitivité ne seront pas identiques d'une entreprise à une autre.

PARTIE 1 : Les grands enjeux de notre économie

Dans cette première partie, nous commencerons par développer deux fondements de notre économie. Il s'agit d'une vision linéaire de nos processus de production et de consommation, et d'une économie basée sur la production, le volume des ventes.

Ensuite, nous citerons les grands enjeux des prochaines décennies, dont l'épuisement de certaines ressources naturelles. Nous traiterons cet enjeu en profondeur via l'étude d'une ressource naturelle en particulier : les métaux. L'objectif de cette étude sera de faire le point sur la situation actuelle, de comprendre comment nous en sommes arrivés là, et surtout d'analyser deux réalités affectant directement les entreprises : la hausse des prix et leur volatilité ainsi que le risque de rupture d'approvisionnement. Nous développerons différents facteurs influençant les prix et l'approvisionnement des métaux. Nous nous intéresserons aux mines, aux techniques d'extraction, à la loi de l'offre et la demande et même à l'échange de métaux sur les marchés organisés. Nous terminerons avec l'analyse des deux canaux d'approvisionnement principaux en métaux : La filiale minière et le recyclage.

Grâce à cette étude, nous identifierons quelques aspects sur lesquels les entreprises doivent travailler si elles veulent optimiser leur consommation de ressources naturelles.

Il ne sera donc pas encore question d'économie circulaire, mais bien d'identifier quelques enjeux et problématiques actuels qui impliquent des modifications pour les entreprises.

1. La fin d'un modèle ?

1.1. Un processus trop linéaire

Dans leurs travaux respectifs, la fondation Ellen Macarthur (2012) et des auteurs comme Le Moigne (2014), Sempels et al (2013) ou De Guillebon et al (2013) prônent la transition de notre économie vers une nouvelle économie. Certains la nomment éco-économie, d'autres économie durable. Une économie où les démarches et les modèles de l'économie circulaire pourraient constituer un outil de compétitivité. Les entreprises devront s'adapter aux défis écologiques, économiques et sociaux auxquels nous serons confrontés dans le futur. Ces auteurs ont défini l'économie circulaire en opposition à une vision linéaire de notre économie,

caractérisée par ses modes de production, d'efficacité économique et de consommation datant des prémices de l'industrialisation.

Avec cette vision linéaire, la vie d'un produit peut être résumée en quatre activités : extraire–fabriquer–consommer–jeter, comme vous pouvez le constater sur la figure 1.

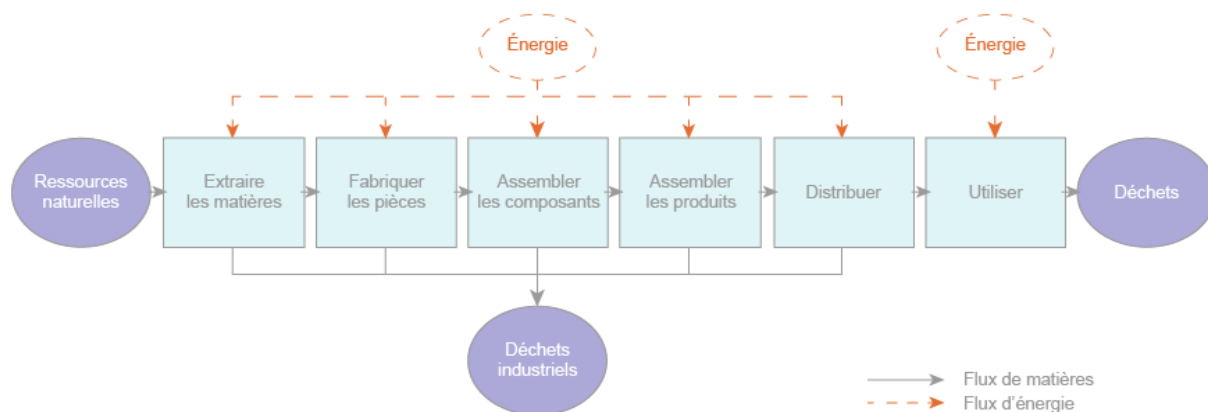


Figure 1 : Vision linéaire de l'économie (Le Moigne 2014)

Dans ce type d'économie, plusieurs étapes sont nécessaires pour arriver à un produit fini ².

- Les matières premières sont extraites ou récoltées
- Ces matières premières doivent être traitées pour être transformées en pièces détachées.
- Ces pièces sont alors assemblées en modules qui permettront ensemble de créer et d'obtenir le produit final.
- Les produits finis sont introduits dans un réseau de distribution et achetés par des consommateurs ou d'autres entreprises.
- Une fois que les produits ne seront plus utiles, peu importe la raison, ils seront jetés.

Nous constatons que les ressources naturelles (matériaux, énergie, ...) consommées tout au long du cycle de vie du produit ne sont pas récupérées ni recyclées. En d'autres termes, toute ressource naturelle consommée est destinée à disparaître.

² Dans ce travail, nous utiliserons souvent le terme « produit ». Il n'est pas à prendre au sens de la distinction entre les produits et les services. Il est utilisé comme représentant de tout objet matériel ayant suivi un processus de production et qui se retrouve sur notre marché de consommation.

1.2. Une croissance liée à la production

En plus de cette linéarité, les entreprises ont développé une économie basée sur le volume des ventes. Une économie où le résultat et la croissance dépendent principalement de la production et du nombre de produits vendus.

Les produits ont donc été conçus pour rendre efficace ce type d'économie. Les ressources naturelles et l'énergie étant disponible à prix démocratique, il n'était pas intéressant de s'en préoccuper tant que la production était assurée. Le fait que les ressources naturelles puissent être un jour épuisées n'était pas encore d'actualité. La main d'œuvre étant plus coûteuse que les ressources, Un grand nombre de celles-ci ont été épuisées pour compenser le prix de la main d'œuvre.

En résumé, l'économie consomme des ressources naturelles sans les recréer et incite à la consommation pour stimuler la croissance économique.

Nous constatons que la durabilité des produits n'était pas au centre des préoccupations. De fait, un produit durable n'inciterait pas un rachat et pourrait représenter un frein à la croissance. Il faut donc pousser à la consommation pour vendre plus.

Pour vendre plusieurs fois un produit similaire au même consommateur, les entreprises ont mis en place différentes stratégies. Une d'entre elles est le concept d'obsolescence programmée. Il consiste à rendre intentionnellement un produit obsolète après un nombre d'usages déterminé, afin que le client procède à son renouvellement.

Différentes techniques peuvent être utilisées pour diminuer la durée de vie d'un produit, notamment l'obsolescence technologique, où la technologie rend un produit irréparable et donc à remplacer ... Par exemple, en le rendant indémontable (batterie soudée des premiers iPhone,...) ou encore en ne vendant pas, ou à un prix très élevé des pièces de rechange.

On peut aussi identifier l'obsolescence psychologique (ou esthétique), qui donne envie au consommateur de se séparer d'un produit fonctionnel pour se procurer un produit plus récent.

1.3. Et maintenant ?

Notre économie, avec ses principes de production et de consommation linéaire et dont le résultat dépend de la production, est en partie responsable d'impacts sur notre planète. Aujourd'hui, nous devons faire face à trois enjeux planétaires. Ceux-ci joueront un rôle dans notre économie qu'il sera de moins en moins possible d'ignorer. Bihouix et al (2012) les identifient comme :

- Une augmentation démographique de 7 à plus de 9 milliards d'humains sur Terre, qui bouleversera la demande en ressources naturelles pour répondre aux besoins alimentaires (secteur de l'agriculture,...), aux besoins en infrastructures (ressources métalliques,...),...
- Le réchauffement climatique qui impliquera de « décarboner » nos sources d'énergie, nos produits.
- La raréfaction de certaines ressources. Notre consommation linéaire de ces derniers siècles a déjà épuisé certaines ressources, si bien que certaines d'entre elles, indispensables à notre économie, se raréfient aujourd'hui.

Les entreprises devront tenir compte de ces enjeux et se remettre en question pour rester efficace économiquement. On remarque déjà quelques conséquences affectant les entreprises, dont deux réalités que nous étudierons par la suite :

- La hausse et la volatilité des prix des ressources naturelles.
- Des risques de rupture d'approvisionnement en ressources naturelles.

Nous essaierons de comprendre comment nous en sommes arrivés là et nous aborderons déjà des solutions pour les entreprises.

Chaque ressource naturelle est différente... Il est impossible d'analyser la situation de chacune d'entre-elles au cours de ce travail. Nous allons donc traiter le cas d'un groupe particulier de ressources : Les métaux.

2. Etude de cas sur les métaux : Développement de deux réalités affectant les entreprises

Nous avons vu que l'épuisement de certaines ressources naturelles sera un des enjeux majeurs des prochaines décennies. Nous le traiterons en profondeur via l'étude d'une ressource naturelle en particulier : les métaux.

L'objectif de cette étude sera de faire le point sur la situation actuelle des métaux, de comprendre comment nous en sommes arrivés là et surtout d'analyser deux réalités affectant directement les entreprises : La hausse des prix et leur volatilité ainsi que le risque de rupture d'approvisionnement. Nous développerons différents facteurs influençant les prix et l'approvisionnement des métaux. Nous nous intéresserons aux réserves, à l'extraction des minerais, à l'offre et la demande et même aux échanges de métaux sur les marchés organisés. Nous terminerons avec l'analyse des deux canaux d'approvisionnement principaux en métaux : La filiale minière et le recyclage.

2.1. Présentation

Les métaux sont un ensemble d'éléments chimiques définis par des caractéristiques communes telles que la conductivité thermique ou électrique (Larousse, 2015). Ils font partie des ressources naturelles non renouvelables, c'est-à-dire dont le stock ne peut pas être reconstitué après exploitation en l'espace d'une vie humaine (Le Moigne, 2014).

Pour cette présentation, les métaux seront divisés en deux catégories : Les métaux majeurs et les métaux mineurs.

Les métaux majeurs comme le fer, le cuivre, le zinc, nickel, manganèse,... sont utilisés dans la construction, les véhicules, l'armement,... Leurs productions mondiales annuelles s'estiment en dizaines de millions de tonnes. Leurs chiffres d'affaires sont les plus importants, de l'ordre de centaines de milliards de dollars (Barreau et al, 2013).

Les métaux mineurs comme le cobalt, le molybdène, l'étain, l'antimoine, le tungstène, les terres rares,... aussi appelés métaux high-tech ou métaux rares, sont utiles dans de nombreux secteurs industriels innovants et de haute technologie (énergie photovoltaïque, éolien, batteries lithium, métaux de la catalyse, nouveaux écrans,...). Toutes ces technologies récentes nécessitent une

diversité et une quantité de métaux mineurs toujours plus grandes (Hocquart, 2012). Bien qu'ils soient utilisés en petite quantité, leurs propriétés s'avèrent si importantes que leur utilisation semble incontournable (Rabinovitch, 2012). Leurs volumes de production sont nettement inférieurs, allant par exemple de 50 tonnes pour le rhénium à moins de 200.000 tonnes pour l'antimoine. Leurs chiffres d'affaires, bien que leurs prix soient élevés, ne dépassent que rarement le milliard de dollars (Barreau et al, 2013).

Par la suite, nous nous intéresserons également aux métaux mineurs jugés critiques. La criticité d'un métal est déterminée par son importance économique et par son risque de rupture d'approvisionnement (Sia Partners, 2014). L'importance économique se réfère à sa substituabilité et par rapport au poids économique du secteur dans lequel il est actif. En 2010, la commission européenne a d'ailleurs identifié 14 métaux, ou groupe de métaux critiques. Ils sont repris dans la zone de criticité de la figure 2 ci-dessous. Notons également que la criticité d'un métal n'est pas la même dans chaque pays. Par exemple, le béryllium qui est jugé critique pour l'union européenne ne l'est pas forcément pour les Etats-Unis, car ces derniers contrôlent une grande partie de la production mondiale (Hocquart 2012).

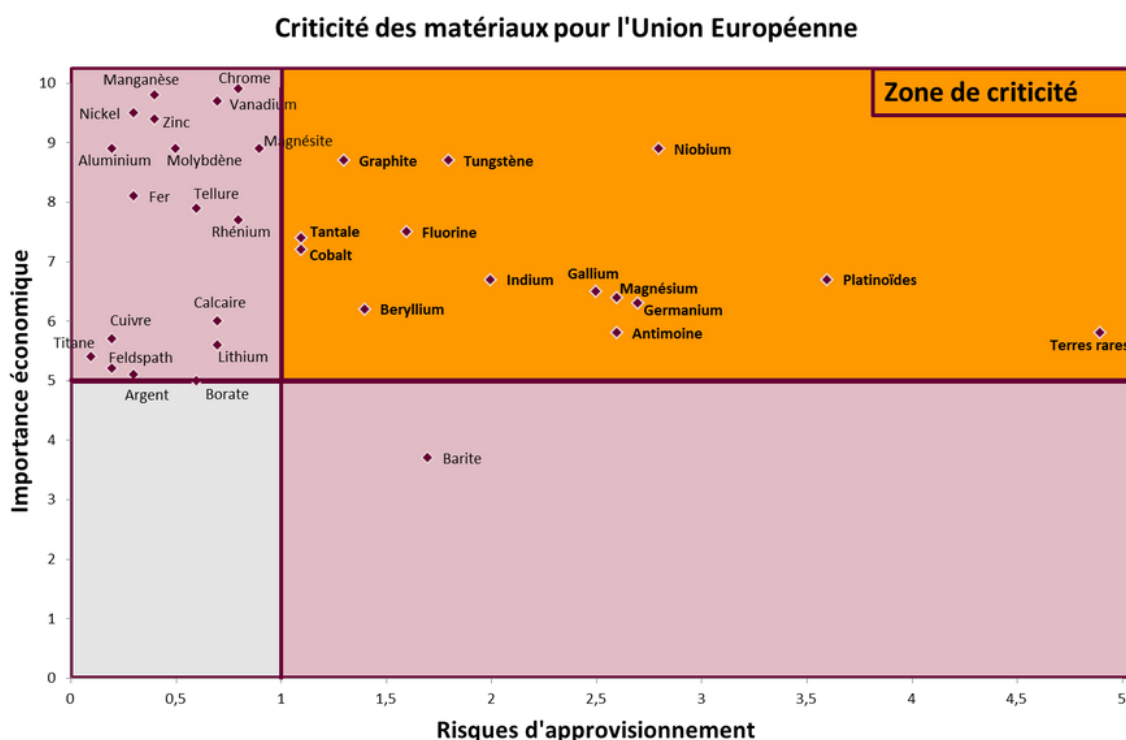


Figure 2 : Résultat de l'étude de la commission européenne sur la criticité de 41 matières premières pour l'Union Européenne (Sia Partners, 2014)

2.2 La hausse des prix et leur volatilité

Après cette présentation, nous nous intéresserons aux deux réalités affectant directement les entreprises. Premièrement, la hausse générale des prix des métaux et leur volatilité sera abordée via les réserves et l'extraction des minerais, via la situation mondiale de l'offre et de la demande et via la composante financière. Deuxièmement, nous étudierons le risque de rupture d'approvisionnement qui sera traité via la filiale minière et le recyclage.

2.2.1. Les réserves et l'extraction de minerais

Bihouix et al (2010) distinguent trois types de ressources naturelles de minerais :

- Les réserves qui sont des ressources naturelles identifiées, explorées et exploitables au prix actuel.
- Les réserves « bases » qui sont des réserves connues mais pour lesquelles nous ne disposons pas encore de techniques d'extractions rentables.
- Les ressources « potentielles » qui sont identifiées, non explorées et dont les quantités sont juste estimées.

Par exemple, pour le cuivre, les réserves sont estimées à 500 millions de tonnes, les réserves bases à un milliard et les ressources potentielles à trois milliards (Bihouix et al, 2010).

Trouver de nouvelles réserves fait partie des leviers pour continuer à extraire des minerais. Cependant, il reste difficile de trouver des réserves dont l'exploitation est possible et rentable.

La décision d'exploitation d'une réserve repose sur sa rentabilité estimée. Cette rentabilité dépend de différents facteurs, notamment la concentration du minerai et l'interdépendance entre les métaux.

La concentration

L'homme a exploité préférentiellement les minerais présentant les taux de concentration les plus élevés. La concentration des minerais exploités a donc diminué progressivement, si bien que celle en cuivre d'un minerai exploité est passée de 1,8% à 0,8% entre 1930 et 2010 (Bihouix et al, 2010). Ces taux de concentration plus bas ont des répercussions directes sur les techniques d'extraction. En effet, les plus faibles vont de pair avec des réserves de moins en moins accessibles qui nécessitent de nouvelles technologies. Les gisements récemment

exploités et des pistes de gisements pour le futur sont situés dans des environnements plus hostiles. Nous pouvons citer des gisements plus profonds (forage plus long et complexe) ou situés dans des régions peu explorées (Antarctique, ...).

D'un autre côté, de nouvelles techniques d'extraction permettent d'extraire plus efficacement des minerais de faible concentration. Une des plus prometteuses est l'hydrométallurgie qui attaque le minerai par voie chimique plutôt que par la pyrométallurgie classique. Cette technique permet d'extraire des minerais de concentration inférieure à 1% (par rapport à 2,5% par la voie classique) et de récupérer plus de sous-produits. Bihouix et al (2010) souligne qu'elle offre aussi l'opportunité de réexploiter des minerais déjà exploités mais qui avaient été abandonnés faute de technologie. Cependant, cette technique possède aussi ses faiblesses et ses impacts. Tous les minerais ne disposent pas de caractéristiques adéquates pour subir ce type de traitement. L'impact principal est la gestion de la récupération des acides et solvants en fin de processus. Une mauvaise récupération atteint la rentabilité (coûts élevés des substances) et est néfaste pour l'environnement.

Les dépenses énergétiques, quant à elles, sont d'autant plus importantes que la concentration du minerai est faible. A partir d'un certain taux de concentration, l'extraction n'est plus rentable à cause de l'énergie consommée. De plus, l'exploitation de gisements pétroliers est elle-même consommatrice de métaux dans ses infrastructures. On retrouve cette situation avec les énergies renouvelables. Leurs technologies sont aussi consommatrices de divers métaux majeurs et mineurs. Fizaine (2014) illustre cette situation comme un cercle vicieux où une faible concentration des minerais nécessite plus d'énergie, et où l'exploitation de nouvelles sources d'énergie nécessite plus de minerais,...

L'interdépendance entre les métaux

Après avoir étudié un premier facteur déterminant dans la décision d'exploitation d'un minerai, la concentration, nous développons maintenant un second : l'interdépendance entre les métaux.

La majorité des entreprises minières exploite des minerais pour leur concentration en métaux majeurs. Leur concentration et les quantités vendues sont plus importantes que celles des métaux mineurs. L'exploitation d'un minerai pour un métal mineur se fait souvent en complément d'un métal principal. Dans ce cas, le métal mineur prend le statut de co-produit ou de sous-produit. Ainsi Hocquard (2012) explique que le but de l'exploitation de métaux mineurs est d'apporter des revenus supplémentaires à l'exploitation du métal principal. Elle permettrait

à l'entreprise de survivre aux périodes de crise, par exemple lors de chutes de la demande du métal principal.

En plus de cette interdépendance économique, Bihouix et al (2010) identifie une interdépendance physique. Certains métaux mineurs sont liés à quelques métaux majeurs au sein d'un même minerai à cause de leurs caractéristiques respectives. Une exploitation commune est alors favorisée.

Cette situation crée donc une dépendance des métaux mineurs vis-à-vis des métaux majeurs. Leur concentration dans le minerai est tellement faible que leur exploitation n'est rentable que si l'énergie et les moyens consacrés bénéficient à d'autres métaux (majeurs généralement). Par exemple, exploiter de l'indium indépendamment du Zinc n'est pas rentable. Bihouix et al (2015) identifient que plus de la moitié des 60 métaux que nous consommons aujourd'hui sont liés à l'exploitation (et donc à la demande) d'autres métaux.

Finalement, les industries minières seront contraintes d'exploiter des minerais ayant des concentrations toujours plus basses. Cela se répercutera sur le coût des ressources métalliques. Au niveau des métaux mineurs, leur concentration et leur volume sur le marché rend économiquement non rentable de les exploiter individuellement. Leur offre dépend donc des marchés d'autres métaux plus rentables dont ils sont dépendants.

2.2.2 L'offre et la demande

Les prix des métaux sont également influencés par la loi de l'offre et de la demande.

La demande est en partie liée à la population mondiale et aux différents stades de développement des pays. En juillet 2015, nous étions 7,3 milliards à peupler notre planète (Site Population mondiale, 2015). Ce chiffre devrait atteindre 9 milliards d'ici 2050 avec une augmentation estimée à 3 milliards de la classe moyenne, provenant de la croissance de la région Asie-Pacifique (Le Moigne, 2014). Cette croissance démographique devrait conduire à un accroissement de la demande en ressources naturelles dans les 10 prochaines années, avec par exemple, une augmentation de la demande de métaux majeurs comme l'acier de 80%. (Dobbs R. et al, 2011). Il en sera de même pour les métaux mineurs consommés par de nombreuses nouvelles technologies.

Au niveau de l'offre, il est important de distinguer les termes « réserves » et « productions ». Ce n'est pas parce qu'une réserve est exploitable qu'elle est exploitée. Nous indiquons ici que tous les pays n'ont pas porté le même intérêt à l'exploitation minière, ce qui regroupe les productions actuelles de certains métaux dans un nombre limité de pays. Retour quelques années en arrière ...

La période entre 1980 et 2003 est caractérisée par une abondance des matières premières et par des prix qui avaient tendance à baisser, comme vous pouvez le constater sur la figure 3.

La réaction européenne et celle de pays émergents (spécialement la Chine) s'est avérée contraire. Les pays occidentaux se sont appuyés sur des prix attractifs des ressources naturelles pour rester compétitifs. Ils se sont reposés sur un système de libre-échange qui leur permettait d'importer les ressources naturelles dont ils avaient besoin. Ils ont diminué leur travail dans le secteur minier (prospection, formations de personnel spécialisé,...) pour se concentrer sur d'autres secteurs d'activités.

De leurs côtés, des pays comme la Chine ont investi dans l'exploitation minière en s'intéressant à de plus en plus de métaux. Ils ont amélioré leurs techniques d'extraction et de traitement des minerais dans le but de procéder sur place aux différentes étapes entre l'extraction et le produit fini. Le faible coût de la main d'œuvre de ces pays a conduit à un développement rapide, si bien qu'il n'aurait pas été possible pour les pays occidentaux d'être compétitifs face à de telles conditions. Des problèmes sont survenus lorsque ces pays ont introduit des freins à l'exportation, mis en place pour des raisons économiques ou pour mieux répondre à leurs propres besoins. (Christmann, 2012, & Bornuat, 2012)

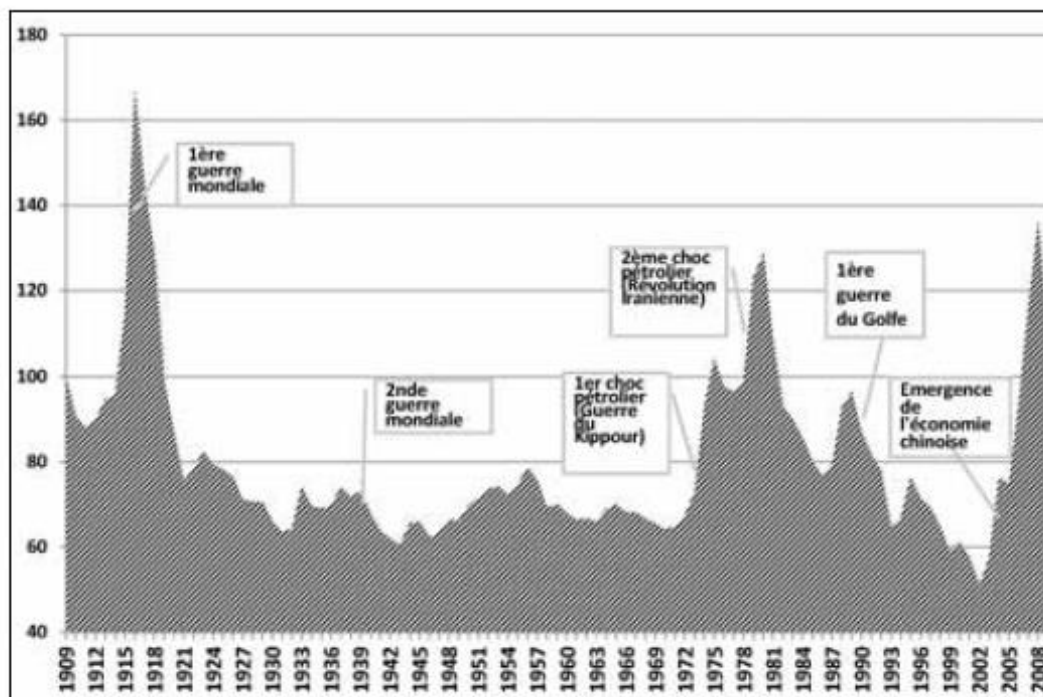


Figure 3 : Evolution des cours d'un panier de 15 substances minérales non-énergétiques, en dollars US constants, entre 1909 et 2006 – Base 100 en 1909 : Al, Au, Ba, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Ni, P, Pb, Pt, Zn. (Christmann, 2012)

Aujourd'hui, les réserves et la production des métaux majeurs sont relativement bien réparties. Dans le pire des cas, ce sont deux ou trois pays qui disposent de plus de la moitié des réserves. Cela laisse plusieurs pistes d'approvisionnement envisageables et évitent des situations monopolistiques.

La situation pour les métaux mineurs est différente avec des réserves situées dans peu de pays. Ces pays se retrouvent dans une situation similaire à celle d'un monopole dont sont dépendant les autres pays. Par exemple, la Chine est quasiment l'unique producteur de terres rares avec 97% de la production mondiale, alors qu'elle ne dispose que de 30% des réserves mondiales (Bondaz, 2012). Le Brésil produit lui 90% du niobium et l'Afrique du sud 70% du platine (Barreau B. et al 2013). Les pays européens ont une production nettement inférieure à leur consommation. Leur production était de 15% de la production mondiale en 2009, tandis que l'approvisionnement en ressources métalliques est indispensable pour ses industries (De Langeron, 2011).

L'offre mondiale est donc relativement bien répartie pour les métaux majeurs. Par contre pour les métaux mineurs, les pays occidentaux sont sous la domination de quelques pays et

entreprises multinationales, ce qui induit, d'après Bornuat (2012), une hausse des prix et des risques d'approvisionnement.

Après avoir étudié la situation de l'offre et la demande globale en métaux, nous étudions maintenant les impacts de crises de l'offre et de la demande.

Différents crises ont provoqué des perturbations des prix des métaux. L'impact de celles-ci est d'autant plus fort sur les métaux mineurs. Selon Bornuat (2012), le prix élevé d'un métal viendrait soit d'un excès de consommation, soit d'un déficit de production. Nous pouvons identifier des crises liées à l'offre et des crises liées à la demande.

Des crises liées à la demande de métaux mineurs surviennent lors de la commercialisation d'un produit innovant nécessitant un métal mineur en particulier. Les métaux mineurs étant dans la plupart des cas dépendant de métaux majeurs (extraction mutuelle), l'offre est limitée et de nouveaux gisements ne peuvent pas être exploités du jour au lendemain, ce qui provoque une hausse des prix. Par exemple, le tantale, qui est utilisé dans la fabrication des téléphones portables a connu une demande importante au début du 20^e siècle, suite à l'explosion du marché de la téléphonie mobile. La conséquence de cette demande a été une pénurie du tantale et une forte augmentation de son prix (Le Billon, 2008).

Des crises liées à l'offre, lorsqu'elle diminue pour quelque raison que ce soit (technique,...). Ces crises peuvent également être intentionnées par des pays avec par exemple une modification des quotas d'exportation. Par exemple, à partir de 2004, la Chine a mis en place des quotas d'exploitations et de nouvelles taxes. Cordier et al (2008) expliquent que la diminution de ses exportations permet à la Chine de mieux contrôler ses prix. En plus de l'influence sur les prix, une diminution des exportations incite aussi les entreprises étrangères à fabriquer leurs produits finis sur le territoire chinois. C'est en 2010 que le terme crise est apparu. En effet, la Chine a réduit de 40% ses quotas, ce qui a provoqué une augmentation des prix des terres rares et une vague de panique pour les entreprises dépendantes de ces matériaux (Barreau et al, 2013).

2.2.3 La composante financière

Après les réserves, les techniques d'extraction, la loi de l'offre et de la demande, nous étudierons le rôle des marchés organisés vis-à-vis des prix et de la volatilité des prix des métaux.

Pour commencer, développons la notion de « prix ». Un prix doit refléter une information sur la disponibilité et sur la valeur du métal. Cette dernière est déterminée par l'importance du secteur dans lequel il est utilisé et par ses possibilités de substitution (Bihouix et al, 2010).

Les métaux sont échangés sur deux marchés : Le marché de gré à gré et le marché organisé.

Le marché de gré à gré (hors bourse) consiste en l'accord traditionnel entre une partie A et une partie B, sans la présence d'intermédiaire. Pour fixer les prix, les acteurs peuvent se référer à des sociétés spécialisées qui étudient le marché mondial. Elles mettent à disposition des informations pertinentes et des prix reflétant un niveau élevé de confiance (Bihouix et al, 2010).

Un exemple sur ce marché est le contrat « forward » : les deux parties déterminent à l'avance les termes d'un échange qui aura lieu à une date ultérieure déterminée. Les termes comprennent un prix de référence et une quantité. Grâce à ce type de contrat, le vendeur s'assure de pouvoir échanger sa marchandise à un certain prix et se protège des variations futures du prix de la marchandise (Van Hoppens, 2015). Ces contrats portent sur des échanges à court terme. Ils sont moins standardisés, plus souples et laissent plus de place à la négociation que les contrats « futures ».

Sur le long terme, des contrats annuels et pluriannuels sont établis. Les prix et les quantités sont négociés à l'année entre industriels et sociétés minières. La notion de partenariat est présente étant donné que les contrats portent sur le long terme. Les prix et quantités sont stables, ce qui permet une optimisation des techniques d'extraction. Ces contrats sont notamment utilisés pour des infrastructures lourdes telles que des chantiers navals, des immeubles, ... Les plus gros contrats servent de référence dans leur domaine. Par exemple, les négociations annuelles entre sidérurgistes japonais et les groupes miniers australiens ont servi de référence pendant des années pour le prix du minerai de fer. (Bihouix et al, 2010)

Le marché organisé (en bourse) consiste à échanger des ressources sous la forme de produits dérivés.

Un exemple est le produit dérivé « future ». Il a la même définition que le contrat forward, hormis qu'il s'effectue sur un marché organisé. Celui-ci implique que le contrat ne s'effectue pas directement entre un industriel et un groupe minier mais via un intermédiaire (Van Hoppens, 2015). L'intermédiaire le plus connu dans le monde des métaux est la London Metal Exchange, qui est une bourse des métaux. Initialement seuls 6 métaux majeurs y étaient échangés : cuivre, étain, plomb, zinc, aluminium, nickel. Depuis, l'acier, le cobalt et le

molybdène se sont rajoutés. La LME est la plateforme qui échange le plus de métaux dans le monde. En 2014, plus de 82% des échanges de métaux non ferreux mondiaux s'y sont effectués via des contrats « futures ». En termes de volume, cela se traduit par 4 milliards de tonnes, ou encore 15 trillions de dollars (site officiel de la LME).

L'impact sur la volatilité des prix de plateformes comme la LME se fait au niveau de la spéculation. La spéculation sur des métaux précieux comme l'or ou l'argent a toujours existé. Mais plus récemment, des acteurs de notre économie se sont intéressés aux métaux rares comme valeurs refuges. Avec la perte de confiance dans le secteur immobilier, le stockage de métaux rares est devenu un outil de diversification de portefeuilles (Buba, 2011). Dès lors, les échanges ne concernent plus que des groupes miniers et des industriels mais aussi des banques et des fonds de pensions (Hocquard, 2012). Cela a dérégulé les mécanismes de l'offre et de la demande. En effet, ces « nouveaux » acteurs spéculent sur la hausse ou la baisse des prix en achetant, vendant ou stockant des métaux rares. Nous nous retrouvons donc avec une offre et une demande en métaux ne reflétant plus la réalité et avec des prix sur- ou sous-évalués. (Bihouix et al, 2010)

2.3 Le risque de rupture d'approvisionnement

Nous venons d'analyser trois éléments influençant les prix des métaux. Désormais nous nous intéressons à une autre problématique : Le risque de rupture d'approvisionnement. Ce dernier sera traité via l'analyse des deux canaux principaux d'approvisionnement : La filiale minière et le recyclage.

Les métaux majeurs sont utilisés en grande quantité mais leur approvisionnement reste aisé. Pour eux, la volatilité et la hausse des prix restent le risque principal.

Les métaux mineurs sont eux utilisés en petites quantités et sont surtout très peu substituables. Une variation de leur prix ne provoque pas systématiquement de traumatisme sur les coûts des produits. Pour ces métaux, Hocquard (2012) identifie la rupture d'approvisionnement comme le plus important.

Premièrement, les métaux sont des ressources recyclables. Ils se différencient d'une énergie fossile, qui disparaît une fois consommée. Bihouix et al (2010) distinguent trois types de stocks de ressources métalliques sur notre planète.

- Les réserves à partir desquelles nous extrayons les minerais.
- Le stock de métaux en circulation. Il augmente en fonction des minerais extraits. Il diminue lorsque des métaux sont utilisés de manière dispersive ou lorsqu'ils sont éliminés (mise en décharge ou incinération).
- Les réserves créées par l'homme, appelées mines urbaines, qui sont des centres de stockage des déchets. Ces mines disposent de nombreuses ressources pouvant être recyclées. Les taux de concentrations en métaux peuvent être élevés en fonction du type de déchet présent. Par exemple, 200 grammes d'or peut être extrait d'une tonne de circuits imprimés d'ordinateur (Le Moigne, 2014). Le principal frein à leur exploitation reste les techniques d'extraction. En effet, ces mines sont composées d'un mélange hétérogène de morceaux métalliques, à l'inverse des minerais qui sont homogènes. Un seul processus d'extraction ne peut pas être appliqué de manière continue avec la certitude d'extraire un minimum de métaux. Dans ces mines, les types de déchets diffèrent de par leurs tailles et leurs formes (de la cendre d'incinérateur à des déchets électroniques entiers). De plus, ils datent de différentes époques n'utilisant pas les mêmes technologies lors de la conception. Leur exploitation industrielle est donc compliquée et la seule piste d'exploitation actuelle

reste le tri manuel. Il faut retenir qu'elles regorgent de déchets métalliques qui, un jour, pourraient devenir précieux à recycler.

Les entreprises se procurent des métaux via deux sources d'approvisionnement : L'exploitation des réserves (la filiale minière) et le recyclage.

2.3.1 La filiale minière

La première source d'approvisionnement en métaux reste la filiale minière. Pour les entreprises, il est primordial de s'assurer un approvisionnement en métaux provenant directement des mines.

Pour ce chapitre, nous nous focaliserons sur les métaux critiques (les terres rares en particulier). Nous faisons ce choix car leur approvisionnement à court terme est problématique en raison de la mauvaise répartition géographique de la production.

Une première voie pour sécuriser l'approvisionnement est la recherche de nouveaux gisements exploitables. Précédemment, on a mis en évidence que la Chine était responsable de plus de 90% de la production mondiale de terres rares alors qu'elle ne dispose sur son territoire que de 30% des réserves mondiales. Par déduction, les 70% restant sont situés à d'autres endroits de notre planète.

Aujourd'hui, la prospection a repris, a abouti, ou est sur le point d'aboutir dans des pays comme les USA, la Russie, le Brésil, l'Australie ou encore, dans des pays de l'Union Européenne comme l'Allemagne et la Suède. Cette reprise de la prospection est une réaction aux quotas mis en place en 2010. En 2012, on comptait 165 sociétés travaillant sur 251 projets de prospection de terre rares dans le monde (Hocquard, 2012). La situation quasi-monopolistique de la Chine et les tensions au niveau de ses quotas d'exploitation ont été perçues comme une opportunité pour des sociétés minières de taille moyenne. Rappelons que les grandes sociétés minières préfèrent se concentrer sur les métaux majeurs, dont le chiffre d'affaires est plus attractif. Ces sociétés moyennes sont à la recherche de gisements d'une qualité exceptionnelle au niveau de leur taille et de leur concentration. Toutefois, cette prospection a un coût et ces entreprises nécessitent un investissement initial qu'elles ne peuvent pas financer avec leurs fonds propres. La décision d'exploitation de la mine dépendra alors des fonds investis par d'autres entreprises, des traders ou des transformateurs dans la société minière. Leur but est de s'assurer une partie de la production future. Ce type de contrat porte le nom de contrat « off take » (Hocquart, 2012).

Chronologiquement, les entreprises minières cherchent un gisement puis l'évaluent. Ensuite, si le gisement présente des caractéristiques adéquates à sa mise en production, elles se mettent à la recherche d'investisseurs. Parmi les cas récents, on peut citer la mine californienne de Mountain Pass. Elle a redémarré ses activités en 2012 pour se concentrer sur l'exploitation de terres rares avec un investissement initial de 1,5 milliard de dollars (Krajka, 2013).

Investir dans des gisements via les « off take » semble être une voie pour sécuriser son approvisionnement en métaux mineurs. Cependant, la prospection minière s'effectue sur le moyen, voire le long terme. Hocquart (2012) estime à cinq ans le délai entre la prospection et la mise en production. Investir dans des off take ne permet donc pas de régler les problèmes d'approvisionnement à court terme mais peut sécuriser un approvisionnement à moyen terme.

Finalement, la croissance de la demande mondiale, couplée aux taux de recyclage font que nos entreprises sont encore dépendantes de nouvelles sources d'extraction.

2.3.2 Le recyclage :

Le recyclage peut être considéré comme une source d'approvisionnement. Les métaux ont l'avantage d'être théoriquement recyclables et réutilisables à l'infini, sans perdre leurs caractéristiques.

Au niveau des métaux majeurs, des filières de récupération sont organisées. En France, elles permettent de recycler 85% du fer, 80% de l'aluminium et du cuivre, 70% du plomb et 50% du zinc (Bihoux et al, 2010). La collecte et le tri des déchets sont primordiaux pour atteindre des taux de recyclage plus élevés. Travailler sur ces deux étapes fait partie des leviers pour se rapprocher des 100% théoriques. Malheureusement, les filières ne sont pas toujours organisées de manière adéquate dans tous les pays, ce qui induit une baisse des chiffres au niveau mondial.

La situation est plus problématique pour les métaux mineurs et plus particulièrement pour les métaux critiques. Une partie d'entre eux présente des taux de recyclage très faibles comme vous pouvez le constater sur la figure 4. De fait, ces métaux ne sont utilisés qu'en très faible quantité, ce qui rend le processus de recyclage peu rentable. Remarquez également que leurs usages ont une influence sur les taux de recyclage. Les métaux utilisés pour du matériel « industriel » ont des meilleurs taux que ceux utilisés sur le marché B2C. C'est le cas du rhénium et de son taux de recyclage de 39% qui est utilisé pour un nombre restreint d'applications industrielles mobilisant peu d'acteurs.

Métal	Usages principaux	Taux de recyclage
Antimoine	Retardateur de flamme, alliages de plomb (batteries...)	< 5 %
Béryllium	Electronique, alliages spéciaux	< 1 %
Cobalt	Superalliages, batteries, catalyseurs, pigments	68 %
Gallium	Semi-conducteur utilisé en électronique (LED, diodes, cellules photovoltaïques)	< 1 %
Germanium	Optique infrarouge, catalyseur du caoutchouc, fibres optiques, concentrateur pour cellules photovoltaïques, LED	< 1 %
Indium	Ecrans LCD, cellules photovoltaïques	< 1 %
Lithium	Batteries, alliages aéronautiques	< 1 %
Magnésium	Alliages d'aluminium (bâtiment, transports et emballages)	39 %
Molybdène	Aciers inoxydables de haute performance	30 %
Niobium	Aciers haute-résistance faiblement alliés, superalliages	< 1 %
Métaux du Groupe du Platine (6 métaux)	Catalyseurs (Platine, Palladium, Rhodium) Alliages durs (Osmium, Iridium) Disques durs (Ruthénium)	Osmium : < 1 % Ruthénium : 5 -15 % Iridium : 20-30% Pd, Pt, Rh : 50-70 %
Rhénium	Aéronautique (superalliages pour turbines) et catalyseurs	> 50 %
Tantale	Condensateurs, implants, superalliages	< 1 %
Tellure	Semi-conducteur (cellules photovoltaïques), aciers, thermoélectricité	< 1 %
Terres rares (17 métaux)	Aimants permanents (éoliennes, automobile), catalyseurs, ampoules fluocompactes, photophores, poudres de polissage	< 1 %
Tungstène	Pointes d'outils à grande dureté, filaments d'ampoules	< 1 %

Figure 4 : Les principaux métaux stratégiques, leurs usages et leurs taux de recyclage en fin de vie (Sia Partners, 2014)

Les paragraphes précédents ont donné un bref aperçu du recyclage des métaux mineurs et majeurs. Désormais, nous allons développer six limites plus générales qui font que le recyclage à 100% n'est pas possible dans la pratique.

La première limite s'inspire du second principe de la thermodynamique, qui fait référence à l'irréversibilité des phénomènes physiques. Lors de son extraction, pendant sa consommation et au cours de son recyclage, le métal subit différentes transformations qui impliquent une perte de masse. Par exemple, lors de la fonte d'un lingot d'aluminium, il y a une perte de matière de l'ordre de 2% (Bihouix et al, 2010). Il en est de même pour l'usure des métaux suite à une utilisation prolongée. L'ancien métier de rétameur en est une illustration. Il consistait à tremper un objet métallique usé dans un bain d'étain en fusion afin de remettre la couche extérieure à neuf, la précédente s'étant usée avec le temps.

La deuxième limite est l'utilisation d'un plus grand nombre de métaux et d'alliages. Par exemple un ordinateur contient jusqu'à 36 métaux et alliages différents (Drezet, 2014). Au Plus un produit contient de métaux et d'alliages, plus il sera difficile à recycler. Plus il renferme une faible quantité de métal, plus il sera compliqué de le recycler. La récupération de tous métaux

présents dans un téléphone portable ou un ordinateur s'avère presque impossible. En effet, ils sont difficilement identifiables et leur séparation demande beaucoup d'énergie. Le recyclage de ces produits ne permet donc pas de récupérer les métaux initiaux. A moins d'un tri plus fin, ils sont donc le plus souvent classés comme ferraille. De plus, un alliage est irréversible. Même si les métaux sont séparés lors du recyclage, des traces de l'alliage sont encore présentes, ce qui condamne le métal recyclé à un usage moins noble (Plateforme éco).

Ensuite, il y a les usages dispersifs. Cela signifie que les métaux ne pourront pas être récupérés après leur consommation. C'est le cas des métaux utilisés dans les colorants, les fertilisants, les peintures, les encres, les pesticides,... Des métaux comme le cobalt et le molybdène sont destinés en grande partie à des usages dispersifs, ce qui leurs procurent un taux de recyclage infime. (Bihouix et al, 2010).

La conception des produits peut être problématique (Le Moigne, 2014). Certains appareils actuels ne sont pas conçus en vue du recyclage. Les difficultés de désassemblage d'un appareil ou le manque d'informations par rapport à sa conception peuvent rendre le recyclage trop compliqué et coûteux. Il ne sera alors pas entrepris.

Après ces trois limites technologiques et physiques, il y a toujours la composante économique qui rentre en jeu, c'est-à-dire la rentabilité du recyclage d'un produit. Elle dépendra notamment de la valeur des métaux. En effet, les pertes de l'or au niveau de son usage industriel sont mondialement très faibles, de l'ordre de moins 10% depuis la création de l'univers (Bihouix et al, 2010). Cela est dû à son prix élevé qui rend son recyclage rentable même pour des quantités recyclées très faibles. Au fur et à mesure que les coûts des métaux augmenteront, le recyclage deviendra de plus en plus rentable. On peut illustrer ce concept à celui d'une aiguille dans une botte de foin. Si l'aiguille est en acier, il n'est pas intéressant de la rechercher, si elle est en or, cela vaut la peine. La valeur du métal est donc déterminante dans la décision du recyclage.

Les limites sociétales ont aussi un impact. La gestion des déchets en aval, auprès des consommateurs déterminera aussi le recyclage d'un produit. Si les entreprises et le gouvernement n'organisent pas celui-ci, les produits en fin de vie ne seront pas systématiquement retournés aux producteurs.

Finalement, nous exploitons un stock de métaux épuisable, et le recyclage ne permet que de reporter l'échéance de l'épuisement de certaines ressources naturelles (Bihouix et al 2010). Miser sur le recyclage comme unique source d'approvisionnement semble irréaliste. En effet, la demande en métaux continuera à croître lors des prochaines années. Or, même un recyclage

à 100% ne permettrait que de stabiliser la quantité de métaux en circulation mais en aucun cas ne l'augmenterait.

Le rôle du recyclage se définirait plus dans le cas des métaux à une solution d'appoint, une manière de compléter l'approvisionnement de la filière minière.

3. Conclusion

Via l'étude de cas, nous avons développé quelques éléments qui permettent de mieux comprendre deux réalités concernant les métaux et affectant les entreprises :

- Des prix à la hausse et plus volatiles.
- Un risque de rupture d'approvisionnement.

Premièrement, nous devons prendre conscience que nous exploitons un stock fini de ressources métalliques. Les mines ne pourront pas être exploitées indéfiniment pour des raisons physiques (disparités), technologiques ou financières. En effet, nous avons constaté que les futures mines et gisements se trouvaient dans des environnements hostiles avec des taux de concentration des minerais plus faibles qu'auparavant.

Deuxièmement, la demande en métaux devrait continuer à croître. Cela est en partie dû à deux prévisions sur lesquels nous ne pouvons pas agir : L'augmentation démographique mondiale et une émergence de la classe moyenne dans la région Asie-Pacifique. Quant à l'offre, elle n'est pas répartie de manière proportionnelle entre les pays pour tous les métaux. De ce fait, les entreprises occidentales sont dépendantes de pays en situation quasi monopolistique, de pays qui auront tendance à garder leurs ressources pour leur propre consommation. On peut donc s'attendre à une véritable lutte autour de l'approvisionnement en métaux.

De plus, des places boursières (LME,...) sur lesquelles les métaux s'échangent comme outil de diversification de portefeuille ou dans un but spéculatif, ont un impact sur la volatilité des prix des métaux.

Par rapport au recyclage, nous sommes loin des 100% théoriques et ne disposons pas encore d'infrastructures adéquates dans toutes les régions. Il doit continuer à progresser. Cependant, il est certain que la demande croissante combinée à des taux de recyclage variables ne permet pas encore de considérer le recyclage comme unique source d'approvisionnement. Les entreprises sont donc toujours dépendantes de la filiale minière, indispensable pour répondre à la demande. Elles doivent continuer la prospection minière et les investissements dans de nouvelles technologies d'extraction.

Confrontées à tous ces éléments, les entreprises ne savent pas vraiment lutter contre les prix des métaux et le risque de rupture d'approvisionnement. Il n'existe pas de solutions miracles...

Elles doivent dès aujourd'hui remettre en question leur stratégie vis à vis de leur utilisation des ressources. Une entreprise ne prenant pas en compte ces problématiques risque de :

- Ne plus disposer de suffisamment de ressources naturelles pour répondre à la demande.
- Devoir s'approvisionner à coûts prohibitifs.

La « solution » est simple et peut se résumer en une phrase : « les entreprises doivent faire plus avec moins ». Elles doivent optimiser l'utilisation de toute ressource naturelle. Pour arriver à cet objectif, elles peuvent par exemple :

- Revoir la conception de leurs produits. Des produits destinés à être éliminés après un cycle de vie, ou des produits dont la durée de vie est programmée ne sont pas durables.
- Concevoir des produits facilement entretenables, réparables,... Des produits dont la durée de vie est prolongée via une maintenance adéquate.
- Chercher des substitutions pour les ressources naturelles critiques ou non recyclables.
- Penser dès la conception à la fin de vie du produit. Il faut pouvoir récupérer les modules et pièces détachées encore utilisables dans le but de les employer à nouveau.
- Travailler sur la production de déchets et chercher des pistes de réutilisation des déchets d'une entreprise dans les processus industriels d'une autre.
- Réfléchir au modèle économique. Est-ce-que pousser à la consommation sera toujours le meilleur moyen d'être rentable ?

Tous les exemples ci-dessus permettront aux entreprises d'optimiser l'usage de leurs ressources. Cela diminuera la dépendance des entreprises envers les ressources naturelles neuves et les impacts ne seront pas qu'environnementaux ... Des auteurs comme Bihouix et al (2010) ou De Guillebon et al (2013) affirment qu'une entreprise qui fera un meilleur usage de ses ressources réduira sa dépendance vis-à-vis de ressources naturelles neuves. Elle diminuera alors ses coûts et sera moins sensible aux réalités présentées précédemment.

Dans la partie 2, nous verrons comment l'économie circulaire, au travers de trois démarches et du modèle d'économie de la fonctionnalité, peut guider les entreprises vers une utilisation

optimale des ressources naturelles, et surtout nous analyserons les facteurs de compétitivité de ces démarches et de ce modèle.

PARTIE 2 : Analyse de la compétitivité de l'économie circulaire à travers trois démarches et un modèle.

L'objectif de cette partie est d'analyser les facteurs de compétitivité pour les entreprises de l'économie circulaire à travers les démarches d'éco-conception, d'écologie industrielle, de reverse supply chain et le modèle d'économie de la fonctionnalité.

Avant toutes choses, nous nous pencherons sur la définition des deux concepts principaux de ce mémoire : l'économie circulaire et la compétitivité économique.

Les trois démarches et le modèle étudiés seront alors présentés et illustrés. Ensuite, nous nous intéresserons à quelques éléments que nous jugeons intéressants, dont :

- Les caractéristiques d'un produit éco-conçu (pour la démarche d'éco-conception)
- La mise en place d'une synergie (pour la démarche d'écologie industrielle)
- Les activités clefs du réseau d'une reverse supply chain
- Les différences entre les marchés B2C et B2B dans une économie de la fonctionnalité

Nous verrons que les impacts environnementaux ne sont pas toujours les motivations principales qui poussent une entreprise à se lancer dans les démarches ou le modèle ci-dessus (sauf dans le cas où l'entreprise désire travailler sur sa responsabilité sociétale), mais bien les avantages économiques qu'elles peuvent en tirer. Nous identifierons donc les facteurs de compétitivité de ces démarches et de ce modèle.

Ces démarches et ce modèle ne seront pas abordés spécifiquement sous l'angle des métaux. Cependant, nous ferons des liens lorsque nous en aurons la possibilité. Nous les inclurons par exemple lors de la présentation des caractéristiques d'un produit éco-conçu ou lorsque nous expliciterons l'importance de conserver des produits usagés sous formes de modules, de pièces détachées à la place de directement les recycler (chapitre sur la reverse supply chain).

1. Le concept d'économie circulaire

Pour ce travail, nous avons choisi la définition suivante :

« L'économie circulaire peut être définie comme un système de production et d'échanges prenant en compte, dès leur conception, la durabilité et le recyclage des produits ou de leurs

composants de sorte qu'ils puissent redevenir soit des objets réutilisables soit des matières nouvelles, dans l'objectif d'améliorer l'efficacité de l'utilisation des ressources ». (Le Moigne 2014).

Dans cette définition, nous pouvons identifier les 3 R sur lesquels l'économie circulaire est fondée (Sempels et al, 2012) :

Réduction : L'économie circulaire comprend des pratiques visant à réduire la quantité de ressources naturelles nécessaires à la production d'un produit sur l'ensemble de son cycle de vie. Elle veille également à utiliser un minimum et à substituer un maximum de ressources naturelles non renouvelables ou non recyclables.

Réutilisation: Elle favorise la réutilisation des produits et des ressources naturelles. En effet, le caractère cyclique de l'économie circulaire est présent dans toutes ses définitions. Cela implique un minimum de déchets et un prolongement de la durée de vie des composants d'un produit en organisant son entretien, ses activités de retraitement.

Recyclage : Le dernier recours pour un produit, un module, une pièce détachée dans une économie circulaire est le recyclage. Bien que, selon Stahel (2006) la clef de l'économie circulaire se situe plus dans le réemploi.

L'économie circulaire ne se limite donc pas à un système de recyclage ou à un outil de réemploi des produits. C'est un concept plus large qui recouvre différents modèles et démarches dont le but est d'améliorer les trois R ci-dessus, de converger vers une utilisation optimale des ressources naturelles.

2. Le concept de compétitivité économique

Pour ce concept, nous retiendrons la définition générale d'Ingham M. (1995) :

«Au plan de l'entreprise, la compétitivité économique peut être vue comme la capacité d'une firme d'offrir, par rapport à ses concurrents, des produits de valeur supérieure à coûts égaux ou de valeur égale à coûts inférieurs (ou encore de combiner ces avantages) et de bâtir ainsi des positions compétitives avantageuses permettant de réaliser des performances économiques supérieures sur une longue période ».

Cette définition sous-entend que la compétitivité économique d'une entreprise se base sur deux axes principaux : une réduction des coûts ou l'amélioration d'un produit par rapport à ceux de la concurrence. Le but est de maintenir ou accroître ses parts de marché. Ces deux axes peuvent s'apparenter aux catégories compétitivité prix et hors prix (Webclass, & Ghislain, 2006). Nous analyserons les trois démarches et le modèle via ces deux catégories de compétitivité:

- **Compétitivité prix** : On s'intéressera aux modifications de coûts et de revenus pour l'entreprise. En d'autres mots : en quoi la démarche mène à une diminution du coût du produit final ? Elle repose en général sur des économies d'échelles, des améliorations de la productivité, des réductions des coûts des ressources, ...
- **Compétitivité hors prix (aussi appelée structurelle)** : On détectera des modifications qui rendront le produit plus attractif qu'un autre auprès des consommateurs. On s'intéressera à la capacité du produit à s'imposer sur le marché. Par exemple si les démarches ou le modèle permettent de toucher de nouveaux consommateurs, s'il y a une amélioration de l'image de l'entreprise, ou si le produit présente de nouvelles caractéristiques ou innovations,...

3. La démarche d'éco-conception.

L'éco-conception sera d'abord présentée et illustrée. Ensuite, nous développerons les caractéristiques d'un produit éco-conçu. Nous relierons ces caractéristiques à certaines problématiques spécifiques aux métaux telles que les difficultés du recyclage. Nous nous intéresserons également à l'équipe qui devrait diriger un tel projet ainsi qu'aux objectifs des managers à l'encontre de ce type de démarche.

Finalement nous identifierons les facteurs de compétitivité de l'éco-conception.

3.1 Présentation

L'éco-efficience se réfère selon le Business Council for Sustainable Development (2015) à « L'efficacité avec laquelle les ressources naturelles sont utilisées par les systèmes industriels de production et de consommation pour répondre aux besoins de l'être humain, à des prix compétitifs, tout en veillant à réduire les incidences pour l'environnement qui y sont liées ».

Le principe d'éco-efficience invite les entreprises à revoir la conception de leurs produits ou services dans le but de réduire leurs impacts environnementaux. L'application de ce principe s'appelle l'éco-conception. Cette démarche consiste à réviser ou à créer un produit « en prenant en compte ses impacts environnementaux sur l'ensemble de son cycle de vie lors de sa conception» (Le Moigne, 2014). De Guillebon et al (2013) appuient ces définitions en qualifiant qu'une telle démarche repose sur trois approches :

- L'approche cycle de vie : Le cycle de vie d'un produit comprend l'acquisition des matières premières, sa fabrication, son utilisation, sa gestion de sa fin de vie ainsi que les différentes phases de transport. Le but est d'éviter les transferts de pollution. C'est lorsque l'amélioration d'une étape en détériore une autre.
- L'approche multicritère : L'éco-conception invite à la prise en compte de tous les impacts environnementaux : impact sur l'écosystème, sur les ressources, sur la santé humaine, ... En plus des transferts de pollution entre des étapes du cycle de vie, il faut veiller que l'amélioration d'un impact environnemental n'en dégrade pas un autre.
- L'approche globale : On ne s'intéresse plus à un produit seul, mais on le replace dans un système composé de produits, de services, de consommables pour répondre à une demande sociétale.

Une démarche d'éco-conception peut prendre différentes formes, allant d'une sensibilisation à certaines ressources à une révision complète et innovante d'un produit. Le guide de l'éco-conception Orée (2013) et De Guillebon et al (2013) classent ainsi les démarches en trois niveaux :

- La démarche d'éco-conception partielle : On s'intéresse à une optimisation environnementale partielle du produit, comme une réduction de son emballage, de sa consommation énergétique, ... L'impact environnemental tout au long du cycle de vie complet n'est pas pris en compte, mais bien l'optimisation d'une de ses étapes de production, de la consommation de l'une de ses matières premières, ... Ce type de démarche est généralement utilisé pour répondre à une contrainte environnementale ou pour une réduction de coûts ciblée.
- La démarche d'éco-conception classique : L'environnement est perçu comme un critère à part entière dans la conception du produit. On s'intéresse à tous les impacts environnementaux des étapes du cycle de vie. Nous rejoignons la logique de « triple bottom line » développée par Semple et al (2013). Cette logique intègre également les valeurs sociales et environnementales comme cadre de création de valeur au sein d'une entreprise.
- La démarche d'éco-conception innovante : On ne s'intéresse plus à la conception du produit original mais nous effectuons une réflexion sur son usage et son utilité. Ce type de démarche peut amener des produits plus durables avec de nouvelles fonctionnalités, caractéristiques, ... Cela se traduira dans certains cas par un passage à un modèle centré sur l'usage ou le résultat (voir chapitre sur l'économie de la fonctionnalité).

3.2 Exemple

Nous présentons un cas où l'éco-conception a permis la relocalisation du site de production d'une entreprise. Sullair est une entreprise spécialisée dans la production de compresseurs à air (Sempels et al, 2013, site de Sullair, Dellagi et al, 2007). Initialement, la fabrication des compresseurs s'effectuait en Chine, où les coûts de la main d'œuvre étaient 17 fois inférieurs à ceux proposés par les français. L'objectif était d'arriver à un produit fabriqué en France, ayant une plus grande valeur ajoutée et dont le coût n'était pas supérieur à celui du compresseur fabriqué en Chine.

Sullair a repensé entièrement la conception du produit à partir de cinq piliers d'interventions :

- Réduire les quantités de matières premières consommées.
- Réduire l'utilisation de composants toxiques (suppression de métaux lourds dans les blocs moteurs, dans les filtres ainsi que dans les substances plastiques. Revêtement des vis sans chrome, utilisation de peintures dépourvues de substances cancérigènes, mousses en matières recyclables,...)
- Faciliter le processus de fabrication : l'assemblage a été revu pour obtenir un produit plus simple, ce qui facilite le montage (nouveau système d'emboîtement qui permet de ne plus utiliser de colle et engrange un gain de temps considérable).
- faciliter la maintenance : grâce au point précédent, l'accès aux pièces critiques est plus aisé.
- développer un produit recyclable : le choix des matériaux a été revu pour intégrer un maximum de produits recyclés ou recyclables. Désormais, les compresseurs comprennent 20 à 30% de matériaux recyclés et sont recyclables à 94%. Leur consommation électrique est réduite de 20% et ce chiffre pourrait atteindre 36% dans lors des versions futures.

Finalement, la démarche d'éco-conception a ajouté au produit une valeur ajoutée :

- Le coût du produit est de 10% inférieur au coût chinois.
- Le délai de livraison est passé de 5 mois à 6 semaines.
- Le produit est assemblé en 7 jours, contre 32 en Chine.
- L'assemblage ayant lieu en France, les stocks sont gérés plus facilement
- L'entreprise a bénéficié d'une meilleure image.

Cela a généré la satisfaction des clients, Au vu de ce succès, Sullair envisage aujourd'hui d'autres projets basés sur l'éco-conception.

3.3 Les caractéristiques d'un produit éco-conçu

Sempels et al (2012) ont identifié les caractéristiques principales d'un produit éco-conçu. Lorsque c'est possible, nous établirons des liens entre ces caractéristiques et des problématiques spécifiques aux métaux. Un produit éco-conçu doit :

- Préserver son usage initial à prix raisonnable: Le produit éco-conçu doit rester fonctionnel, répondre aux attentes des consommateurs. La première chose que les consommateurs recherchent dans un produit, c'est son usage. La plupart d'entre eux ne seront pas prêts à payer plus cher parce qu'il est conçu de manière écologique. Sauf dans les cas où il possède de nouvelles fonctions, caractéristiques représentant une valeur ajoutée.

Bref, le produit éco-conçu ne pourra pas généralement être vendu beaucoup plus cher que le produit initial. Par conséquent, les coûts du produit éco-conçu ne doivent pas trop excéder ceux de son prédécesseur.

- Réduire l'intensité en matériaux et minimiser l'utilisation de ressources naturelles non renouvelables. La réduction de la teneur en ressources naturelles est une solution évidente mais elle présente aussi des faiblesses.

Premièrement, il ne faut pas analyser la quantité de matériaux présente dans le produit final mais bien la quantité consommée lors de sa production (incluant les chutes,... destinées à être éliminées).

Ensuite, la réduction tend souvent vers une miniaturisation des composants. Blazy et al (2002) affirme que cette dernière peut complexifier les opérations de recyclage, (démontage plus difficile et précis...) voire même les rendre pas rentables (trop d'actions à entreprendre, de ressources naturelles consommées par rapport aux quantités récupérées).

Il suffit de regarder l'épaisseur des ordinateurs portables, des GSM, des tablettes, ... Ces appareils électroniques ont un volume de plus en plus restreint alors que leurs performances ne cessent de s'accroître. Ces produits sont un assemblage de toutes sortes de métaux en quantités variables. Comme évoqué dans la première partie, un ordinateur fixe contient plus de 36 métaux (Drezet, 2014). Les figures 5 et 6 nous montrent la décomposition en matériaux de ce type de produit. On peut constater que des métaux majeurs comme le fer, le zinc, l'aluminium sont présents en quantité suffisamment importante que pour être recyclés ... Pour les métaux mineurs, la situation est plus alarmante. Nous en comptons 28 dont une partie est jugée critique par l'Union européenne (beryllium, tantale, indium, antimoine, platine, cobalt, niobium, ... Voir figure 2). De si faibles quantités de métaux rendent impossible de tous les recycler. En effet, des entreprises spécialisées dans le recyclage de déchets électroniques ne récupèrent que les métaux précieux comme l'or, l'argent, le palladium, ... mais ne s'intéressent pas aux autres (Site de EGS).

Des technologies de recyclage pour d'autres métaux mineurs comme l'indium sont à l'étude mais même si elles devaient aboutir, elles seraient coûteuses et ne permettraient pas de recycler tous les métaux mineurs.

L'interdépendance entre les métaux intervient encore. Dans les minerais, les métaux sont souvent regroupés suivant leurs caractéristiques communes. Il en est de même pour les filières de recyclage spécialisées. Il est impossible pour une même filière de recycler en un processus des métaux trop « différents ». Il y a donc un choix à faire. Chaque technique de recyclage implique un broyage, des attaques chimiques, ... qui font que les métaux mineurs ciblés sont récupérés mais que tous les autres sont simplement perdus.

A ce stade, nous ne pouvons pas apporter de solutions via l'éco-conception pour le recyclage des métaux critiques. Ils sont peu substituables et leur utilisation est incontournable dans notre économie. La seule solution plausible est celle des mines urbaines : une séparation manuelle des composants pour séparer un maximum les métaux avant un processus de recyclage. Pour optimiser ce dernier, Il faut dès la conception pouvoir situer les métaux dans l'appareil et surtout pouvoir le séparer en modules et pièces détachées (Sia, partners, 2014).

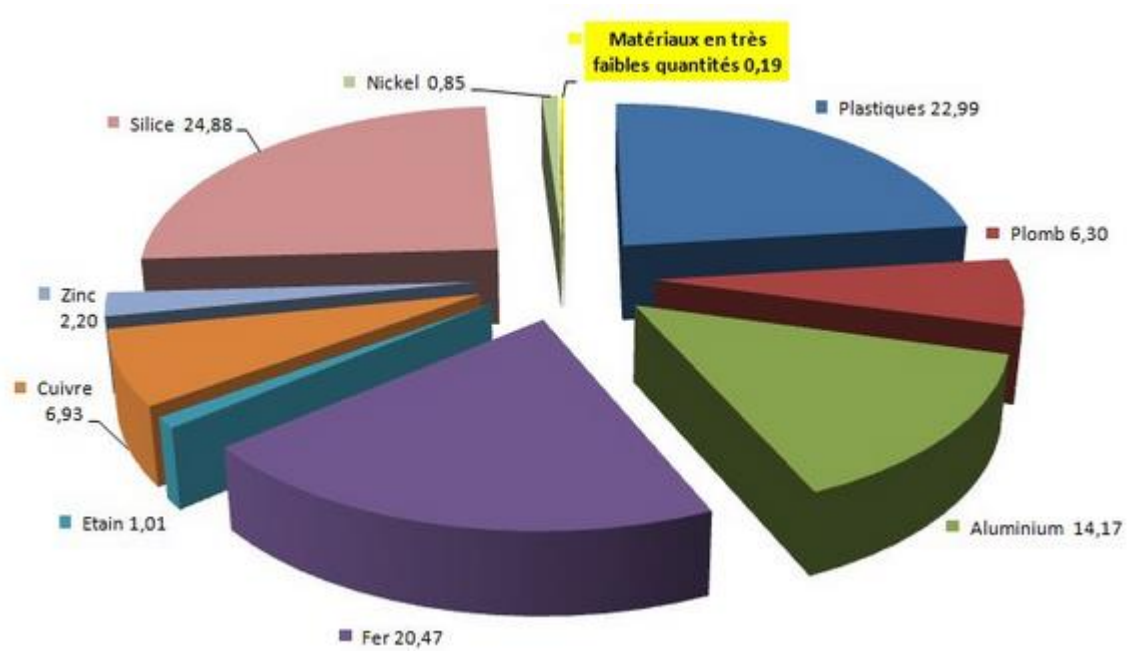


Figure 5 : Principaux matériaux constituant un ordinateur fixe. Pourcentages par rapport à la masse totale de l'appareil (Drezet, 2014)

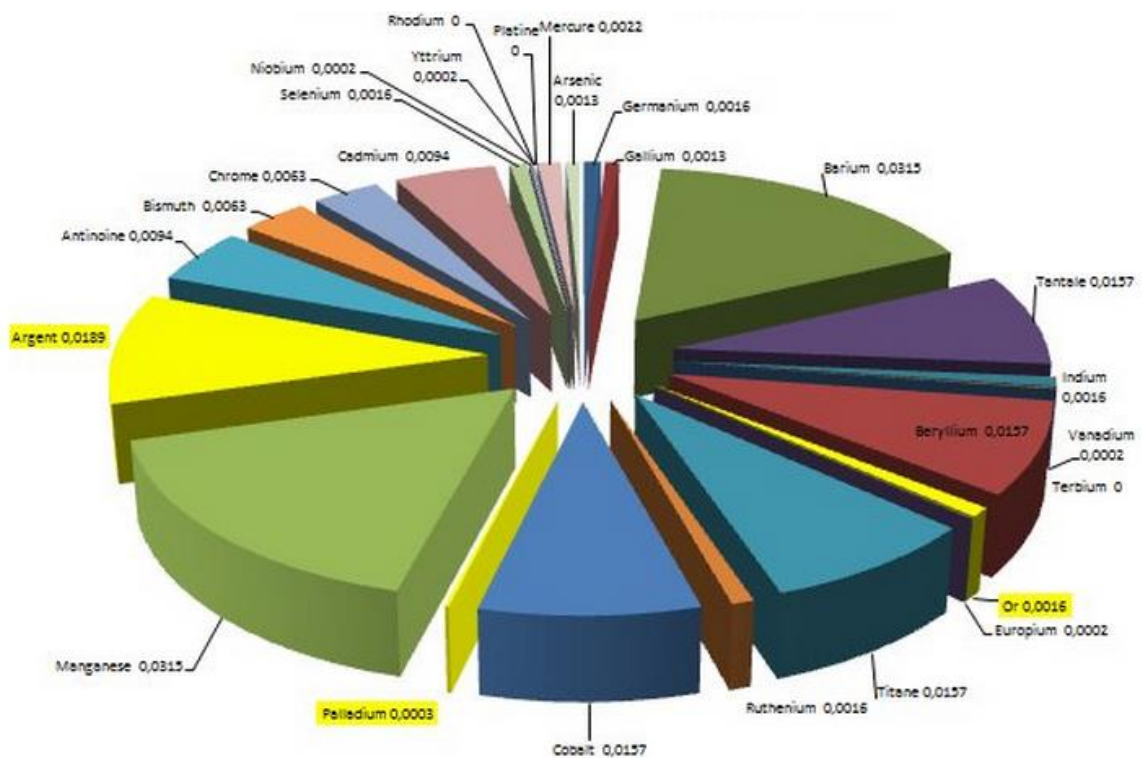


Figure 6 : Matériaux en très faibles quantités dans un ordinateur fixe. Pourcentages par rapport à la masse totale de l'appareil. (Drezet, 2014)

- Réduire l'intensité énergétique. L'éco-conception invite à revoir la consommation d'énergie tout au long du cycle de vie du produit.

Au niveau de la production, il faut favoriser des énergies renouvelables et optimiser la consommation d'énergie des processus. Ce dernier point est essentiel car les énergies vertes sont elles-mêmes consommatrices de ressources naturelles critiques (métaux critiques en autres,...). Nous continuerons cette problématique dans le chapitre portant sur l'écologie industrielle.

Réduire la consommation énergétique d'un produit lors de sa phase d'usage est aussi au programme mais présente un impact négatif : l'effet rebond. Bihouix et al (2010) expliquent que cela arrive lorsque la réduction de consommation d'énergie provoque un usage plus important du produit. Par exemple, pour les voitures, il a été observé que si un véhicule consomme moins de carburant, l'utilisateur aura tendance à l'utiliser plus ... Dans ces cas-là, il n'y a pas vraiment de réduction de consommation d'énergie.

- Minimiser les composants toxiques ou les remplacer. Supprimer les composants toxiques réduit l'impact environnemental et permet de s'adapter, d'anticiper certaines réglementations. Au niveau des métaux, la substitution peut aller plus loin que les composants toxiques. Elle devrait concerner les métaux, alliages critiques ou complexes à recycler. Voici quelques idées, problématiques à propos de la substitution des métaux :
 - La piste de 7 métaux (sodium, magnésium, aluminium, silicium, potassium, calcium et fer) abondants dans nos sols pourraient substituer d'autres métaux à l'avenir critique. A part le fer, le silicium et l'aluminium, ils ne sont pas encore exploités à échelle industrielle. Par exemple, Bihouix et al (2010) mettent en évidence que l'aluminium a un potentiel conducteur électrique comparable au cuivre. Cependant, l'énergie pour le produire (2 à 3 fois supérieure à celle du cuivre) représente un frein.
 - L'usage dispersif doit être remis en question. Un métal comme le titane possédant des caractéristiques du chrome devrait être utilisé autrement que comme colorant de dentifrice.
 - Aujourd'hui, certains métaux et alliages ont des filières de recyclage plus finalisées que d'autres. Ils sont à favoriser par rapport à ceux condamnés à être éliminés après un cycle de vie.

- Etre durable. La démarche d'éco-efficience incite à développer des produits ayant une plus grande durée de vie. Le principal frein au prolongement de la durée des produits reste le modèle économique, dont le résultat dépend du volume des ventes. Néanmoins, avec les risques d'approvisionnement et les prix instables de certaines ressources naturelles, il sera peut-être intéressant à l'avenir de vendre des produits ayant une durée de vie maximale. De Guillebon et al (2013) proposent d'agir sur un axe particulier en fonction de l'impact environnemental d'un produit et de sa durée de vie comme vous pouvez le constater sur la figure 7.

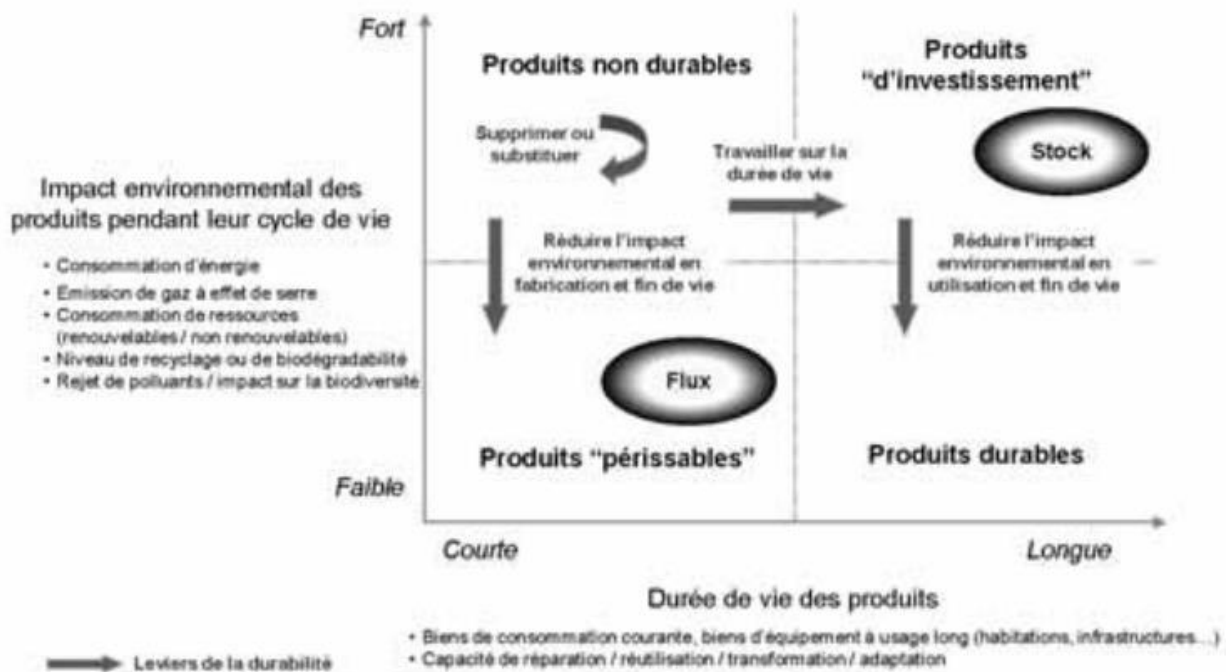


Figure 7 : Travailler sur les produits non durables. (De Guillebon et al, 2013)

En lien avec la durabilité, un produit éco-conçu doit être facile à entretenir et à réparer. Ce point sera développé plus en détail lorsque nous aborderons la mise en place d'une reverse supply chain.

3.3 Mise en place

La mise en place d'une démarche d'éco-conception au sein d'une entreprise relève d'un projet d'envergure. Quelques éléments sont indispensables avant de se lancer dans une telle démarche. Nous nous intéresserons ici à l'équipe qui dirigera le projet et les objectifs poursuivis.

3.4.1 L'équipe

Une démarche d'éco-conception classique ou innovante ne consiste pas à juste revoir la conception d'un produit. C'est un changement de la proposition de valeur de l'entreprise, ce qui implique tous les départements (Sempels et al, 2013). Le top management doit être en accord avec la démarche. Son rôle est de débloquer les ressources financières et humaines nécessaires. Il doit composer une équipe comprenant au minimum quatre profils : R&D, production, marketing et une personne en charge du management environnemental (Pôle éco-conception). Le marketing est représenté car il constitue l'interface entre les consommateurs et le produit. Son rôle est de valoriser le produit éco-conçu et ses nouvelles caractéristiques.

Ces besoins humains et financiers ne sont pas toujours disponibles en interne, en particulier pour les petites entreprises. Une solution est de s'entourer d'organisations extérieures spécialisées. Des associations telles que l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie), en France, peuvent fournir une aide financière et technique pour mener à bien la démarche. De plus, certaines régions disposent de programmes spécifiques apportant des aides similaires.

3.4.2 Les objectifs parcourus par la démarche

Avant d'entreprendre une démarche d'éco-conception, il faut fixer les objectifs (Sempels et al, 2013). Ces derniers peuvent être internes : chercher une réduction de coûts par une meilleure gestion des ressources naturelles, une volonté de relocalisation,... Mais aussi externes : opportunité de se différencier par rapport à ses concurrents, adaptation nécessaire pour répondre à des normes environnementales,...

La différence se situe au niveau de la volonté d'entreprendre la démarche. Certaines entreprises se lancent dans l'éco-conception par choix, d'autres parce qu'elles y sont contraintes,.... (Cognasse, 2014). Les motivations et objectifs sont importants car ils déterminent les ressources à fournir et le choix du produit sur lequel portera la démarche.

3.4 Analyse de la compétitivité

Pour cette analyse, nous utiliserons les résultats d'une étude portant sur la rentabilité de l'éco-conception (Pôle éco-conception, & Institut de développement de produit, 2014). Vous pouvez retrouver le résumé de l'étude en annexe.

3.5.1 Au niveau de la compétitivité prix

Des coûts des ressources naturelles plus stables

La révision d'un produit par l'éco-conception aura tendance à stabiliser, voire à diminuer son coût de revient sur le moyen et le long terme.

Vis-à-vis de ressources naturelles comme les métaux, l'éco-conception représente la première marche vers une meilleure utilisation. Réaliser une analyse du cycle de vie permet de s'intéresser au réemploi et au recyclage des produits en fin de vie dès la conception. Concevoir un produit comme un ensemble de modules et de pièces détachées est une première étape pour permettre le réemploi et optimiser le recyclage des métaux. L'entreprise a alors intérêt à collecter ses produits usagés afin de récupérer ou recycler les modules ou pièces détachées pour ses procédés industriels ou pour les revendre (à condition qu'une collecte des produits usés soit organisée).

L'entreprise favorisera aussi le choix de matériaux (métaux,...) moins critiques, qui ont un approvisionnement plus fiable et des prix moins volatiles, ce qui stabilisera le coût du produit.

Par rapport à la consommation d'énergie, une optimisation de la consommation des procédés industriels permettra de réaliser des économies.

Finalement, la démarche d'éco-conception n'aura pas toujours d'impacts significatifs sur le coût de revient à court terme. En revanche, sur le long terme, elle permet de le stabiliser et de le diminuer vu qu'elle utilise des ressources naturelles en moins grandes quantités, pour lesquelles les prix sont moins volatiles et l'approvisionnement plus stable. De plus, la récupération de modules, de pièces détachées en vue d'un réemploi ou d'un recyclage peut être envisagée lorsque l'entreprise collecte ses produits usagés.

La productivité des employés

L'étude a montré que l'éco-conception jouait aussi un rôle sur la productivité des employés, notamment grâce à une manipulation de produits respectueux de l'environnement, une

meilleure image de l'entreprise,... Selon Delobbe (2009), la fierté des employés et le sentiment d'appartenance à l'entreprise ont un impact positif sur leur productivité (moins d'absentéisme,...) ce qui se répercute aussi sur les coûts.

3.5.2 Au niveau de la compétitivité hors-prix

Une meilleure image

L'écoconception permet également de conserver, voire d'accroître ses parts de marché autrement que par une diminution des coûts.

L'entreprise expose une plus belle image. En effet, parmi les 196 entreprises concernées par l'étude, 86% ont constaté une amélioration de leur image et de leur notoriété. Quel que soit le type d'entreprise, avoir une bonne réputation reste toujours un aspect non négligeable de la stratégie, notamment en raison des différentes parties prenantes concernées : Consommateurs, presse, ONG, investisseurs,...

De Guillebon et al (2013) expliquent que l'opinion publique évolue. Les acteurs du marché sont de plus en plus sensibles aux entreprises intégrant le développement durable dans leur stratégie.

Les habitudes et comportements de consommation changent. Il suffit d'observer le développement des marchés bios, des labels équitables ou dans un autre domaine l'adoption rapide des velib's dans les métropoles,...

Au niveau des investisseurs, des banques,... Ces derniers sont progressivement plus sensibles aux enjeux environnementaux. Pour eux, investir dans une entreprise ne se souciant pas de l'environnement peut signifier un risque économique. En effet, elle peut devenir la cible d'articles de scandales et autres nuisant à sa réputation. Cela peut aussi mettre en évidence un manque d'évolution, d'innovation qui placerait l'entreprise en retard par rapport à des concurrents ayant enclenché des démarches innovantes et durables, ou encore, par rapport à de potentielles futures normes environnementales, qui pourraient bouleverser les modes de fonctionnement de l'entreprise.

L'éco-conception a donc comme retombée positive une meilleure image. Cette dernière a des impacts sur les différentes parties prenantes et conforte, voir augmente les parts de marché de l'entreprise.

Une source d'innovation

Selon Gailly (2010), innover ce n'est pas uniquement inventer de nouvelles choses. Innover c'est aussi faire les choses différemment, avec par exemple de nouvelles technologies, de nouvelles combinaisons, de nouveaux matériaux, processus,... L'éco-conception peut être considérée comme une source d'innovation. Grâce à ses différentes approches, l'éco-conception révisé un produit dans son entièreté, ce qui stimule la créativité et l'innovation à tous les niveaux de l'entreprise. On peut distinguer deux catégories d'innovation provenant de la démarche d'éco-conception :

- Les améliorations fonctionnelles du produit. L'étude a prouvé que l'éco-conception a contribué en moyenne à améliorer deux aspects fonctionnels du produit, améliorant la qualité d'usage des consommateurs.
- L'éco-conception permet d'analyser le produit sous un angle parfois inédit: les impacts environnementaux. Cela peut déboucher sur la mise en évidence de la non durabilité des ressources naturelles ou des technologies utilisées et les remettre en question à temps. Prendre en compte des problématiques environnementales telles que la disparité de certaines ressources doit faire partie de la stratégie des entreprises. Un exemple célèbre est le passage tardif de Kodak au numérique (Paris Tech review 2012). Dans les années 1980, Kodak disposait quasiment d'un monopole sur le marché mondial de la photographie argentique et avait un centre de R&D très innovant. Cependant, ils ont refusé de se lancer dans la commercialisation du numérique pour favoriser leur pellicule argentique. Or, l'argentique n'était pas une solution d'avenir. Sa consommation d'argent et de produits chimiques ne pouvait lutter face à l'appareil numérique dématérialisé et innovant en terme de fonctionnalités (possibilités de faire plus de photos). En résumé, Kodak, qui était le meilleur dans son domaine n'a pas su anticiper les tendances d'évolution du marché et s'est obstiné à commercialiser un produit non durable alors que ses concurrents investissaient dans le numérique. Nous pensons donc que l'éco-conception peut mettre en évidence cette non durabilité des produits.

3.5.3 Conclusion

L'éco-conception permet à l'entreprise d'améliorer sa compétitivité. Elle invite à réduire sa consommation de ressources naturelles et favorise l'utilisation de ressources naturelles durables (ou moins critiques). Cela se répercutera souvent dans une réduction et surtout une stabilisation des coûts.

De plus, elle intègre la gestion du produit en fin de vie ce qui incite à une conception prenant en compte le réemploi et le recyclage.

La démarche a d'autres retombées positives. Elle donne une meilleure image de l'entreprise et prend en compte, anticipe les tendances du marché. Elle stimule l'innovation et la créativité ce qui confère aux produits éco-conçus de nouvelles fonctionnalités à court terme.

Au niveau du long terme, elle peut mettre en évidence une non durabilité des produits qui utilisent des ressources naturelles, des technologies non durables. Elle peut conduire à une réflexion sur le design primaire du produit ce qui permettra d'éviter des problèmes tels que celui du passage tardif de Kodak au numérique.

4. La démarche d'écologie industrielle

L'écologie industrielle sera d'abord présentée et illustrée. Ensuite, nous identifierons trois points communs entre deux parcs éco-industriels : Dunkerque et Kalundborg. Après, nous développerons trois étapes nécessaires pour organiser une synergie entre deux entreprises.

Finalement nous identifierons les facteurs de compétitivité de cette démarche.

4.1 Présentation

L'écologie industrielle est un cas particulier d'économie circulaire. Par rapport à l'éco-conception, il s'agit d'un projet collaboratif. Le but est de mettre en place des écosystèmes industriels où « les déchets d'un procédé industriel peuvent servir de matières premières à un autre, réduisant l'impact de l'industrie sur l'environnement » (Frosh et al, 1989).

La démarche permet une meilleure gestion des déchets. Ils sont directement réintroduits dans un processus industriel à la place d'être éliminés ou recyclés. Le terme « déchet » reprend tous les matériaux (métaux,...), les énergies ou les sous-produits susceptibles d'être échangés. Ces flux de matières entre acteurs sont appelés « synergies de substitution ».

Il existe aussi des « synergies de mutualisation » (Lemoigne, 2014). Elles consistent à mettre en commun l'approvisionnement de matières premières (achats groupés et même logistique), à mutualiser des services (traitement des déchets, sécurité, recyclage,...),...

Finalement, nous pouvons retrouver de telles pratiques entre des entreprises isolées mais aussi à l'échelle de parcs éco-industriels. Ces derniers sont des zones industrielles où des synergies sont établies entre les entreprises de manière à former un réseau.

L'écologie peut s'étendre à des territoires entiers. Nous parlons alors d'écologie territoriale.

4.2 Exemple

Pour illustrer la démarche, nous choisissons de présenter le parc éco-industriel de Dunkerque (Beaurain et al (2014), Payre (2008), & Adoue (2007)).

Durant les années 1950, l'économie de Dunkerque s'appuyait sur son activité portuaire et sur son industrie sidérurgique. Les premiers flux de matériaux entre entreprises datent des années 1960 et sont liés au producteur d'acier Usinor. Dès le début des activités sidérurgiques, la question de la réutilisation du sous-produit principal, le laitier, s'est posée.

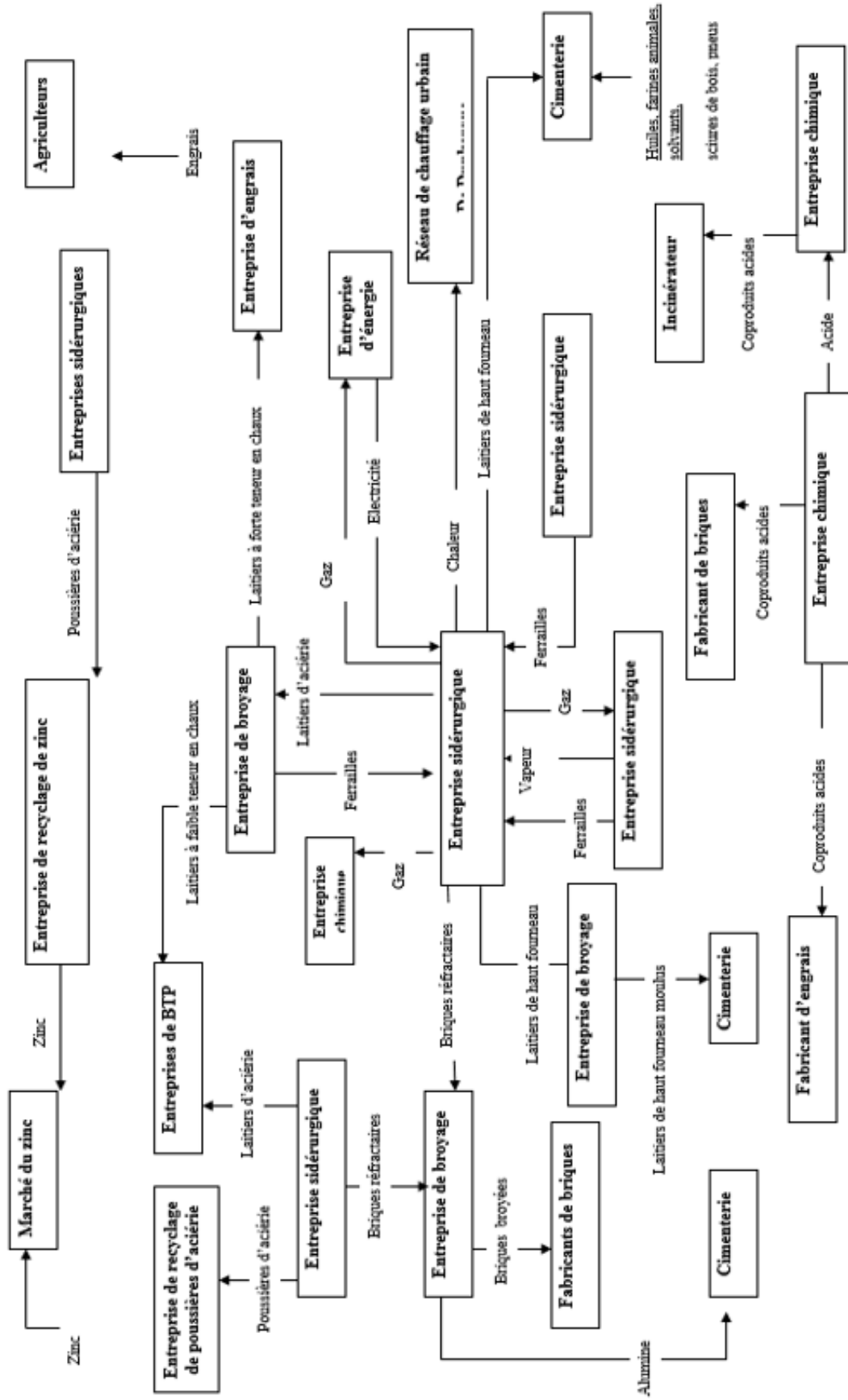
Une entreprise de traitement de résidus sidérurgiques s'est implantée au pied des hauts fourneaux pour récupérer le laitier. L'objectif était de l'utiliser comme matière première de matériaux de construction routière. Cet échange est considéré comme le premier contrat d'écologie industrielle de Dunkerque.

Parallèlement, Usinor s'est aussi intéressé à la valorisation des gaz issus de ses procédés industriels et lança le projet de construction d'une centrale thermique EDF en 1963. Cette centrale a permis à Usinor de satisfaire ses besoins en électricité. Le projet autour des gaz émis a pris une nouvelle ampleur dans les années 1980 avec l'implication de la ville de Dunkerque qui les réutilisa pour chauffer des bâtiments publics,...

Le réseau actuel, tel que vous pouvez l'observer sur la figure 8, ne se développe qu'à partir des années 1990. A cette époque, les enjeux environnementaux commençaient à avoir plus d'impacts sur les préoccupations des habitants. Ils voulaient de meilleures conditions de vie, notamment au niveau de la pollution de l'air. De plus, les réglementations en terme de pollution atmosphérique étaient plus contraignantes ...

Ces pressions ont favorisé la création de l'association Ecopal, qui comprenait des cadres responsables des départements environnements des entreprises. Le but était de promouvoir l'écologie industrielle au sein de la zone industrielle. Ecopal a commencé par développer des synergies de mutualisation (centres de recyclage, mutualisation de services,...). Après 3 ans, les entreprises se sont rendues compte que la mutualisation de ces activités mineures leur permettait de réaliser des économies. Elles ont alors commencé à s'intéresser à l'échange flux entre entreprises et à parler d'écologie industrielle. Depuis, ce sont plus de 50 contrats d'échanges qui s'effectuent dans le parc éco-industriel de Dunkerque (voir figure 8).

Figure 8 : La symbiose de Dunkerque (Beaurain et al, 2014)



4.3 Similitudes entre parc éco-industriels

En annexe, vous trouverez l'historique du parc éco-industriel de Kalundborg. Il est intéressant de la consulter pour identifier des similitudes avec celui de Dunkerque :

- Les synergies ne se sont pas créées du jour au lendemain. Les premières se sont créées de manière naturelle pour solutionner une problématique. Par exemple, l'approvisionnement en eau à Kalundborg et la valorisation d'une abondance de déchets industriels à Dunkerque. Même si les pressions environnementales peuvent faire partie des arguments en faveur des synergies, c'est avant tout la recherche de gain économique qui est à la base du réseau.

Chertow (2007) a étudié les cas d'une vingtaine de projets de symbioses industrielles entre 1996 et 2006. Sa conclusion était que les synergies les plus spontanées avec des objectifs précis (réduction coûts, adaptation à une réglementation,...) sont les plus rentables. Les synergies établies pour d'autres objectifs (par exemple pour des motivations politiques ou de RSE) n'avaient pas toujours abouti. Selon Gelin (2013), le mieux est de se fier aux synergies existantes, de les étendre, les développer et les encourager.

- La proximité géographique. Même si l'on peut imaginer des échanges entre deux entreprises isolées, le bouclage des flux de ressources naturelles entre entreprises se facilite par la concentration d'acteurs sur une même zone.
- On peut aussi constater le rôle d'acteurs relativement neutres. L'implication des municipalités ou d'associations comme Ecopal à Dunkerque jouent un rôle important dans la mise en relation et dans l'identification de synergies potentielles.

4.4 Mise en place

Nous développerons les étapes de la mise en place d'une synergie : de l'analyse de partenaires potentiels à l'évaluation de la faisabilité du projet. Ces étapes ne sont pas à négliger car une mauvaise analyse de l'une d'entre-elles peut mettre en péril la démarche.

4.4.1 Etudier le métabolisme industriel

La première étape pour trouver des partenaires potentiels est d'analyser le territoire. L'analyse porte sur la qualification et la quantification des flux de matières et d'énergies. On appelle cela l'étude du métabolisme industriel (Le Moigne, 2014).

Le défi principal dans la recherche de synergies reste d'obtenir les informations ci-dessus auprès des partenaires potentiels. En effet, les entreprises évoluent dans un monde concurrentiel. Elles ne rendent public qu'un minimum d'informations et ont peu de contact en dehors des relations clients-fournisseurs.

Selon Adoue (2015), il faut alors se débrouiller pour obtenir des informations

- Soit de manière directe : Relations entre des entreprises qui sont en contact (problématique de l'eau à Kalundbord, pression des habitants et d'organisations à Dunkerque,...) ou qui font partie d'une même association (Ecopal à Dunkerque,...).
- Soit de manière indirecte en consultant les informations de tiers (universités, collectivités, consultants,...).

4.4.2 Identifier les synergies potentielles

Une fois le métabolisme industriel étudié, on peut procéder à l'identification des entreprises qui pourraient nous procurer des ressources, ou celles à qui on pourrait vendre les nôtres. L'idéal est de trouver une entreprise avec laquelle il existe une complémentarité des flux.

4.4.3 Evaluer la faisabilité

En plus de la rentabilité estimée du projet, d'autres facteurs détermineront la faisabilité de la mise en place d'une synergie :

- La faisabilité technique : est-ce que le transfert est possible ? Au plus les entreprises sont éloignées, au plus le transfert de certaines ressources peut s'avérer inefficace (pour un échange d'énergie sous forme d'eau chaude, la distance maximale est estimée à 2 km,...(Le Moigne, 2014)).

L'infrastructure nécessaire au transfert (pipeline, ...) est aussi dépendante de la distance géographique entre les entreprises. Trop de kilomètres à parcourir engrangent parfois un investissement initial excessif.

La proximité géographique entre les entreprises joue donc un rôle majeur dans les échanges. Chertow (2007) l'utilise d'ailleurs afin de classer les différents types d'économie industrielle, suivant que les entreprises soient voisines, dans une localité ou encore dans une région.

- La réglementation : Si deux entreprises s'échangent des ressources qui ont le statut de déchet, elles doivent se référer à la législation en application dans leur région. Par exemple, en France certaines demandes d'autorisation ont une procédure d'obtention qui peut durer 24 mois ... (Payre, 2008)
- La qualité des ressources disponibles : Certaines ressources devront nécessiter un traitement avant d'être introduites dans un procédé industriel. Par exemple, des gravats d'une entreprise de construction devront être calibrés et triés avant d'être utilisés par une autre entreprise.

Il faut également veiller à la qualité de la ressource. Après avoir subi un processus industriel, elle peut garder des séquelles (traces de métaux lourds, ...) qui la rendraient inutilisable. (Adoue, 2007). Vis-à-vis des métaux, la qualité pourrait être synonyme d'opportunités de synergies. De nombreux métaux utilisés en alliage ne sont par la suite plus récupérés pour leur usage initial mais pour un usage moins noble, voire même une classification en ferraille. Il serait peut-être intéressant pour une entreprise

consommatrice de métaux d'identifier d'autres entreprises dont les chutes de production (par exemple) pourraient servir de matières premières.

- La quantité de ressources disponibles : l'offre et la demande déterminent également la faisabilité.

Si l'offre de déchets est inférieure à la demande, l'entreprise qui consomme les déchets devra quand même se faire fournir par des fournisseurs classiques.

Si elle est supérieure, l'entreprise devra utiliser des canaux traditionnels pour éliminer ses déchets. En d'autres mots, un projet d'une telle ampleur ne vaut pas toujours la peine d'être entrepris au vu de ce que l'échange représente par rapport à la demande ou à l'offre totale en ressources naturelles de l'entreprise.

Adoue (2015) remarque que la continuité de l'offre et de la demande peut constituer un obstacle. Si une entreprise ne peut offrir (ou demander) des ressources naturelles qu'à certaines périodes de l'année, cela peut ne pas être intéressant pour l'autre.

Finalement, la décision au niveau quantitatif dépendra surtout de l'intérêt économique estimé du projet.

- La pérennité de la synergie : Précédemment nous avons remarqué que la mise en place de synergies était coûteuse (infrastructure de transfert, de traitement des ressources naturelles échangées,...). Un projet de symbiose industrielle porte sur le moyen terme, voire le long terme.

Il est indispensable que les deux entreprises soient stables au niveau de leur offre et de leur demande (changement de procédé industriel, cessation d'activité,...). Une rupture de l'offre ou de la demande peut provoquer des coûts importants et de fortes perturbations opérationnelles (besoins de nouveaux fournisseurs,...).

Par conséquent, si une des entreprises devait faire faillite, cela provoquerait une réaction en chaîne qui pénaliserait une grande partie des acteurs. La symbiose industrielle crée une dépendance vis-à-vis des autres entreprises qui peut être perçue comme un frein.

La pérennité est aussi liée à la confiance entre les différents acteurs. Diemer et al (2007) souligne l'importance de la confiance mutuelle ainsi que le partage de certaines valeurs sans lesquels les synergies ne seraient pas envisageables.

4.5 Analyse de la compétitivité

4.5.1 Au niveau de la compétitivité prix

Bénéfices directs des échanges

Comme déjà explicité, la motivation principale d'organiser des échanges entre deux entreprises est économique. Adoue (2007) résume la situation de cette manière :

- Une entreprise A espère pouvoir se débarrasser de ses déchets en les revendant comme ressources (ressources naturelles et sous-produits) utilisables à une entreprise B. L'entreprise A reçoit évidemment les montants reçus pour les transactions, qui sont d'autant plus importants que les quantités de ressources échangeables sont conséquentes.

Par exemple, à Dunkerque, on estime à 6 millions d'euros les gains provenant de la vente de sous-produits du producteur d'acide (Beaurain et al 2014). De plus, le fait de revendre ses déchets de production évite à l'entreprise de dépenser de l'argent pour les valoriser ou les éliminer.

L'entreprise A perçoit donc des revenus supplémentaires via la vente de ressources inutilisables dans son procédé industriel et diminue ses coûts de production en ne devant plus éliminer ses déchets par elle-même.

- L'entreprise B y voit l'opportunité de se procurer des ressources à un prix plus bas que par des fournisseurs traditionnels. Par exemple, vu que les ressources sont échangées localement, rien que les économies au niveau du transport sont considérables.

Finalement, lorsque les synergies sont établies en veillant aux différents éléments présentés précédemment, elles peuvent permettre aux entreprises de réaliser de véritables gains économiques. Ces gains diminueront les coûts de revient des produits qui seront plus compétitifs.

Il est sûr qu'une synergie ne permet pas toujours de réduire significativement les coûts relatifs à un produit. Cependant, lorsque l'écologie industrielle prend la forme d'un réseau et que les entreprises mutualisent divers services, c'est la somme d'une multitude d'économies qui octroie un gain significatif et donc un avantage concurrentiel.

Les économies d'énergies

Dans le chapitre sur l'éco-conception, deux solutions étaient proposées par rapport à la consommation d'énergie.

- Réduire l'intensité énergétique. C'est-à-dire optimiser la consommation d'énergie des processus de production ainsi que sur la consommation lors de la phase d'usage.
- Réduire l'utilisation d'énergies fossiles comme le pétrole et le gaz. Les réserves diminuent et il est donc primordial de trouver des alternatives. Les énergies renouvelables sont alors énoncées comme pistes de substitution. Le problème est que ces énergies renouvelables sont elles-mêmes fort consommatrices de métaux mineurs. Nous retrouvons le cercle vicieux présenté dans la première partie (Fizaine, 2014).

Dans les parcs éco-industriels, on constate qu'il y a des échanges de sous-produits, de déchets... mais aussi beaucoup des échanges d'énergie sous forme de chaleur, de gaz,... Rien qu'à Kalundborg, les synergies permettent d'économiser chaque année 20.000 tonnes de pétrole. Les parcs éco-industriels ne diminuent pas forcément la quantité d'énergie consommée par une entreprise mais diminuent le bilan énergétique global.

Aujourd'hui, des craintes peuvent être émises vis-à-vis du passage aux énergies renouvelables. Les énergies fossiles seront petit à petit substituées dans les applications où c'est possible. Mais chaque substitution sera consommatrice de métaux critiques. On remarque que la demande en métaux critiques s'intensifiera lors des prochaines années. Même si des mines comme Mountain Pass, spécialisée dans les terres rares, sont à nouveau ouvertes, il est légitime de se demander si cela suffira à satisfaire la demande (Papon, 2011). Si ce n'était pas le cas, nous savons qu'une mine ne devient pas opérationnelle avant un certain temps. Les entreprises seront donc contraintes de dépenser des sommes excessives en infrastructures d'énergies renouvelables ou ne disposeront pas d'assez d'énergie.

L'écologie industrielle est donc intéressante pour deux raisons :

- Même si 20.000 tonnes de pétrole ne représente rien par rapport à la production mondiale, toute économie pourrait devenir un jour significative et synonyme de compétitivité.
- Il a été observé que la transition vers les énergies renouvelables pouvait être facilitée dans les parcs-éco-industriels. Par exemple, à Kalundborg, les entreprises ont pour

projet de passer aux énergies renouvelables pour l'ensemble du parc. Grâce à cela, les entreprises peuvent construire une infrastructure commune, ce qui facilite la transition. (Fondation Ellen Macarthur, 2015)

4.5.2 Au niveau de la compétitivité hors prix

Une meilleure image

A Dunkerque, l'écologie industrielle a amélioré la qualité de vie des habitants. En effet, les synergies ont permis de réduire les pollutions émises par les procédés industriels.

Malgré tout, le fait de procéder à des échanges de ressources naturelles ne résout pas forcément les problématiques environnementales (réchauffement climatique,...). Il suffit d'observer à Kalundborg que la majorité des échanges tournent autour de l'industrie pétrolière ...

L'écologie industrielle permet « juste » de prolonger la durée de vie de ressources destinées initialement à être éliminées. Elle ne prétend pas à des améliorations au niveau de la durée de vie des produits ou à la substitution de ressources naturelles critiques.

De ce fait, une entreprise qui a mis en place des synergies exposera une meilleure image mais ne sera pas valorisée autant qu'une entreprise ayant développé des produits éco-conçus. Les principaux avantages restent ici de l'ordre de la compétitivité prix.

Une démarche secondaire ... Pas une activité principale

Nous avons vu que des produits revus via la démarche d'éco-conception comportaient souvent de nouvelles fonctions innovantes. Une analyse sur l'ensemble du cycle de vie remet en question la conception du produit dans son ensemble, ce qui stimule la créativité des employés. L'écologie industrielle a aussi un aspect innovant dans le sens où le procédé d'approvisionnement en ressources varie, ce qui implique de nouvelles infrastructures et parfois même de nouvelles activités,...

De nouvelles technologies peuvent émerger pour traiter les déchets achetés, mais la finalité n'est pas de faire évoluer les caractéristiques du produit. Par exemple, la récupération de vapeur d'eau dans un procédé industriel aura un effet sur la consommation d'énergie mais ne modifiera

en rien le produit final. Esty et Porter (1998) mettent en garde les entreprises de ne pas oublier de se consacrer au développement de sa gamme de produits, ou de manière générale à d'autres moyens plus classiques d'améliorer leur productivité et leur compétitivité.

4.5.3 Conclusion

On peut qualifier l'écologie industrielle d'outil permettant d'aider les entreprises à réduire leurs coûts, en utilisant plus efficacement leurs ressources naturelles. Au vu des tensions actuelles, maîtriser ses flux de ressources naturelles se révèle indispensable et peut rendre l'entreprise plus compétitive. Cependant, la démarche d'économie industrielle seule ne peut pas être considérée comme unique source d'innovation et de compétitivité. Il est indispensable que les entreprises poursuivent une stratégie classique, avec des activités de R&D traditionnelles afin de conserver leurs parts de marché.

Pour aller plus loin, on peut souligner l'aspect collaboratif de ces synergies. Une collaboration inédite dans un monde concurrentiel. Selon Zoual (2014), ces relations peuvent conduire à des échanges de connaissances, des partages d'expériences entre entreprises non amenées à communiquer entre-elles naturellement. On peut imaginer que cela mènera à des mutualisations telles qu'un même centre de recyclage, un même réseau logistique qui seraient indispensables pour un projet de reverse supply chain.

5. La démarche de reverse supply chain

Dans ce chapitre, nous nous intéresserons à la mise en place d'une reverse supply chain. Après une présentation illustrée par la reverse supply chain de l'entreprise Ricoh, nous développerons les différentes activités qui permettent à un produit d'être maintenu, réemployé,... Ainsi que les principaux obstacles à la création d'un tel projet.

Finalement, nous identifierons les facteurs de compétitivité.

5.1 Présentation

Une reverse supply chain permet de « gérer les différents flux de matières et de produits suivant un cycle fermé » (Le Moigne, 2014)

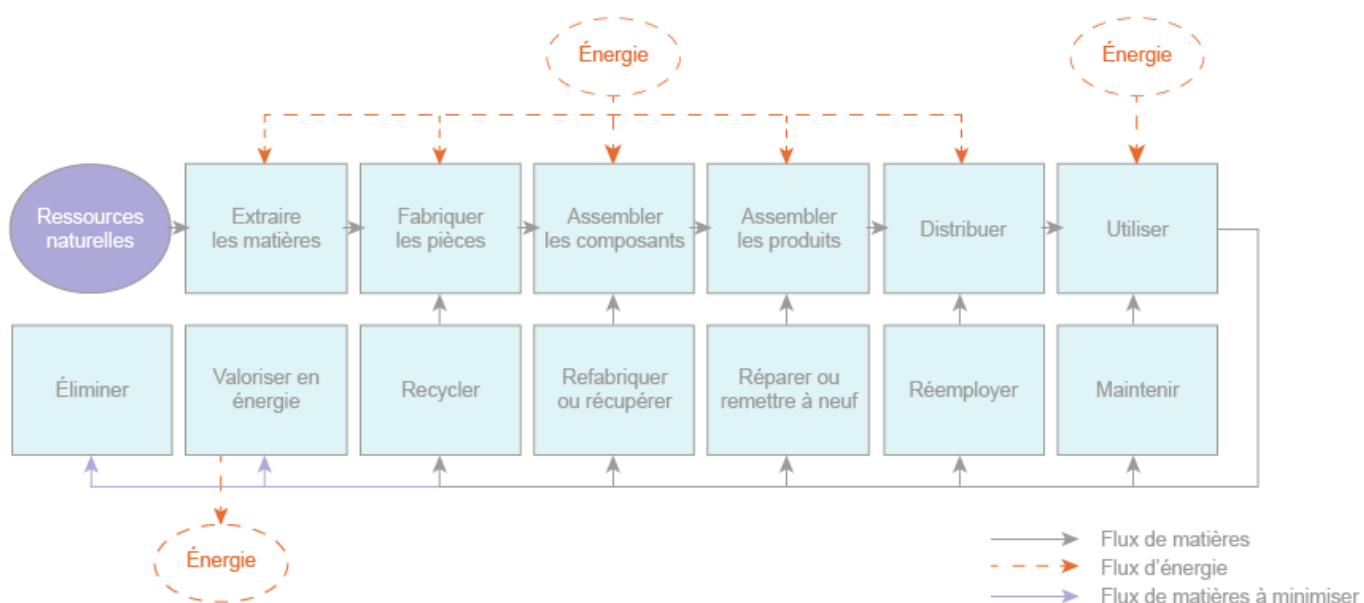


Figure 9 : Cycle des produits dans une boucle fermée (Le Moigne, 2014)

Elle est l'opposition de la vision linéaire de nos processus de production et de consommation. En effet, le produit usagé n'est plus considéré comme le dernier maillon de la chaîne, comme un déchet. La vision est complètement différente. L'objectif est de capturer la valeur des produits arrivant à la fin de leur cycle de vie. Ils passent du statut de contrainte (coût pour les éliminer,...) à celui de ressource.

Une reverse supply chain est représentée comme un réseau où diverses activités sont indispensables. Nous pouvons citer la collecte des produits usagés auprès des consommateurs

et les centres de traitement des produits arrivés en fin de vie. Après leur retraitement, les produits ou leurs composants seront réintroduits dans l'une des étapes de la supply chain classique. Sans oublier la logistique qui joue le rôle d'intermédiaire entre ces activités.

5.2 Exemple

Nous avons choisi la reverse supply chain de l'entreprise Ricoh (site officiel de la marque, & Ellen Macarthur, 2012). Cette dernière est une entreprise japonaise spécialisée dans la fabrication et la commercialisation d'équipements de bureau tels que des photocopieuses, des imprimantes, des scanners, des fax, des logiciels,... Elle est présente dans 180 pays et figure dans le classement « Fortune 500 company », qui comprend les entreprises ayant les plus grands chiffres d'affaires.

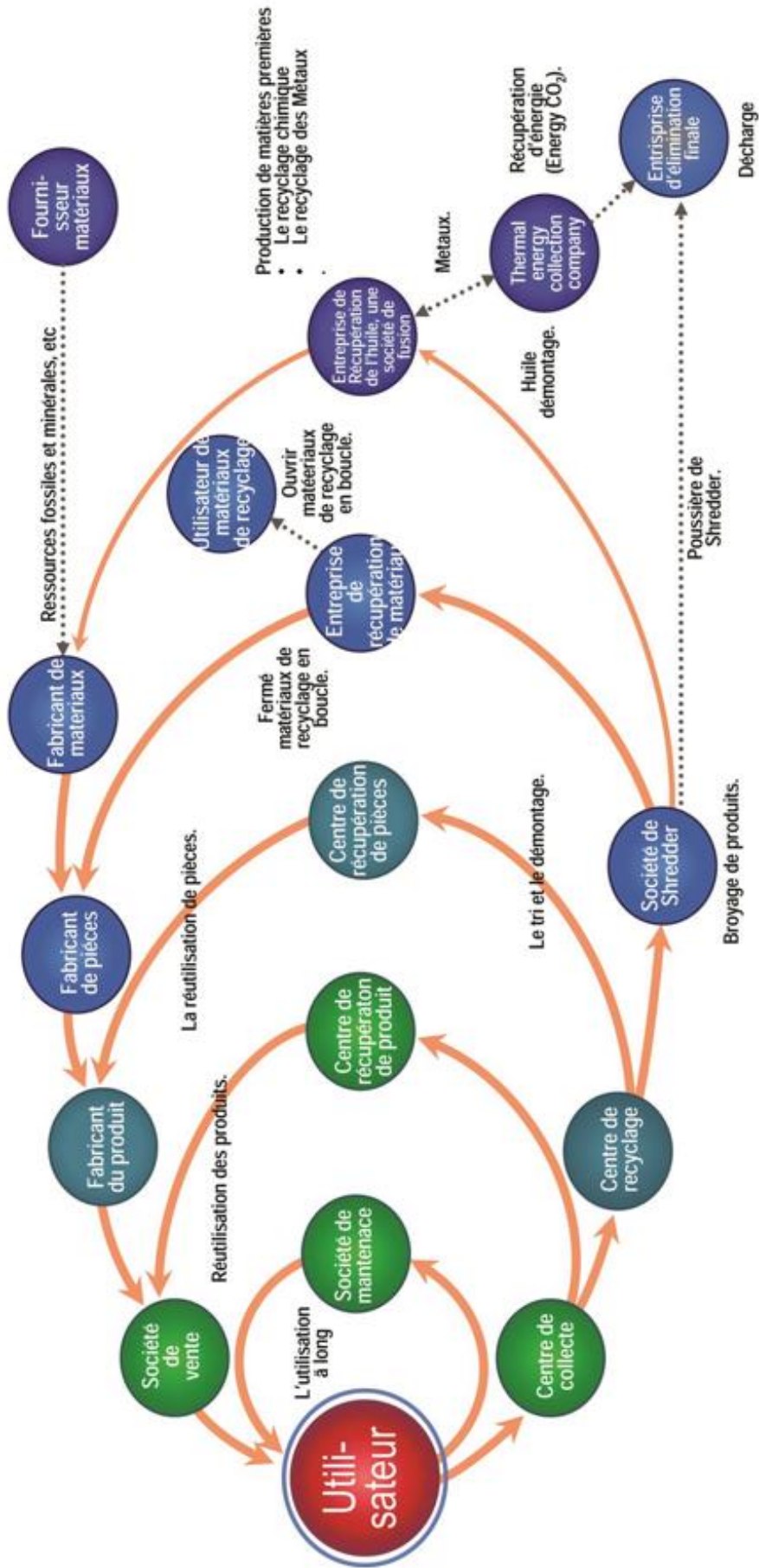
En 1994, Ricoh se lance dans le projet « Comet circle ». Le but est de comprendre comment l'entreprise peut réduire son impact environnemental. Elle ne s'intéressera pas uniquement à l'impact de la fabrication et de la vente de ses produits mais aux cycles de vie complets, incluant la gestion des produits arrivés en fin de vie.

Le projet Comet Circle découlera sur la création du label « GreenLine label ». Il représente les produits provenant de sa reverse supply chain. Ils ont permis à la marque d'élargir sa gamme de produits. En complément des produits neufs, elle propose désormais ses produits GreenLine label. Ils sont vendus à un prix inférieur et permettent de toucher une clientèle plus variée.

Sur la figure 10, ce sont les boucles intérieures, les plus proches des consommateurs qui sont favorisées. On remarque que le recyclage est le dernier recours avant l'élimination du produit, lorsque des composants ne sont plus utilisables.

Grâce à ce système, Ricoh fait des économies considérables en termes de ressources naturelles. Elle est de moins en moins dépendante des sources d'approvisionnement classiques. Les objectifs de Ricoh sont de réduire l'utilisation de ressources neuves de 25% d'ici 2020 et de 87,5% d'ici 2050. De plus, elle travaille en parallèle sur la recherche d'alternatives aux ressources naturelles les plus critiques (pétrole, cuivre, chrome). Le but est de diminuer un maximum leur utilisation ou de pouvoir les substituer d'ici 2050.

Figure 10 : Reverse supply chain de Ricoh (Site officiel)



5.3 Mise en place

5.3.1 Les activités principales

Une reverse supply chain est constituée de six activités :

- La collecte des produits auprès des consommateurs : cette étape comprend le ramassage des déchets, un premier tri et le stockage préliminaire en vue de leur transfert pour une des opérations de retraitement (Kumar 2003).

Le Moigne (2014) identifie deux techniques de collecte de déchets :

- La technique « Pick up » : l'entreprise se rend chez le consommateur pour reprendre son produit et dans certains cas lui en fournir un nouveau.
 - La technique « Drop off », l'entreprise incite le consommateur à ramener le produit chez un distributeur (par exemple, les reprises de téléphones portables).
- La logistique inverse : une fois les produits collectés, un réseau logistique doit être construit afin de les acheminer vers des centres de tris et de traitement (Guide et al, 2003). La subtilité de cette étape est que les produits peuvent avoir le statut de déchets. Ils sont alors soumis à une réglementation spécifique.
Notons que ce réseau de logistique inverse est différent de la logistique classique. Cette activité est donc souvent externalisée.

- Le tri des produits : Le tri consiste à sélectionner parmi le flux de déchets ceux qui seront retraités et ceux qui seront éliminés.

Au niveau des produits usagés, ils peuvent être testés dans le but d'évaluer le niveau d'usure du produit. Cela permettra de les classer et de les diriger vers l'option de retraitement la plus « adéquate ». « Adéquate » car ce ne sera pas toujours le retraitement offrant la marge la plus élevée qui sera choisi. Le Moigne (2014) identifie d'autres facteurs influençant le choix de l'option de retraitement :

- L'incertitude de la demande
- La qualité des produits retournés
- La capacité disponible des centres de remise en état
- Le risque que le produit ne soit pas revendu
- La valeur de ses différentes pièces détachées

Domagala (2013) ajoute que le tri, le test et le choix de l'option de retraitement peuvent être facilités si l'entreprise utilise des capteurs, des codes-barres ou d'autres stratégies qui permettent de classer les produits automatiquement.

- Le retraitement : Il existe plusieurs stratégies de retraitement possibles pour un produit (Le Moigne 2014, & Kumar et al, 2006):
 - La réparation et le réemploi : elle consiste à réparer un produit usé ou défectueux afin de le rendre à nouveau opérationnel. Par exemple, des activités de maintenance permettent de conserver un produit dans un état fonctionnel et d'étendre sa durée de vie. Cependant, un produit réparé a moins de valeur qu'un produit neuf ou qu'un produit remis à neuf.
 - La remise à neuf : Par rapport à la réparation, tous les modules critiques sont testés et si nécessaire remplacés. Le produit est démonté en différents modules qui sont inspectés (réparés quand il le faut). Il est ensuite réassemblé pour obtenir un produit atteignant un niveau de qualité donné (néanmoins inférieur à celui d'un produit neuf).
Une mise à niveau du produit peut également s'effectuer afin de remplacer des pièces obsolètes par de plus récentes.
 - La refabrication : Son but est de produire des produits ayant des standards de qualité équivalents à ceux des produits neufs. Les produits usagés sont complètement désassemblés jusqu'au stade des pièces détachées dans le but de remplacer celles trop usagées, cassées ou obsolètes.
 - La récupération : Elle consiste à extraire différents modules encore fonctionnels pour les réutiliser dans l'une des trois stratégies de retraitement ci-dessus.
 - Le recyclage : Le but est de recycler des matériaux et de les réutiliser dans la production de produits neufs.
 - L'élimination : En dernier recours, les matériaux non-retraitables doivent être éliminés. Pour cela, ils peuvent être incinérés ou mis en décharge.
- La revente des produits recyclés sera développée dans l'analyse de la compétitivité.

Une reverse supply chain comprend donc une succession d'étapes et nécessite la mise en place d'un réseau logistique complexe.

5.3.2 Les obstacles

Les reverse supply chain sont confrontées à des difficultés qui ne sont pas présentes dans la supply chain classique:

- La conception du produit neuf : Les produits ne sont pas toujours conçus en vue de leur remise en état et de leur recyclage.
Ils sont parfois difficilement démontables, ce qui rend compliqué les réparations.
Une démarche d'éco-conception peut être considérée comme une première étape. Elle conduira à des produits possédant les caractéristiques des produits éco-conçus, idéals pour fonctionner dans une reverse supply chain.

- La quantité et la qualité des produits retournés sont variables et imprévisibles_:
Il est peu évident pour une entreprise d'estimer la quantité et la qualité des produits retournés. Les quantités sont difficilement prévisibles. Cela dépend du nombre de produits en circulation, de la durée de vie des produits et de leur date d'achat (Le Moigne 2014). Il en est de même pour la qualité. Elle dépend du niveau d'usure du produit, de son âge, ...
Une étude du cycle de vie, la présence de capteurs sur les produits et une politique encourageant le retour des produits usagés peuvent diminuer ces différentes incertitudes.

- La distance géographique entre les centres de collecte de produits usagés et les centres de tri, de retraitement : Cela implique un réseau logistique long, complexe et différent de celui de la supply chain classique. Domagala (2013) fait la remarque que le transport de faibles quantités de biens usagés augmente considérablement les coûts de transfert unitaire.

5.4 Analyse de la compétitivité

5.4.1 Au niveau de la compétitivité Prix

Favoriser le réemploi pour obtenir un stock de pièces détachées en interne

Dans l'exemple de Ricoh, on a précisé que l'entreprise favorisait les boucles les plus proches du consommateur. Il en est de même pour Stahel (2006) qui situe davantage l'économie circulaire dans la maintenance et le réemploi que dans le recyclage.

Reprenons notre exemple d'ordinateur fixe. Il est composé de 36 métaux différents présents en quantités variables. Les seuls métaux récupérés lors d'un recyclage seront les métaux majeurs (masse importante) et les métaux précieux (or, argent,...). Tous les autres sont destinés à être éliminés, incorporés dans de la ferraille,... Aucune filière de recyclage spécialisée n'est capable de récupérer tous ces métaux ensemble.

La conséquence est qu'une entreprise ne pourra jamais se créer de stock de métaux mineurs recyclés. Elle sera toujours dépendante d'un approvisionnement en métaux mineurs neufs. La seule solution pour prolonger la durée de vie des métaux mineurs est de les conserver sous forme de modules et de pièces détachées. Il est donc utile de concevoir des produits décomposables en un ensemble de modules, de pièces détachées durables qui seront réutilisables successivement sur des produits similaires.

Cependant, tout cela n'est possible que lorsque la collecte des produits usagés est bien organisée.

A partir du moment où l'entreprise réussit à collecter les produits usagés, elle peut les retraiter. L'étape de la collecte est peut-être la plus importante. Kumar (2011) insiste sur le fait que les produits perdent leur valeur avec le temps. Des produits trop vieux ne pourront pas être réutilisés et seront juste recyclés. Ce phénomène s'accroît pour des produits électroniques. Un ordinateur perdrait 1% de sa valeur chaque semaine. L'entreprise doit donc se débrouiller pour collecter ces produits au bon moment.

Si elle gère bien cette activité, elle aura une source d'approvisionnement en interne. L'entreprise disposera de modules et pièces de rechanges à bas prix qu'elle pourra réutiliser dans la réparation ou la conception de produits. Elle sera ainsi moins dépendante des ressources neuves et leurs problématiques. On peut imaginer qu'un produit dont les pièces et composants viennent directement de la reverse supply chain aura un coût nettement inférieur et plus stable

à celui d'un produit comprenant que des ressources naturelles neuves. Des coûts des produits plus bas et stables augmenteront la compétitivité de l'entreprise.

5.4.2 Au niveau de la compétitivité hors prix

Un service après-vente de qualité

La reverse supply chain sera bien perçue par les consommateurs. Des produits durables et réparables sont synonymes d'un bon service après-vente. Il s'agit d'un service supplémentaire, pas toujours présent chez les concurrents, qui permet à l'entreprise de se différencier. Regiane et al (2011) expliquent que ça renforcera la fidélité des consommateurs.

Une meilleure image

La reverse supply chain améliorera l'image de l'entreprise. C'est la preuve qu'elle se soucie des enjeux environnementaux qui pèsent de plus en plus dans l'opinion publique (voir chapitre sur l'éco-conception).

De nouveaux consommateurs

Comme déjà évoqué, l'entreprise pourra élargir sa gamme de produit. Elle a l'opportunité de proposer des produits provenant directement de sa reverse supply chain. Ces produits seront vendus à un prix inférieur à celui des produits neufs. Des consommateurs disposant de moyens financiers limités auront l'opportunité de se procurer ces produits de qualité à moindre coût. Pour l'entreprise, les avantages sont doubles :

- Elle cible de nouveaux clients qu'elle ne pouvait pas atteindre avec ses produits classiques
- Elle vend un produit sur lequel elle réalise une marge. Même si des consommateurs « normaux » se dirigeaient vers ce type de produit, la marge totale ne serait pas nécessairement inférieure. En effet, la différence de prix peut être directement liée à la réduction de coût.

5.4.3 Conclusion

Un projet de reverse supply chain est un projet de bien plus grande envergure que ceux d'éco-conception et d'écologie industrielle. Le réseau à construire est très important en raison du nombre d'activités à organiser. Il s'agit d'un projet à long terme qui n'apportera pas beaucoup de bénéfices lors des premières années, le temps que la conception des produits durables soit effectuée et que les premiers produits usagés durables soient collectés. Dans un premier temps, externaliser ou mutualiser des activités (transport, centre de maintenance) permettra de réduire les investissements. Des partenariats seront également indispensables : avec les distributeurs, ... mais aussi avec les consommateurs qu'il faudra habituer à ce nouveau mode de fonctionnement.

Tous ces efforts ne seront amortis que si la reverse supply chain concerne un grand volume de produits. On peut difficilement imaginer une telle démarche sur un seul produit comme l'on pourrait le faire avec l'éco-conception.

Cependant, elle véhicule de réelles opportunités en termes de compétitivité lorsque le projet aboutit. Elle permet d'utiliser les ressources de manière optimale et conduira à la création d'un stock interne à l'entreprise. Au final, la dépendance vis-à-vis de ressources neuves diminuera, ce qui diminuera, stabilisera le prix des produits et par conséquent augmentera la compétitivité.

De plus, son image sera améliorée et les consommateurs apprécieront des produits plus fiables, un bon service après-vente. Davantage de consommateurs pourront même être atteints via la création d'une gamme de produits issus de la reverse supply chain, ce qui accroît les parts de marchés.

6. L'économie de la fonctionnalité : Modèle centré sur l'usage ou le résultat

A ce stade, nous avons présentés trois démarches, dont l'éco-conception et l'écologie industrielle. Ces deux dernières peuvent être perçues comme les premières étapes de l'organisation d'une reverse supply chain :

- L'éco-conception incite à créer des produits plus durables, avec certaines caractéristiques qui sont indispensables pour fonctionner dans la boucle d'une reverse supply chain.
- L'écologie industrielle, moins indispensable, qui met en avant l'importance de l'entourage de l'entreprise. Elle incite à la collaboration en favorisant des synergies de substitution ainsi que la mutualisation d'activités.

Nous considérons que ces deux démarches peuvent être utiles dans la mise en place d'une reverse supply, qui repose généralement sur deux points cruciaux : des partenariats pour la sous-traitance de certaines activités et la conception de produits durables.

Cependant, notre économie basée le volume des ventes peut être considérée comme un obstacle à la mise en place d'une reverse supply chain, et inversement. En d'autres mots :

- Créer des produits ayant une durée de vie la plus longue possible n'a pas de sens dans une économie basée sur le volume des ventes. En effet, vendre un produit ayant une durée de vie maximale ne poussera pas le consommateur à consommer, ce qui diminuera les bénéfices.
- De même, octroyer la propriété d'un produit au consommateur via une vente classique peut endommager sa maintenance et ses options de retraitement. Il suffit de penser aux GSM, écrans d'ordinateur,.... Ceux-ci trainent au fond d'un tiroir ou d'un grenier et, après une trop longue période, deviennent trop obsolètes pour être réutilisés.

Finalement, on pourrait presque résumer la situation en disant qu'une économie basée sur le volume des ventes et une reverse supply chain peuvent être rentables individuellement mais s'opposent lorsqu'elles sont appliquées en même temps.

Dès lors, il est utile de rechercher un nouveau business model, combinant deux objectifs :

- Rapporter de l'argent aux entreprises, c'est-à-dire un modèle où les consommateurs continuent de payer. La question consiste à « payer pour quoi » ? Payer pour la propriété

d'un produit ? Payer pour l'utilisation momentanée d'un produit ? Payer pour l'usage d'un produit ? Payer pour un résultat ?

- Adopte une reverse supply chain et où idéalement l'entreprise garde le contrôle des produits, ce qui lui permet de leurs fournir la maintenance adéquate. Un modèle où des produits ayant une longue durée de vie ne représentent pas un obstacle à la rentabilité.

6.1 Présentation

Dans le cadre de ce travail nous retiendrons la définition de l'économie de la fonctionnalité de Stahel (2006) :

« L'économie de la fonctionnalité se définit comme le moyen d'optimiser l'utilisation ou la fonction de biens et services, tout en rationalisant l'utilisation des richesses existantes, qu'il s'agisse de produits, de connaissances ou de capital naturel. L'objectif en est de créer une valeur d'usage la plus élevée possible, pendant le plus longtemps possible. Le but est d'atteindre ainsi une meilleure compétitivité et une augmentation du revenu des entreprises ».

Derrière cette définition, nous pouvons déceler quelques caractéristiques des produits éco-conçus (allongement de la durée de vie des produits, utilisation optimale des ressources,...). Elle nous dirige vers un nouveau modèle économique, où une entreprise propose l'accès à des services plutôt que le transfert de propriété d'un bien matériel.

Dans cette logique, l'entreprise reste propriétaire des produits qu'elle met à disposition des clients. Cela lui permet de concevoir les produits et d'organiser leur maintenance à partir de nouveaux critères. Le client, lui, ne tire plus sa satisfaction dans la possession de l'objet mais dans son utilisation. L'économie de la fonctionnalité permettrait d'optimiser l'application mutuelle de l'éco-conception et d'une reverse supply chain. Selon Buclet (2005), avec ce type de modèle économique, nous nous éloignons des économies basées sur le volume et de pratiques telles que l'obsolescence programmée. En effet, le chiffre d'affaires ne sera plus déterminé sur le revenu unique de la vente d'un produit mais sur la capacité à prolonger sa durée d'utilisation et son nombre d'usage. Il s'agit d'une transition de la vente d'un produit à la proposition d'un service.

Le Moigne (2014) et Sempels et al (2013) distinguent deux types de modèles économiques pour une économie de la fonctionnalité :

- Les services orientés « usage », qui seront ceux développés par la suite. A la place d'un transfert de propriété, l'entreprise facture l'usage du produit. Soit elle propose le produit sous la forme d'une location, d'un leasing, d'un abonnement, ... Par exemple, si une entreprise décide de proposer des poussettes pour enfants, elle ne va pas en vendre l'usage au km mais déterminer un prix de location. Soit via une mesure significative de l'utilisation du produit. Par exemple, vendre des km, un nombre de copies, ... Dans cette catégorie orientée usage, Van Niel (2014) intègre également les modèles de consommation collaborative (velib's dans les grandes villes, laveries automatiques,... et même plus récemment l'auto-partage).
- Les services orientés « résultat ». Plutôt que d'offrir un produit, l'entreprise négocie avec le client un résultat. C'est la contractualisation d'une performance future entre producteur et consommateur. Par exemple Koppert, entreprise spécialisée dans les pesticides, ne vend plus de produits chimiques aux agriculteurs mais s'engage, en échange d'un montant forfaitaire, à protéger les cultures. Cette orientation remet en question la conception du produit initial, qui peut désormais prendre une forme totalement inédite, étant donné que seul le producteur décide de la combinaison de biens et services utilisés.

Nous pouvons imaginer que le choix du modèle économique dépendra entre autres du type de produit ainsi que de la clientèle cible.

6.2 Exemple d'un service orienté usage

Nous avons choisi l'entreprise Xerox. Ce choix s'explique car il démontre l'importance de la mise en place d'une reverse supply chain et de la réflexion sur les produits à partir d'une démarche d'éco-conception. Les informations suivantes proviennent du site officiel de Xerox, de Sempels et al (2013), & de Chevalier (2010).

Xerox est une entreprise spécialisée dans le secteur des technologies et des services liés aux documents. Elle est l'un des leaders dans son secteur d'activités et est présente dans 180 pays. Son chiffre d'affaires en 2014 était de 19,5 milliards d'euros. Pour cet exemple, nous nous intéresserons aux produits suivants : Les imprimantes et les photocopieurs.

A la fin des années 1980, Xerox avait des difficultés à vendre les produits ci-dessus. Dans ce secteur où la concurrence s'était accrue, la situation n'était plus vivable. En effet, 12.000 de leurs brevets venaient d'être rendus publics. Xerox ne parvenait plus à vendre à un prix correct, reflétant la qualité de ses produits et ses efforts en R&D. Il était indispensable de trouver une solution.

Ils se sont rendus compte que le client recherchait juste une copie de qualité. En partant du constat que les produits que Xerox récupérait après leur leasing pouvaient redevenir fonctionnels après quelques réparations, l'entreprise décida de ne plus vendre des photocopieurs mais des copies à l'unité.

Le projet a failli être abandonné en raison du coût des produits en fin de vie, coût soutenu par le client auparavant. Xerox se lança alors dans un projet de reverse supply chain. Elle commença par revoir ses produits via une démarche d'éco-conception : elle développa ses produits avec une variété de matériaux moins importante. Elle fit aussi attention au démontage, en appliquant de nouveaux systèmes de fixation et des modules pouvant être transférés d'un photocopieur à un autre, ... Le but était de maintenir en état et de réparer les produits le plus facilement possible. De cette manière, chaque photocopieur pouvait survivre à plusieurs cycles de vie. Le fait que Xerox reste propriétaire des produits est un élément clef du fonctionnement de ce système.

Aujourd'hui, ce mode de fonctionnement permet à Xerox de récupérer 70 à 90% des composants des machines en fin de vie, ce qui octroie des économies de matières premières et d'énergies ainsi qu'une réduction des déchets. Ce changement radical de fonctionnement se traduit par un revenu estimé à 2 milliards de dollars entre 1992 et 2002.

Aujourd'hui, Xerox continue sur la même voie pour ses autres produits, notamment pour ses cartouches d'imprimantes pour lesquelles elle organise la collecte via un système de partenariats, incluant un grand nombre de distributeurs.

6.3 Mise en œuvre

Nous nous attarderons sur une des problématiques majeures de ce type de modèle économique : l'acceptation par le client. Nous nous intéresserons d'abord aux relations Business to Business (B2B) puis aux relations Business to Consumer (B2C).

6.3.1 B2B

Lambin (2011), Sempels et al (2013), Wallonie Design (2014) reconnaissent tous que l'acceptation de l'économie de la fonctionnalité est plus aisée sur les marchés de consommation B2B.

En effet, comme nous l'avons vu dans les chapitres précédents, externaliser des activités est chose courante pour les entreprises. Le rapport à la possession est moins déterminant, moins émotionnel que pour les consommateurs B2C. L'entreprise ne cherche pas spécialement à se démarquer via les biens qu'elle possède. L'objectif principal est une utilisation efficace. L'économie de la fonctionnalité est intéressante pour différentes raisons.

- Avec un service orienté usage, le consommateur n'est pas propriétaire du produit. Il ne doit donc pas gérer la maintenance, ce qui lui garantit une gestion rapide de toute panne par le producteur. Il ne doit pas non plus s'occuper de la gestion du produit lorsqu'il arrive en fin de vie.
- Un paiement effectué à l'usage permet à l'entreprise de transformer un coût fixe en un coût variable. Les coûts peuvent alors être directement liés à l'activité réelle de l'entreprise.

Aujourd'hui, différentes entreprises ont donc déjà commencé (voir adopté) une transition vers un service orienté usage sur le marché B2B. Certaines sont fort médiatisées (Michelin et ses pneus au km, Xerox, Safechem,...) et jouent un rôle d'ambassadeur sur la rentabilité de ces nouveaux modèles économiques.

6.3.2 B2C

Sur le marché B2C, la relation à l'objet est moins focalisée sur l'aspect fonctionnel, purement pratique des biens. Nous allons maintenant développer brièvement quelques problématiques qui rendent réticents les consommateurs à se tourner vers ce mode de consommation, et dont les producteurs doivent tenir compte.

Un des premiers freins, déjà émis ci-dessus, est le matérialisme. Comme le souligne Belk (1988), le rapport à la possession est important pour les individus. Les biens que les individus possèdent seraient une extension d'eux-mêmes et joueraient un rôle dans l'expression de leur identité, de leur image. De ce fait, un individu accordera plus de valeur à un bien qu'il possède plutôt qu'à un bien ne lui appartenant pas.

Les entreprises ne peuvent pas sous-estimer cela. Sempels et al (2013) proposent comme solution de laisser une certaine marge de personnalisation des produits par les consommateurs avec par exemple l'ajout d'accessoires amovibles ne dégradant pas l'objet initial mais permettant une différenciation du bien vis-à-vis d'un autre.

Un second frein est l'aspect organisationnel autour des services orientés usage ou encore de consommation collaborative. Lamberton et al (2012) évoque le risque de pénurie qui se produit lorsque des individus désirent louer un bien non disponible au moment souhaité. Ou encore la complexité pour procéder à la location. On se doute que remplir des papiers pendant une heure, verser des cautions énormes ou devoir se déplacer (trop loin) juste pour louer un bien sont des facteurs risquant de décourager une grande partie des utilisateurs potentiels.

En résumé, on peut supposer qu'en optant pour l'économie de la fonctionnalité, les consommateurs accepteront de subir quelques contraintes si ils retirent d'autres avantages tels que le sentiment de l'économie réalisée qui est supérieure à ces sacrifices (Zeithalm, 1988). Le producteur devrait donc veiller à simplifier un maximum son système et le rendre facile d'accès pour les consommateurs.

6.4 Analyse de la compétitivité

6.4.1 Compétitivité Prix

Au niveau de la conception des produits

La mise en œuvre d'une économie centrée sur l'usage nécessite de revoir la conception et le cycle de vie des produits.

Comme évoqué précédemment, les produits doivent être revus de manière à pouvoir être utilisés successivement par différents consommateurs. Au plus un produit sera utilisé, au plus l'entreprise en tirera des bénéfices. L'entreprise étant propriétaire, elle a intérêt à ce qu'ils aient une durée de vie la plus longue possible.

Pour allonger la durée de vie d'un produit, il doit être maintenu et réparable facilement. Un produit doit posséder des caractéristiques similaires à celles d'un produit conçu pour fonctionner dans un système de reverse supply chain. De plus, le fait que l'entreprise reste propriétaire du produit facilite la gestion de ses biens en circulation. Elle peut plus facilement gérer leur entretien et les collecter au bon moment pour leurs conférer l'option de retraitement adéquate.

Ensuite, l'entreprise doit gérer la gestion du produit lorsqu'il arrive en fin de vie. Dès la conception, la valorisation finale doit aussi être envisagée afin d'éviter des dépenses imprévues (comme Xerox qui n'avait pas organisé cet aspect), ce qui renforce la pratique d'une analyse du cycle de vie.

Finalement, l'économie de la fonctionnalité peut être qualifiée du meilleur rapport usage/quantité de ressources consommées. Il est difficile de quantifier le coût de ces nouveaux produits durables par rapport aux produits classiques, mais on peut imaginer que la consommation de ressources pour un produit loué à une succession d'utilisateurs sera nettement inférieure à celles de la fabrication d'un même produit fabriqué autant de fois qu'il y a d'utilisateurs.

6.4.2 Compétitivité hors-prix

L'innovation

L'innovation est l'un des principaux arguments présentés en défaveur d'une économie de la fonctionnalité. L'économie de la fonctionnalité, et plus particulièrement la durabilité des produits serait un obstacle à l'innovation. Cet exemple est compréhensible. Imaginons qu'une entreprise développe un produit électroménager proposé via un système de location. Que se passerait-il si une nouvelle technologie était commercialisée et rendait le produit durable dépassé ? Tout le modèle basé sur la reverse supply chain ne serait plus efficace et il faudrait recommencer avec un autre produit... Cette crainte est légitime mais deux réflexions méritent d'être développées :

- Premièrement, quels produits peuvent se vanter de présenter de nouvelles fonctionnalités primordiales lors de chaque nouvelle version ? On peut constater dans de nombreux secteurs que les innovations quotidiennes demeurent plus dans de nouveaux design, de nouveaux gadgets,... Cependant, l'objet plus récent ne remplit pas nécessairement mieux sa tâche initiale que son prédécesseur. Tout dépend de la rapidité avec laquelle le secteur évolue. Il est vrai que dans le domaine de la téléphonie mobile, il serait risqué de créer un GSM attractif sur le long terme alors que les fonctionnalités sont chaque jour améliorées ... Par contre est-ce le cas pour un sèche-linge, une voiture,... ?
- Deuxièmement, produit durable ne signifie pas anti-innovation. On a vu via la reverse supply chain que penser des produits modulables facilitait la maintenance et le remplacement des pièces défectueuses ou obsolètes. Ce n'est pas parce que l'on s'engage dans la conception de produits durables que l'on ne doit pas poursuivre ses activités de R&D. On peut même aller plus loin en disant que garder ses produits attractifs vis-à-vis de ceux du modèle classique reste indispensable dans la conservation de ses parts de marché. L'idée est de pouvoir intégrer les innovations sur les produits initiaux en remplaçant uniquement quelques pièces détachées et en gardant néanmoins la base identique.

Les marchés cibles ?

Le marché B2C est le compliqué à exploiter. Comme Gailly (2010) l'explique, les individus fonctionnent avec des habitudes. Le changement n'est pas continu mais évolue par paliers. Ils ont besoins de leurs routines pour survivre et elles sont compliquées à modifier.

Consommer un service plutôt que d'acheter un bien est un véritable choc pour les consommateurs. Dans un premier temps, on peut s'attendre à ne toucher que les personnes visionnaires, intéressées par tout ce qui est nouveau, différent. Dans notre cas, elles peuvent être par exemple des personnes sensibles au respect de l'environnement et des individus pour lesquels ce mode de fonctionnement représente l'avenir.

Les entreprises doivent aussi cibler la population disposant de moins de moyens financiers, qui se dirigeraient initialement vers un marché de « seconde main ». En d'autres termes, des individus ayant besoin de l'objet mais qui ne peuvent pas se le procurer à cause du prix.

Finalement, tout dépendra de la qualité de l'usage du consommateur. Il est évident que le produit en question joue également un rôle. Dans un premier temps, des produits relativement chers et utilisés occasionnellement seraient une piste. Le magasin « Brico » de Wavre l'a compris en proposant toute une gamme d'outils de qualité en location sur le court terme. En effet, ces produits ont un prix non négligeable et ne sont pas utilisés quotidiennement par un individu normal. Dans ce cas, le principal ennemi est le produit low cost qui tente d'atteindre la même cible. L'argumentation du vendeur sera déterminante pour vanter l'usage d'un produit de qualité mis en location en opposition à la vente d'un produit moins cher et de qualité moindre.

Pour Brico, les avantages de ce système sont nombreux. Il peut toucher tous les consommateurs en leur faisant une proposition quel que soit leurs moyens financiers. Et à partir d'un certain nombre de locations, le produit sera amorti et ne représentera plus que des bénéfices nets lors des prochaines locations (hormis quelques dépenses de maintenance).

6.4.3 Conclusion

L'économie de la fonctionnalité véhicule des facteurs de compétitivité. Il s'agit d'un modèle économique à part entière, un modèle optimisant les avantages d'une reverse supply chain.

L'économie de la fonctionnalité offre la meilleure utilisation possible des ressources naturelles. Ces dernières sont utilisées dans des produits durables maintenus en état grâce à une reverse supply chain.

Encore plus que pour une reverse supply chain classique, les habitudes des consommateurs constituent un véritable défi. On a vu que le marché B2B était naturellement plus enclin à cette transition. En revanche, la situation est plus délicate pour le marché B2C. Dans un premier temps, elle permettra de toucher les consommateurs qui attendent ce nouveau modèle de consommation et ceux disposant de moins de moyens financiers. Pour les autres, le résultat dépendra d'une véritable argumentation vantant la qualité de l'usage au détriment de la possession, et la qualité de l'offre (prix, contraintes organisationnelles,...)

Finalement, une telle structure nécessite les mêmes efforts que pour construire le réseau d'une reverse supply chain. Il s'agit d'un investissement conséquent pour des résultats inconnus. En effet, peu d'entreprises se sont encore lancées sur le marché B2C avec ce modèle économique. Les entreprises pionnières de ce type de démarche se lancent donc dans un système qui n'a pas encore fait ses preuves mais qui pourrait devenir le futur mode de consommation de notre société.

Conclusion Générale

L'objectif de ce mémoire était d'analyser les facteurs de compétitivité pour les entreprises de l'économie circulaire à travers les démarches d'éco-conception, d'écologie industrielle, de reverse supply chain et le modèle d'économie de la fonctionnalité.

Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés aux bénéfices de passer à une économie circulaire. Nous avons identifié deux des fondements de notre économie opposés au concept de l'économie circulaire : une vision linéaire de notre économie dans laquelle un produit arrivant en fin de vie devient une contrainte, et une économie où la production, le nombre de produits vendus déterminent le résultat. Nos modes de consommation et de production sont en partie responsables d'enjeux planétaires auxquels les entreprises devront s'adapter, dont la raréfaction de certaines ressources. Nous avons étudié en détail le cas des métaux, afin de cerner les problématiques les concernant et voir comment les démarches et le modèle étudiés pouvaient les améliorer.

Dans un second temps, nous avons analysé les facteurs de compétitivité associés à ces trois démarches et à ce modèle. On a constaté que la mise en place de ces démarches et de ce modèle nécessitait des moyens financiers et humains non négligeables. Cependant, lorsque les projets avaient abouti, des perspectives de compétitivité voyaient le jour. On peut citer une meilleure gestion des ressources naturelles sur le moyen et le long terme mais aussi des innovations inédites, une meilleure image, des revenus supplémentaires, un service après-vente efficace, l'opportunité de toucher de nouveaux clients. Donc, oui, ces démarches véhiculent des facteurs de compétitivité pour les entreprises.

Ce travail a également mis en évidence trois défis associés à l'économie circulaire et auxquels une entreprise doit porter attention.

Pour commencer, le recyclage n'est pas la solution à tous les problèmes. Penser que l'on peut accumuler nos déchets dans des décharges et qu'on les récupérera dans le futur est faux. Bien que des matériaux présents en masse comme le fer, l'aluminium, ... pourront être recyclés, les métaux mineurs³ sont eux condamnés. Il est impossible de tous les recycler lorsqu'ils sont utilisés en petites quantités et en trop grand nombre au sein d'un même appareil. La situation

³ Métaux utilisés en très petites quantités pour des applications spécifiques, notamment pour des technologies récentes.

est d'autant plus préoccupante que ce sont ces métaux mineurs qui permettent à nos nouvelles technologies de fonctionner. Ils sont par exemple à la base des énergies renouvelables comme le solaire ou l'éolien. Aujourd'hui, seuls la maintenance et le réemploi constituent une solution pour les préserver. Il s'agit non pas de les recycler individuellement mais bien de les conserver sous forme de modules ou de pièces détachées, que les fabricants pourront utiliser successivement sur des produits similaires. La démarche de reverse supply chain permet d'organiser un réseau de maintenance, de réemploi qui permettra à l'entreprise de se constituer ce stock interne de modules et de pièces détachées. Cela réduira la dépendance de l'entreprise envers des ressources naturelles neuves et diminuera par conséquent les coûts de l'entreprise.

Ensuite, nous avons remarqué que l'opinion publique évolue. On observe que les habitudes de consommation d'une partie de la population changent. Il suffit de regarder l'expansion des marchés bio, des labels équitables ou le lancement de la « consommation collaborative » avec les velib's,... Il en est de même pour les investisseurs, les banques. Du point de vue de ces derniers, une entreprise n'acceptant pas de s'adapter aux problématiques environnementales représente un risque de ne pas revoir leurs investissements. En effet, cette entreprise risque de devoir acheter des ressources naturelles à coûts excessifs, de subir des ruptures d'approvisionnement ou encore ne plus être en conformité avec les normes environnementales. Tous ces éléments font qu'elle ne serait plus compétitives par rapport à d'autres ayant intégré le développement durable dans leur stratégie auparavant.

Enfin, dans les analyses des facteurs de compétitivité, la question de l'innovation est souvent revenue. Il est vrai que mettre en place ces démarches ou ce modèle aura une influence sur la stratégie de l'entreprise, mais il ne faut pas négliger les activités de R&D traditionnelles pour autant. Par exemple, l'écologie industrielle permet de vendre les déchets d'une entreprise à une autre qui les utilisera comme ressources. Les deux entreprises réaliseront une économie mais le produit final restera le même. Ou encore, il est vrai qu'une entreprise disposant d'une reverse supply chain offrira des produits plus durables aux consommateurs, un meilleur service après-vente,... Cependant il faut que les produits restent attractifs, innovants,... Négliger la R&D traditionnelle pour se focaliser uniquement sur des démarches d'économie circulaire n'est pas la solution. L'idéal est de concilier les deux afin d'enclencher la transition vers des modes de production et de consommation durables tout en répondant à la demande des consommateurs.

Pour ce travail, nous nous sommes focalisés sur un acteur en particulier : l'entreprise. Mais un autre sera déterminant dans le développement de l'économie circulaire : les pouvoirs publics. En Wallonie, un accord a d'ailleurs été signé entre le ministre Marcourt et la fondation Ellen Macarthur. L'objectif est d'assurer une compétitivité durable des industries. Pour le moment, il se focalise sur l'écologie industrielle. Une base de données a d'ailleurs été créée reprenant des informations nécessaires à la mise en place de synergies.

Pour les pouvoirs publics, les avantages d'une économie circulaire sont nombreux. Elle a tendance à relocaliser les centres de production, de maintenance et de recyclage, synonymes de créations d'emplois. Elle guide ses industries sur la voie du développement durable, ce qui est plus sûr pour l'avenir. Et surtout, elle est en accord avec les progrès à faire en matière d'écologie. On peut donc s'attendre à de nouvelles réformes, de nouveaux plans d'actions en faveur de l'économie circulaire dans nos régions. Pour une prochaine étude, la question de recherche pourrait être d'identifier comment l'économie pourrait être utilisée comme outil de relance économique au niveau territorial.

Bibliographie

Adoue, C. (2008). *Mettre en œuvre l'écologie industrielle*. France. PPUR.

Adoue, C. (2015). *Recherche de synergies sur territoires*. <http://www.e-sige.ensmp.fr/uved/ecologieIndustrielle/module6/synergies/site/html/chapitre1.html> (consulté le 25/07/2015). Cours réalisé par Cyril Adoue pour l'UVED, l'université virtuelle environnement et développement durable.

Barreau, B., Hossie, G., & Lutfalla, S., (2013). *Note d'analyse 03 - Approvisionnements en métaux critiques : un enjeu pour la compétitivité des industries française et européenne*. <http://archives.strategie.gouv.fr/cas/system/files/2013-07-10-metaux-na03.pdf> (consulté le 26/07/2015).

Beaurain, C., & Varlet, D. (2014). Quelques pistes de réflexion pour une approche pragmatiste de l'écologie industrielle : l'exemple de l'agglomération dunkerquoise. *Développement durable et territoires*, 5(1).

Belk, R W (1988), Possessions and the Extended Self. *Journal of Consumer Research*, 15, 139-168

Bihouix, P., & de Guillebon, B. (2010). *Quel futur pour les métaux ?* Paris. EDP Sciences.

Blazy, P., & Jehanne, Y. (2002). *Recyclage des métaux précieux*.

<https://books.google.be/books?id=cIarIlWOwo0C&pg=PA2&lpg=PA2&dq=miniaturisation+et+recyclage&source=bl&ots=yy6kpZ-Tvp&sig=TQjUp1gcONFGFvoockOabHY0EAU&hl=fr&sa=X&ved=0CDgQ6AEwBGoVChMI4rLv8j7xgIVzLoUCh3joAXn#v=onepage&q=miniaturisation%20&f=false> (consulté le 25/07/2015) . Article d'ingénieurs sur les techniques de recyclage des métaux.

Bondaz, A. (2012). *Les terres rares en Chine : une politique de plus en plus contestée*. [http://www.ihedn.fr/userfiles/file/apropos/BONDAZ%20Les%20terres%20rares%20en%20Chine%20une%20politique%20de%20plus%20en%20plus%20contestee%20\(TCDP\).pdf](http://www.ihedn.fr/userfiles/file/apropos/BONDAZ%20Les%20terres%20rares%20en%20Chine%20une%20politique%20de%20plus%20en%20plus%20contestee%20(TCDP).pdf) (consulté le 26/07/2015) Note publiée par un doctorant parisien.

Buba, J. (2011). *Note d'analyse 206 - Volatilité des prix des matières premières - Volet 1. Pour une régulation des marchés financiers.*

http://archives.strategie.gouv.fr/cas/system/files/na206-volalitleprixmatprem1-2011-01-06_0.pdf (consulté le 26/07/2015). Note réalisée par le Centre d'analyse stratégique qui est une institution d'expertise et d'aide à la décision placée auprès du Premier ministre français.

Buclet, N. (2005), *Concevoir une nouvelle relation à la consommation : L'économie de fonctionnalité*, <http://www.anales.org/re/2005/re39/buclet.pdf> (consulté le 25/07/2015)

Business Council for Sustainable Development (2015). *Eco-efficiency learning module*. <http://www.wbcds.org/Pages/EDocument/EDocumentDetails.aspx?ID=13593&NoSearchContextKey=true> (consulté le 25/07/2015). Définition de l'éco-efficience.

Chertow M. (2007). « Uncovering » Industrial Symbiosis. *Journal of industrial Ecology*, 11(1), 11-30.

Chevalier, M. (2010). *Le cas Xerox, du produit au service*. http://www.alternatives-economiques.fr/le-cas-xerox--du-produit-au-service_fr_art_946_50213.html (consulté le 31/07/2015). Article illustrant un service orienté usage.

Christmann, P. (2012). Métaux et ressources minérales stratégiques : enjeux, réponses françaises et européenne. *Géologues*, 170, 25-28.

Cognasse, (2007). *Les entreprises manient l'éco-conception sous la contrainte*. (consulté le 25/07/2015) <http://www.usinenouvelle.com/article/les-entreprises-manient-l-ecoconception-sous-contrainte.N297612>. Article du magazine en ligne «L'Usine Nouvelle ».

Cordier, D. J., J. Hedrick, J.B. (2008). Rare Earths, *U.S. Geological Survey Yearbook*, 1-60

De Guillebon, B., & Nollet, P. (2013). *En route vers l'éco-économie*. Paris. Armand Colin.

De Langeron, C. (2011). Comment assurer l'approvisionnement de l'industrie européenne en minerais, minéraux industriels et métaux non ferreux ? *Géoéconomie*, 59, 53-64.

Dellagi, K, Boumadhi, S., Remoué, A. (2007). *Misez sur l'éco-conception*.

<http://www.usinenouvelle.com/article/misez-sur-l-eco-conception.N58653> (consulté le 25/07/2015). Article du magazine en ligne « L'Usine Nouvelle ».

- Delobbe, N. (2009). *Bien-être au travail et performance de l'organisation*. (consulté le 25/07/2015). file:///C:/Users/Yann/Downloads/rapport_delobbe_final%202009.pdf Article de la LSM
- Diemer, A., & Labrune, S. (2007). *L'écologie industrielle : quand l'écosystème industriel devient un vecteur du développement durable*. <https://developpementdurable.revues.org/4121> (consulté le 27/07/2015). Article de la revue en ligne « Développement durable ».
- Dobbs, R., Oppenheim, J, Thompson, F., Brinkman, M., & Zornes, M. (2011). *Resource revolution : Meeting The World's Energy, Materials, Food, And Water Needs*”, McKinsey Global Institute.
http://www.mckinsey.com/insights/energy_resources_materials/resource_revolution (consulté le 26/07/2015) Publication de McKinsey.
- Domagała, T., & Wolniak, R. (2013). Reverse supply chain. *Management Systems in Production Engineering*, 4 (12), 3-7.
- Drezet, E. (2014). Les matériaux impliqués dans les TIC. <http://ecoinfo.cnrs.fr/article323.html> (consulté le 31/07/2015). Article d'un ingénieur d'études.
- Ellen Macarthur foundation. (2012). *Towards the circular economy 1 – Economic and business rationale for an accelerated transition*.
- Ellen Macarthur foundation. (2013). *Towards the circular economy 2 – Opportunities for the consumer goods sector*.
- Ellen Macarthur foundation. (2014). *Towards the circular economy 3 – Accelerating the scale-up across global supply chains*.
- Ellen Macarthur foundation. (2015). *La symbiose industrielle de Kalundborg*.
http://www.ellenmacarthurfoundation.org/fr/case_studies/la-symbiose-industrielle-de-kalundborg (consulté le 4/07/2015)
- Erkman S., (1998), *Vers une écologie industrielle : comment mettre en pratique le développement durable dans une société hyper-industrielle ?*, Paris, Édition Charles Léopold Mayer.
- Esty D.C, & Porter, M.E. (1998). *Industrial Ecology and Competitiveness*. *Journal of Industrial Ecology*, vol. 2, n° 1, p. 35-43.

Fizaine, F. (2014). *Analyses de la disponibilité économique des métaux rares dans le cadre de la transition énergétique*. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01127141/document> (consulté le 26/07/2015). Thèse pour l'obtention d'un grade de Docteur de l'université de Bourgogne.

Frosh, R., & Gallopoulos, N. (1989). Le modèle simpliste actuel d'activité industrielle doit être remplacé par un modèle plus intégré: un écosystème industriel.

Pour la Science, novembre 1989.

Gailly, B. (2010). *Developing innovative organizations : A roadmap to boost your innovation potential*. Palgrave Macmillan.

Gelin, R. (2013). *Ecologie industrielle, vers l'entreprise durable*.

<http://www.gresea.be/spip.php?article1171> (consulté le 25/07/2015)/ Publication de Gresea asbl, un groupe de recherche pour une stratégie économique alternative.

Guide, V. D. R., Harrison, T. P., & Van Wassenhove, L. N. (2003). The challenge of closed-loop supply chains. *Interfaces*, 33(6), 3-6.

Hocquart, C. (2012). Les défis des métaux « critiques ». *Géologues*, 170, 7-14.

James, O. (2012). *Terres rares : Rhodia renforce sa stratégie d'approvisionnement*.

<http://www.usinenouvelle.com/article/terres-rares-rhodia-renforce-sa-strategie-d-approvisionnement.N173467> (consulté le 25/07/2015). Article de « L'usine Nouvelle ».

Krajka, D. (2013). *Molycorp va enfin produire des terres rares à Mountain Pass*.

<http://indices.usinenouvelle.com/metaux-non-ferreux/metaux-mineurs/molycorp-va-enfin-produire-des-terres-rares-a-mountain-pass.4848> (consulté le 25/07/2015). Article de « L'Usine Nouvelle ».

Kumar, S., & Malegeant, P. (2006). Strategic alliance in a closed-loop supply chain, a case of manufacturer and eco-non-profit organization. *Technovation*, 26(10), 1127-1135.

Lamberton, C., & Rose, R. (2012). When is ours better than mine ? A framework for understanding and altering participation in commercial sharing systems. *Journal of marketing*, 76(4), 109-125.

Lambin, J. (2011), *Quel avenir pour le capitalisme ?* Paris. Dunod. 144-145

Larousse (2015), *Larousse : Encyclopédie*,

<http://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/m%C3%A9tal/69663> (consulté le 25/07/2015).

Site officiel du dictionnaire.

Le Billon, P., Hocquard, C. (2007). Filières industrielles et conflits armés : le cas du tantale dans la région des Grands Lacs. *Ecologie & politique*, 34, 83-92.

Le Moigne, R. (2014). *L'économie circulaire-Prix ACA BRUEL HEC*. Paris. Dunod.

London Metal Exchange (2015), *Metals*. <http://www.lme.com/metals/> (consulté de 25/07/2015). Site officiel de la LME.

Orée (2013). *Guide de l'éco-conception des produits & services : Qu'est ce que l'éco-conception ?* <http://ecoconception.oree.org/eco-conception-en-question/qu-est-ce-que-l-eco-conception/niveau-2-re-conception.html> (consulté le 25/07/2015). Site spécialisé sur l'éco-conception.

Papon, P. (2011). *Les métaux « rares », un frein au développement des énergies renouvelables*. http://energie.lexpansion.com/energies-renouvelables/les-metaux-rares-un-frein-au-developpement-des-energies-renouvelables_a-33-5837.html (consulté le 28/07/2015). L'auteur est physicien, professeur d'université.

Payre, E. (2008). *Quelques pistes de réflexion pour une approche pragmatiste de l'écologie industrielle : l'exemple de l'agglomération dunkerquoise*. http://appli6.hec.fr/amo/Public/Files/Docs/75_fr.pdf (consulté le 25/07/2015). Mémoire de recherche de l'HEC Paris.

Pôle éco-conception (n.d.), *Création de l'équipe projet éco-conception*. <http://www.eco-conception.fr/static/creation-de-lequipe-projet-eco-conception.html> (consulté le 25/07/2015). Site spécialisé dans l'éco-conception

Pôle éco-conception, & Institut de développement de produit (2014). *La profitabilité de l'éco-conception : Une analyse économique*. http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/rapport_profitabilite-ec-2014_web.pdf (consulté le 25/07/2015). Version originale de l'étude utilisée dans l'analyse de la compétitivité de la démarche d'éco-conception.

Population mondiale (2015). *World population clock*.

<http://www.populationmondiale.com/#sthash.gQqUxk7x.dpbs> (consulté le 25/07/2015).

Rabinovitch, M. (2012). Métaux mineurs : Une vision géologique des tensions. *Géologues*, 170, 14-22.

Ricoh (n.d.), *Ricoh Belgique : Imagine, Change*. <http://www.ricoh.be/fr/> (consulté le 25/07/2015). Site officiel de la marque pour la Belgique.

Sempels, C., & Hoffmann, J. (2012). *Les business models du futur: créer de la valeur dans un monde aux ressources limitées*. France. Pearson Education.

Sia Partners (2014), *Pourquoi les métaux critiques échappent-ils au recyclage ?* <http://www.energie.sia-partners.com/20140213/pourquoi-les-metaux-critiques-echappent-ils-au-recyclage> (consulté le 26/07/2015). Document d'une entreprise de consultance.

Stahel, W.R. (2006), *The Performance Economy*, Londres, Palgrave Macmillan.

Sullair (n.d.), *Sustainability*. <http://www.sullair.com/global/en/sustainability> (consulté le 25/07/2015). Site officiel de la marque.

Van Niel, J. (2014), L'économie de fonctionnalité : principes, éléments de terminologie et proposition de typologie. *Développement durable et territoires*, 1(5).

Zaoual, A-R. (2014). Pour une contribution du management stratégique à l'écologie industrielle. *Développement durable et territoires*, 5(1).

Zeithalm, V.-A. (1988). Consumer perceptions of price, quality, and value : A means-end model and synthesis of evidence. *Journal of marketing*, 52(3), 2-22.

Annexes

Annexe 1 : La rentabilité de l'éco-conception : Une analyse économique

Annexe 2 : La symbiose de Kalundborg

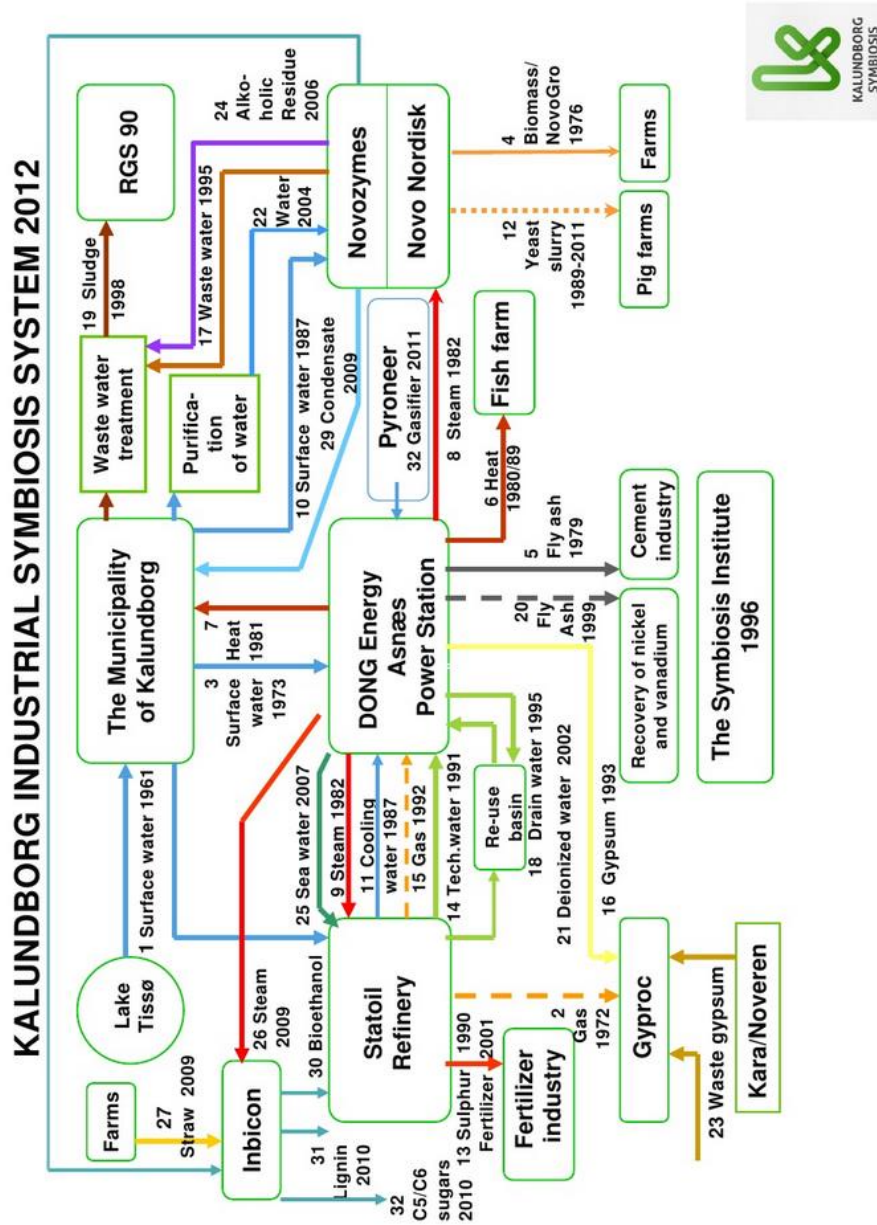
Kalundborg est une ville industrielle danoise située à une centaine de kilomètres de Copenhague. A partir de 1960, des relations se sont créées entre cinq entreprises de la ville. Elles ont commencé à se rapprocher pour un problème spécifique à leur zone géographique : l’approvisionnement en eau, pour par la suite s’intéresser à l’échange de co-produits, déchets, d’énergie (chaleur,...),... (Gelin, 2013, & Le Moigne, 2014). La particularité de la symbiose de Kalundborg est que le réseau s’est développé progressivement et n’a jamais été la priorité principale d’une organisation. En d’autres mots, aucune entreprise n’a un jour imaginé le réseau tel qu’il est aujourd’hui, il s’est développé de manière « naturelle », progressivement sur une trentaine d’années si bien que la symbiose de Kalundborg n’a été remarquée qu’à partir de 1989, soit après 20 ans. Aujourd’hui, une trentaine de contrats d’échanges de ressources sont établis entre les cinq principales entreprises initiales de la symbiose, mais également avec d’autres acteurs de la municipalité tels que des pêcheurs, des agriculteurs des cimenterie (Adoue, 2007). Les relations entre les acteurs sont en perpétuel changement et évoluent de jour en jour. Vous pouvez observer ci-dessous la structure de la symbiose de Kalundborg.

Notons que deux éléments ont facilité le rapprochement entre les cinq entreprises principales :

- Leur proximité géographique
- Le soutien continu de la ville (Sempels et al, 2013)

La symbiose de Kalundborg permet une économie de ressources considérable. Elle permet d’économiser chaque année 20.000 tonnes de pétrole (ce qui correspond à une diminution de 380 tonnes d’émission de CO₂), 3 million de tonnes d’eau. La réintroduction de déchets sous forme de ressources dans des procédés industriels à la place de les éliminer sous forme de déchets ont permis entre autres de valoriser 80 000 tonnes de cendres, 200 000 tonnes de gypse, 4000 tonnes de ferraille et 1800 tonnes de verre (Adoue, 2015). Finalement toutes ces économies permettent donc aux entreprises de diminuer leur consommation globale de ressources sans diminuer leur production ou leur chiffre d’affaires. Au contraire toutes ces économies représentent un bénéfice annuel de 15 millions de dollars pour l’ensemble des synergies. L’estimation des dépenses cumulées nécessaires à la mise en place des synergies depuis 1960 est estimée à 75 millions de dollars, ce qui correspond à un retour sur investissement de 5 ans. Bref, ces synergies qui initialement étaient envisagées uniquement pour des raisons économiques ont également un impact positif sur l’environnement.

Kalundborg est donc aujourd'hui une des références mondiales en ce qui concerne l'écologie industrielle.



La symbiose de Kalundborg (Ellen MacArthur, 2012)