

ECOPATENTS

UNE ANALYSE QUANTITATIVE DES STRATÉGIES
D'ÉCOINNOVATION POUR RÉDUIRE LES DEEE

Septembre 2012



Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par
Télécom École de Management (Institut Mines-Télécom)

Coordination scientifique : Cédric Gossart

Coordination technique : Nicolas BLANC

RAPPORT FINAL



REMERCIEMENTS

Nous remercions l'ADEME pour son soutien financier et Nicolas BLANC pour son aide précieuse tout au long du projet, ainsi que Nicaise Régnier et Sylvie Préhu pour leur assistance sans faille. Ce projet n'aurait pas pu être mené à bien sans l'excellent travail de notre ingénieure de recherche Hande Gözükan que nous remercions chaleureusement.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par la caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

1. Objectifs du projet

L'électronique moderne peut contenir jusqu'à 60 différents éléments, dont nombre ont de la valeur et/ou sont dangereux pour la santé et l'environnement. Les mélanges les plus complexes se retrouvent dans les circuits imprimés, mais d'autres EEE (Équipements Électriques et Électroniques) comme les circuits de refroidissement des réfrigérateurs contiennent aussi des substances devant faire l'objet d'un recyclage spécifique. D'après StEP (2009), les sources d'améliorations des solutions doivent aujourd'hui venir de la collecte, du transport, du démantèlement et du prétraitement de ces flux de déchets dangereux que sont les DEEE (Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques). Dans le passé, les efforts ont souvent porté sur le développement de nouvelles technologies permettant par exemple de récupérer les métaux dans les circuits imprimés. Qu'en est-il aujourd'hui et quelles ont été, sont et seront les acteurs innovants dans ces technologies ?

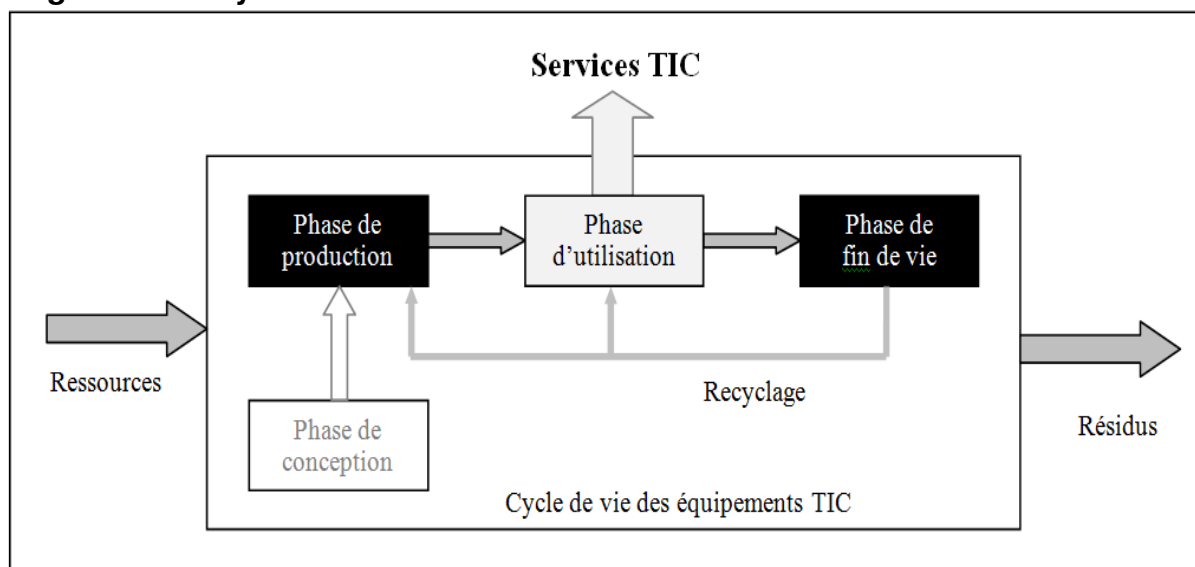
L'objet de ce projet est d'étudier les technologies et les innovations qui visent à réduire les DEEE, et notamment ceux issus des TIC (Technologies de l'Information de la Communication). Les DEEE sont des déchets dangereux, et leur taux de croissance est le plus élevé de toutes les catégories de déchets. Ils constituent donc un défi majeur pour nos économies connectées, tant il semble difficile de développer des sociétés de la connaissance sans générer quantité de DEEE.

Afin de limiter la croissance du flux et des stocks de DEEE, des solutions existent tout au long du cycle de vie des EEE, que la nouvelle directive européenne 2012/19/EU relative aux DEEE définit comme des « équipements fonctionnant grâce à des courants électriques ou à des champs électromagnétiques et les équipements de production, de transfert et de mesure de ces courants et champs, conçus pour être utilisés à une tension ne dépassant pas 1 000 volts en courant alternatif et 1 500 volts en courant continu »¹.

¹ Source : <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:197:0038:0071:FR:PDF>. Page consultée le 29 août 2012. Son Annexe 1 détaille les équipements concernés, qui sont répartis en 10 catégories, la 3^e correspondant aux TIC : 1. Gros appareils ménagers ; 2. Petits appareils ménagers ; 3. Équipements informatiques et de télécommunications ; 4. Matériel grand public et panneaux photovoltaïques ; 5. Matériel d'éclairage ; 6. Outils électriques et électroniques (à l'exception des gros outils industriels fixes) ; 7. Jouets, équipements de loisir et de sport ; 8. Dispositifs médicaux (à l'exception de tous les produits implantés ou infectés) ; 9. Instruments de surveillance et de contrôle ; 10. Distributeurs automatiques.

La Figure 1 décrit les différentes phases des produits et services issus du secteur des TIC :

Figure 1. Le cycle de vie d'une TIC²



Une politique publique visant à réduire la production de DEEE pourra par exemple insister sur la réduction à la source de ces déchets afin d'éviter leur production, par exemple en soutenant l'allongement de la durée de vie des EEE ou en soulignant auprès des acheteurs leurs impacts écologiques dans le but de limiter la surconsommation de ces équipements (contrairement aux apparences, ceux-ci sont très gourmands en ressources naturelles³). L'écoconception a donc un rôle à jouer dans le cadre d'une telle politique car une grande partie des impacts est déterminée dès la phase de conception d'un EEE, phase qui peut aussi influencer la réduction des stocks de DEEE, même si celle-ci va également bénéficier d'innovations technologiques agissant sur les DEEE une fois qu'ils sont apparus⁴ (collecte, tri, séparation, démantèlement, etc.).

La directive DEEE, soutenue en cela par la Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontaliers de déchets dangereux et de leur élimination, soutient la collecte et le traitement local (i.e. sur le territoire où l'EEE est mis sur la marché) des DEEE. Cette démarche est à la fois bénéfique d'un point de vue écologique et éthique, les déchets n'étant pas envoyés à l'étranger –souvent dans les pays en développement–

² Source : Hilty L. (2008). *Information Technology and Sustainability: Essays on the Relationships between Information Technology and Sustainable Development*. Norderstedt: Books on Demand.

³ Voir au sujet de la catégorie 3 : ÉcoInfo (2012), *L'impact écologique des TIC*, EDP Sciences, à paraître.

⁴ Selon la directive européenne 2012/19/EU un EEE devient un DEEE quand son utilisateur final décide de le mettre au rebut, qu'il fonctionne ou non.

pour traitement, et d'un point de vue économique et social, des emplois pouvant être créés dans la filière de collecte et traitement des DEEE, y compris dans le secteur de l'économie sociale et solidaire.

Il est donc intéressant de repérer quelles sont les innovations technologiques qui ont permis, permettent, et permettront la réduction des flux et la résorption des stocks de DEEE ; qui les produit ; et quelle est la position de la France dans ces activités appelées à se développer. Pour ce faire nous avons utilisé des bases de données de brevets déposés pour protéger des inventions.

En outre, d'après l'Observatoire des Sciences et Techniques⁵, la part mondiale de dépôts de brevets par la France à l'EPO (*European Patent Office*) est en baisse sur les 20 dernières années. Si elle a récemment accru sa spécialisation dans le domaine « Machines-mécanique-transports », pour le sous-domaine technologique « Environnement-pollution » la France avait en 2008 déposé 12% de brevets en moins qu'en 2003, 11% de moins pour les télécommunications, et 14% de moins pour l'informatique. En revanche, elle en a déposé 28% de plus dans le sous-domaine des semiconducteurs ; on peut se demander quelles réalités cachent ces disparités, et dans quelle mesure elle influence notre capacité à résoudre le problème des DEEE. La France pourrait être mieux positionnée en termes de dépôts de brevets, y compris ceux déposés par des universitaires⁶, notamment si l'on considère qu'en 2008 elle détenait encore 4,2 % des publications scientifiques mondiales en sciences de la matière et de la vie (6^e rang mondial).

Il est donc intéressant en cette période de crises économique et écologique d'étudier dans quelle mesure les activités visant à la réduction des déchets, notamment des DEEE, pourraient permettre à la France d'accroître son potentiel d'innovation. Ce projet vise modestement à y contribuer.

Les brevets constituent un indicateur clé de suivi des résultats des activités de recherche. Comme tout indicateur il comporte certaines limites, bien connues⁷, et toute technologie

⁵ Source : OST (2010), *Indicateurs de sciences et de technologies*, Chapitre 4, <http://www.obs-ost.fr/fr/le-savoir-faire/etudes-en-ligne/travaux-2010/rapport-biennal-edition-2010.html>, page consultée le 20 août 2012.

⁶ Voir Veugelers R. et al. (2011), « The participation of universities in technology development: do creation and use coincide? An empirical investigation on the level of national innovation systems », *MSI report* n°1117, https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/327124/1/MSI_1117.pdf, page consultée le 29 août 2012.

⁷ Voir à ce sujet Tsuji, Y. S. (2012), « Profiling technology development process using patent data analysis: a case study », *Technology Analysis & Strategic Management* 24(3): 299-310.

ne trouve pas nécessairement son origine dans un brevet. Ils ne contiennent que les connaissances caractérisant une invention, l'étape suivante étant le développement d'une innovation technologique. Les brevets protègent par exemple les technologies jugées prometteuses et ayant fait l'objet de dépenses importantes de recherche et développement (R&D).

Le projet s'est déroulé en trois grandes étapes qui chacune ont donné lieu à une publication scientifique. Pour commencer, puisque les inventions qui nous intéressent sont celles qui peuvent servir à résoudre un problème écologique, notre projet s'intéresse aux écotecnologies, notamment dans le domaine des TIC (les éco-TIC ou *green IT*)⁸. En effet, nous avons commencé par approfondir les revues de la littérature existant sur les écoinnovations⁹, et ce travail nous a poussé à analyser le rôle que pourraient jouer les TIC comme solution aux problèmes écologiques, notamment ceux causés par les DEEE. En effet, comme le suggère Lorenz Hilty dans le Tableau 1¹⁰, les TIC font à la fois partie du problème mais aussi de la solution à ces problèmes :

Tableau 1. Cadre conceptuel d'analyse des liens entre TIC et environnement

Type d'effet	Niveau d'influence	TIC en tant que solution	TIC en tant que problème	
De 1^{er} ordre (directs)	TIC elles-mêmes	Fabriquer plus avec moins	Cycle de vie des TIC	Production
				Utilisation
				Fin de vie
De 2^{ème} ordre (indirects)	↓ Applications des TIC à d'autres secteurs	Effets d'optimisation	Effets d'induction	
		Effets de substitution		
De 3^{ème} ordre (systémiques)	↓ Changement social	Profond changement structurel vers une économie dématérialisée	Effets rebond	
			Nouvelles infrastructures critiques d'information	

Nous avons donc dans un deuxième temps mené une analyse des brevets dans le secteur des éco-TIC, ce qui nous a permis de mettre en évidence les secteurs clés de ce domaine en pleine croissance. Nous avons également pu tester notre méthodologie avant

⁸ Sur la définition des éco-TIC, voir Deltour, F., et al. (2010), « Technologies numériques 'vertes' : Représentations et stratégies d'acteurs », *Terminal* 106-107: 41-56.

⁹ Voir e.g. Kemp, R. & V. Oltra (2011), « Research Insights and Challenges on Eco-Innovation Dynamics », *Industry and Innovation* 18(3): 249-253. Voir également le projet « Measuring ecoinnovation », <http://www.merit.unu.edu/MEI/>.

¹⁰ Source : Hilty L. (2008). *Information Technology and Sustainability: Essays on the Relationships between Information Technology and Sustainable Development*. Norderstedt: Books on Demand.

de l'appliquer dans un troisième temps aux brevets pouvant servir à résoudre le problème des DEEE.

La section suivante explique quelles méthodologies nous avons utilisé pour chacune des trois étapes du projet (revues de la littérature, éco-TIC, technologies DEEE).

2. Méthodes

2.1. Revues de la littérature

La première porte sur les technologies clés en matière de traitement des DEEE, la seconde sur l'ensemble plus large des écoinnovations.

2.1.1. Les technologies clés en matière de traitement des DEEE

Nous avons pour ce faire commencé par contacter nos collègues du consortium international StEP, où Cédric Gossart coordonne la *Task Force Policy*, qui nous ont fourni un rapport (voir 3.1.1) dont nous avons complété le contenu par nos propres recherches. Le résultat de cette revue de la littérature est présenté dans la section 3.1.1.

2.1.2. Revue de la littérature sur les écoinnovations

Cette revue de la littérature a fait l'objet d'une méthodologie plus complexe. Nous sommes partis du constat que pour faire un état de l'art pertinent et cohérent sur les écoinnovations, il était préférable de se focaliser sur la branche des sciences sociales qui plaçait l'innovation au cœur de son analyse, à savoir l'économie évolutionniste. Pour ce faire, nous avons examiné comment les économistes évolutionnistes avaient intégré les enjeux environnementaux dans leurs travaux de recherche tels que publiés dans les principales revues de ce champ disciplinaire où se focalise l'essentiel du débat scientifique. Verspagen & Werker (2004) ont produit une liste plutôt large de ces revues et nous en avons sélectionné 16 d'entre elles. La même recherche de mots clés¹¹ a été conduite dans les bases de données en ligne contenant les articles de ces revues, dans

¹¹ La liste des mots clé est basée sur notre propre connaissance du sujet : "eco-innovation", "eco-technology", "green innovation", "green technology", "environmental innovation", "environmental technology", "sustainable innovation", "sustainable development", "ecological innovation" and "green product(s)", "technology AND pollution", "technology AND sustainable", "innovation AND pollution", "innovation AND sustainable".

les titres et les résumés entre 1985 et 2011¹². Le Tableau 2 résume les articles pertinents que nous avons trouvés.

Tableau 2. Articles parus dans les principales revues d'économie évolutionniste sur le thème de l'environnement

Titre de la revue	Nombre d'articles trouvés (N)	N (% Total)
1. Technological Forecasting & Social Change	29	19%
2. Journal of Evolutionary Economics (JEE)	20	13%
3. Technology Analysis & Strategic Management	20	13%
4. Research Policy	18	12%
5. Industrial and Corporate Change	17	11%
6. Technovation	14	9%
7. Structural Change and Economic Dynamics	9	6%
8. Industry and Innovation	6	4%
9. Economics of Innovation and New Technology	4	3%
10. Journal of Economic Behavior & Organization	3	2%
11. Journal of Industrial Economics	3	2%
12. Strategic Management Journal	3	2%
13. Science and Public Policy	3	2%
14. Management Science	2	1%
15. R&D Management	1	1%
16. Regional Studies	1	1%
Total	153	100%

Afin de vérifier la fiabilité de notre méthode, et s'assurer que nous n'omettons pas de revue majeure utilisées par les économistes évolutionnistes, nous avons listé toutes les revues apparaissant dans les références bibliographiques des articles retenus pour la revue *Research Policy*, la plus prestigieuse du champ disciplinaire étudié (Verspagen & Werker, 2004)¹³. Nous avons trouvé 256 différentes revues, mais comme le montre le Tableau 3, seules 4 d'entre elles apparaissaient plus de 20 fois.

¹² 1985 marque l'année d'une publication clé de notre champ de recherche : Ashford et al. (1985), premier auteur à soutenir que "les objectifs environnementaux peuvent être co-optimiser avec la croissance économique grâce à l'innovation technologique".

¹³ Les références bibliographiques sont consultables dans l'annexe « Bibliographie ».

Tableau 3. Revues les plus souvent citées dans les références bibliographiques des articles identifiés pour *Research Policy*

Titre des revues	Nombre de références bibliographiques venant de ces revues
Research Policy	66
Technology Analysis and Strategic Management	28
Ecological Economics	22
Journal of Environmental Economics and Management	22

Deux de ces revues ne figurant pas dans la liste de départ, nous les avons donc rajoutées à notre recherche, qui au final nous a permis de rassembler 120 articles présentés dans la section 3.1.2.

2.2. Analyse des brevets et éco-TIC¹⁴

Notre projet vise à analyser les écoinnovations pouvant permettre de résoudre le problème des DEEE et les connaissances qui leur sont associées. Cela permet e.g. de savoir qui sont les acteurs qui produisent ces connaissances et quelle est la place de la France dans cette compétition pour ces écotechnologies d'avenir. Lorsqu'elles sont stratégiques, ces précieuses connaissances sont protégées par des brevets : c'est donc l'objet d'étude que nous avons privilégié pour notre projet. Le champ des écotechnologies pouvant contribuer à résoudre le problème des DEEE étant très large, nous avons tout d'abord examiné la contribution que pouvait faire un seul secteur à cette résolution, et avons choisi celui des éco-TIC, à savoir les TIC (la catégorie 3 de la liste des EEE de la directive européenne 2012/19/EU relative aux DEEE) qui réduisent les impacts écologiques, que ce soient les leurs ou ceux d'autres secteurs. Nous avons pu analyser dans quelle mesure les brevets déposés par un secteur particulier pouvait contribuer à résoudre le problème des DEEE.

2.2.1. Qu'est-ce qu'un brevet ?

Comme le précise l'INPI¹⁵ : « Le brevet protège une innovation technique, c'est-à-dire un produit ou un procédé qui apporte une nouvelle solution technique à un problème

¹⁴ Cette deuxième partie de notre projet a fait l'objet de la publication en ligne d'une version préliminaire de l'article académique disponible sur <http://ssrn.com/abstract=2117831>.

technique donné. » Ainsi, on peut éviter que les efforts réalisés pour produire cette innovation ne soient copiés par la concurrence et générer des revenus par une cession en bonne et due forme du brevet à des tiers. L'inventeur dépose le brevet (qui appartient à l'institution dans laquelle le travail a été effectué) pour une période donnée (généralement 20 ans), soit au niveau national pour une protection uniquement dans le pays où il est déposé (l'INPI en France) ; soit au niveau européen, et alors l'inventeur choisit les pays dans lesquels il souhaite obtenir une protection (Office Européen des Brevets -OEB) ; soit au niveau international via le traité de coopération en matière de brevets (PCT), les demandes internationales de brevet PCT pouvant être déposées auprès de l'office national des brevets du pays de l'inventeur ou directement auprès de l'OMPI (Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle)¹⁶.

Un brevet comprend différents champs d'information comme le nom de la personne qui dépose la demande ainsi que son numéro et sa date de dépôt, l'inventeur, le code de la Classification Internationale des Brevets (CIB), ou les autres brevets cités qui sont listés par code CIB (voir un exemple de brevet DEEE en Annexe 1). Cette dernière information est importante car elle permet de voir quelles sont les sources de connaissance externes au brevet déposé qui ont été utilisées pour produire l'invention qu'il protège. On peut alors retracer les liens existant entre différents domaines de connaissances ou technologiques. Par exemple, un brevet déposé pour protéger un type particulier de circuit imprimé, qui appartient donc au domaine de connaissance des TIC, pourra citer un brevet déposé pour protéger des soudures sans plomb, qui appartient lui au domaine de connaissance de la métallurgie. On pourra aussi étudier par exemple quelles organisations sont derrière ces deux brevets, si elles ont en d'autres dans le même domaine, etc. En outre, si ce dernier a été déposé peu après la directive européenne RoHS on peut penser que cette législation qui interdit notamment l'utilisation du plomb dans les TIC a joué un rôle dans cette activité d'écoinnovation.

Créée à Strasbourg en 1971, la CIB est un système hiérarchique de classement des brevets selon les différents domaines technologiques auxquels ils appartiennent, en vue de constituer un outil efficace de recherche des documents de brevet. La CIB comprend huit sections comptant environ 70000 subdivisions. À chaque subdivision est attribué un symbole consistant en des chiffres arabes et des caractères latins, par

¹⁵ www.inpi.fr/fr/brevets/qu-est-ce-qu-un-brevet.html.

¹⁶ http://www.wipo.int/patentscope/fr/patents_faq.html.

exemple : A01B 1/00. Les huit sections portent les titres suivants et le « symbole section » est composé d'une lettre de A à H :

A : Nécessités courantes de la vie

B : Techniques industrielles; transports

C : Chimie; métallurgie

D : Textiles; papier

E : Constructions fixes

F : Mécanique; éclairage; chauffage; armement; sautage

G : Physique

H : Électricité

Le « symbole section » est suivi par un nombre à deux chiffres pour donner un symbole de la « **classe** » (e.g. A01 = « AGRICULTURE; SYLVICULTURE; ÉLEVAGE; CHASSE; PIÉGEAGE; PÊCHE »). La dernière lettre permet d'obtenir le symbole de la « **sous-classe** » (e.g. A01B = « TRAVAIL DE LA TERRE EN AGRICULTURE OU EN SYLVICULTURE; PARTIES CONSTITUTIVES OU ACCESSOIRES DES MACHINES OU INSTRUMENTS AGRICOLES, EN GÉNÉRAL »). La sous-classe est ensuite suivie d'un nombre correspondant au numéro du « **groupe principal** » (e.g. A01B 1/00 = Outils à main), séparé par une barre oblique du nombre caractérisant l'éventuel « **sous-groupe** » (e.g. A01B 1/02 = Bêches; Pelles). Ce sont les examinateurs de l'OEB qui attribuent une classification à chaque demande de brevet déposée dans cet organisme. Les codes CIB explicités ci-dessus opèrent comme des étiquettes (*tags*) qui marquent les brevets en indiquant quelle est sa destination : va-t-il servir à fabriquer une pelle ? Une bêche ? Si l'on prend la classe C22B (PRODUCTION OU AFFINAGE DES MÉTAUX (...); TRAITEMENT PRÉLIMINAIRE DES MATIÈRES PREMIÈRES), elle contient e.g. des processus de traitement des métaux. Ceux-ci sont très variés et peuvent être mécaniques, chimiques, hydrauliques, etc. Par exemple, C22B 3/00 = Extraction de composés métalliques par voie humide ; C22B 4/00 = Traitement électrothermique, etc.

On devine que toutes ces différentes classes de codes CIB ont mobilisé des champs scientifiques et technologiques, des connaissances, très différentes. Ces étiquettes

peuvent donc être utilisées comme des marqueurs permettant d'identifier les domaines technologiques, les champs de connaissances, qui ont été mobilisés pour parvenir à un brevet. Par conséquent, un brevet ou sa demande vont être marqués par plusieurs de ces étiquettes ou codes CIB. En analysant ces codes, par exemple pour un secteur donné comme celui des éco-TIC, on peut donc retracer la carte des connaissances utilisées pour générer ces brevets.

2.2.2. Les données de brevets

Les brevets déposés dans les différents organismes sont répertoriés dans des bases de données, par exemple le PATENSCOPE de l'OMPI contient des informations sur plus de 2 millions de demandes de brevets PCT et près de 14 millions de demandes de brevets provenant de collections des offices nationaux/régionaux (on peut également limiter la recherche aux seules demandes qui ont abouti)¹⁷. La « Base Brevets » de l'INPI met à disposition, en accès libre et gratuit et entièrement en français, environ 5 millions de demandes de brevets français, européens et de demandes internationales publiées depuis 1978¹⁸. L'OEB dispose également d'une base de données consultable sur le Registre européen des brevets¹⁹. Mais cet accès gratuit en ligne ne fournit pas une base de données complète que l'on pourrait télécharger : l'OEB vend cette base de données (PATSTAT, voir description en Annexe 2) de 170 giga octets sous format CSV, et c'est celle-ci que nous avons acquise et sur laquelle nous avons travaillé pour le deuxième volet de notre projet. Toutefois, un long travail de nettoyage et d'organisation est indispensable et doit être réalisé par un expert en gestion de bases de données. C'est pourquoi le projet n'aurait pu aboutir sans l'embauche d'une ingénieure de recherche experte dans ce domaine. PATSTAT contient par exemple 60 millions de demandes de brevets et 30 millions de résumés de brevets accordés ; nous l'avons donc préférée à la base de l'INPI car elle est plus large et contient également tous les brevets déposés à l'office américain des brevets (*US PTO*).

Cela nous a permis d'identifier quels domaines des éco-TIC étaient les plus innovants, d'examiner le degré de concentration des activités innovantes, l'entrée de nouveaux innovateurs dans le domaine, le degré de diversité de ces derniers (petites ou grandes

¹⁷ <http://www.wipo.int/patentscope/fr/>.

¹⁸ <http://www.inpi.fr/fr/services-et-prestations/bases-de-donnees-gratuites/base-brevets.html>.

¹⁹ http://www.epo.org/searching/free/register_fr.html.

entreprises, centres de recherche publics ou privés, etc.), ou encore les sources de connaissance mobilisées par un brevet (grâce aux citations d'autres brevets : voir plus haut).

Notre ensemble de données de départ devait délimiter un groupe de brevets correspondant aux éco-TIC. Nous l'avons constitué en sélectionnant les brevets dont les codes CIB figuraient à la fois dans « l'inventaire vert » de l'OMPI²⁰ et dans la catégorie TIC de la classification des brevets de l'OCDE. Cette dernière comprend les codes CIB des quatre champs de brevets suivants : télécoms, électronique grand public, ordinateurs et équipement de bureau, autres TIC. Les brevets sélectionnés ont été déposés entre 1987 et 2006, nous en avons dénombré 13210 qui forment notre ensemble de données de brevets d'éco-TIC. La première étape consistait à identifier les principaux domaines technologiques de ce secteur des éco-TIC grâce à une analyse de réseau qui permet de mettre en évidence les liens entre brevets en montrant quelles étiquettes ou codes CIB ils ont en commun. Nous avons dénombré 65 domaines technologiques, qui nous ont permis d'analyser les dynamiques d'innovation dans le secteur des éco-TIC.

En outre, de nombreux travaux suggèrent que nombre d'écoinnovations bénéficient de progrès technologiques provenant du secteur des TIC (Rennings, 2000; Kemp & Pearson, 2008; OECD, 2010; Hilty *et al.* 2006; Kemp & Oltra, 2011). En effet, comme le soulignent Corrocher *et al.* (2007), les TIC mettent en jeu un large ensemble d'applications technologiques et l'innovation dans ce secteur bénéficie de nombreux inputs d'autres secteurs et vice versa. Par exemple les technologies de surveillance de l'environnement et de contrôle à distance de gestion de l'efficacité de processus, le développement d'isolation acoustique et thermique dans les bâtiments, l'utilisation des TIC pour les énergies renouvelables, ou encore la mobilité durable.

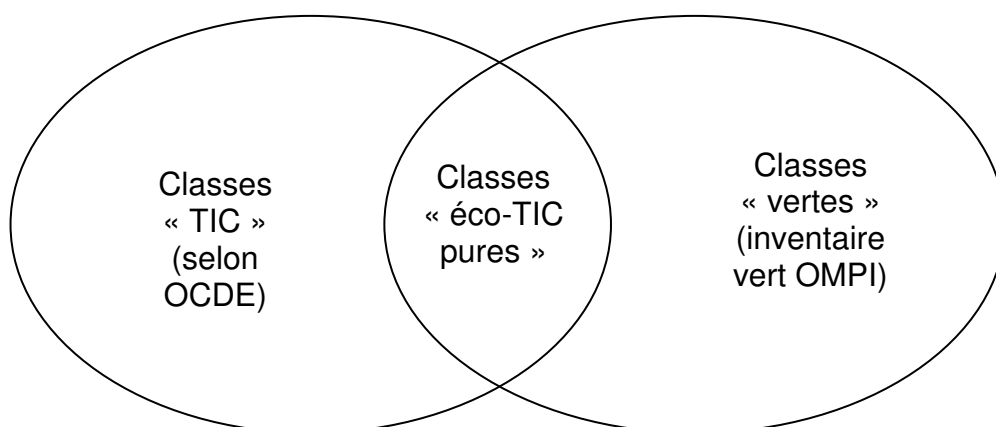
La méthodologie déployée ici comprend trois étapes.

La première consiste à extraire tous les brevets accordés par l'OEB entre 1987 et 2006 qui contiennent au moins une classe appartenant au secteur des TIC (tel que défini par l'OCDE), classe que nous nommerons « TIC », et une classe dite « verte » car incluse dans l'inventaire vert de l'OMPI. Lorsque ces deux classes (étiquettes/codes CIB) apparaissent dans le même brevet, nous sommes alors en présence d'un « couple » de

²⁰ <http://www.wipo.int/classifications/ipc/fr/est/>. Cet inventaire comprend les classes CIB qui sont associées à des écotecnologies et est divisée en six domaines technologiques (Production d'énergie de substitution, Transports, Conservation et économies d'énergie, Gestion des déchets, Agriculture/sylviculture, Aspects administratifs/réglementaires ainsi que de conception et de production d'énergie nucléaire).

classes « verte + TIC ». Lorsqu'une classe incluse dans l'inventaire vert est une classe dont le symbole correspond à un code CIB du secteur des TIC, cette classe est appelée « éco-TIC pure ». L'ensemble qui en résulte comporte 4157 classes de niveau sous-groupe (1151 « vertes », 3442 « TIC », et 436 « éco-TIC pures »), classes qui apparaissent dans 16601 brevets.

Figure 2. Représentation graphique des classes CIB du secteur éco-TIC



La deuxième étape consiste à identifier les couples de classes « verte + TIC » qui se forment le plus souvent, cela mesuré par le nombre de brevets dans lesquels elles sont mentionnées. En effet, si l'on retenait tous les brevets mentionnant au-moins un de ces couples, nous en aurions beaucoup trop et notre analyse ne serait pas très significative car nous aurions des brevets ayant des classes « éco-TIC pures » en quantité infinitésimale. Nous avons donc choisi, comme cela se fait dans les analyses de réseau, de ne retenir que les brevets étant significativement étiquetés « éco-TIC pures », i.e. qui n'avaient pas qu'un seul couple de classe « verte + TIC » mais un nombre minimum fixé par nos soins. Pour déterminer ce nombre, nous avons conservé le centile (1%) des couples de classe « verte + TIC » qui sont utilisés le plus fréquemment dans les brevets : ce 1% de couples les plus fréquemment utilisés apparaissent dans au moins 55 brevets de notre ensemble (pour le poids respectif des liens, qui représentent donc chacun au-moins 55 brevets, voir la 3^e colonne de l'Annexe 3). En ne conservant que ces couples là, nous sommes parvenus à un ensemble plus restreint de brevets mais qui étaient plus caractéristiques du secteur des éco-TIC. Le nombre de brevets de ce nouvel ensemble (qui sont donc ceux qui mentionnent les couples de classe « verte + TIC » les plus fréquemment utilisés) s'élève à 13210 brevets. Ces derniers mentionnent dans leur

description 3978 classes de code CIB (de niveau sous-groupe) différentes (795 « vertes », 2859 « TIC », et 325 « éco-TIC pures »).

Troisièmement, en partant de cet ensemble de 13210 brevets, nous analysons les liens entre les classes de codes CIB utilisées par ces brevets afin de faire émerger des domaines technologiques cohérents caractéristiques des éco-TIC. Nous pourrions ainsi expliquer sont les quels champs de connaissance nécessaires à l'innovation dans le secteur des éco-TIC. Cette analyse de réseau permet d'identifier quelles technologies concentrent beaucoup de liens entre différentes sources de connaissances (marquées par les classes de codes CIB). Comme chaque classe représente un type de connaissance particulier, cette densité indique que la technologie fait grand usage connaissances provenant de champs technologiques très diverses. Les classes qui nous paraissent les plus importantes sont celles qui ont le plus de liens avec d'autres classes : elles apparaissent alors au centre d'une multitude d'autres liens et sont considérées comme des connecteurs de domaines technologiques qui sans elles auraient été isolés. Elles mettent en évidence qu'un lien existe entre ces domaines, à savoir qu'ils partagent des connaissances communes (au moins une classe de niveau sous-groupe en tous cas). La Figure 3 permet de visualiser ce type de réseaux, qui sont des photographies d'un système de connaissances technologiques. En simplifiant de manière graphique ce système, l'analyse de réseaux permet d'éclairer pourquoi et par quels mécanismes les technologies ont évolué de la manière dont le montre le réseau.

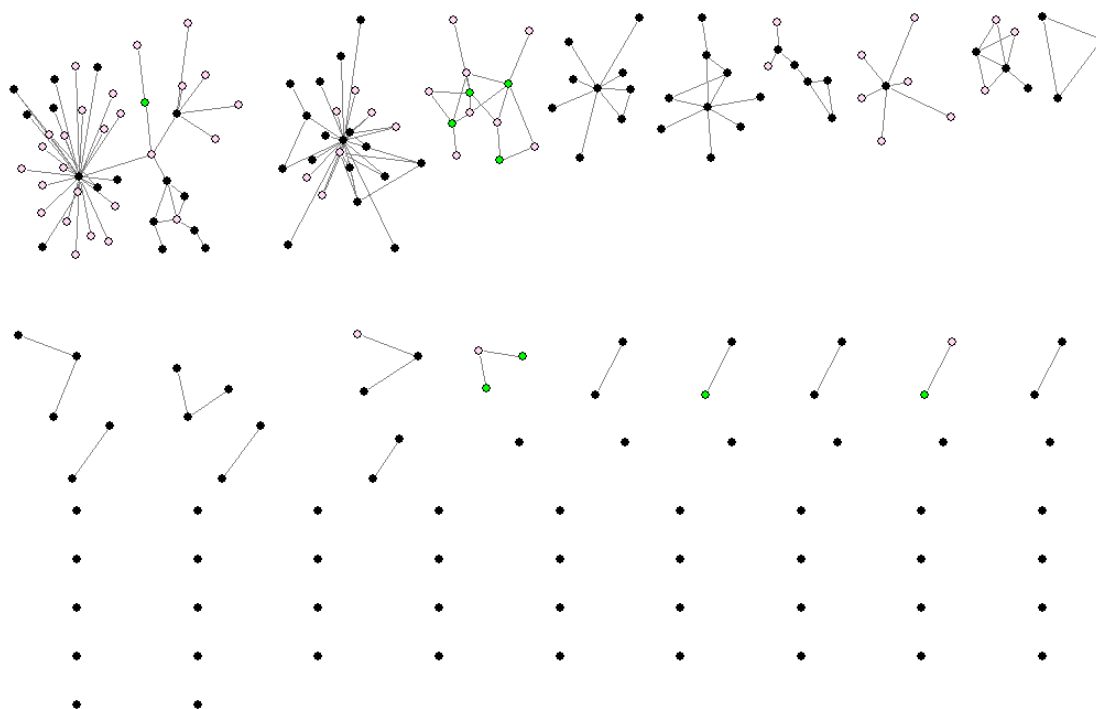
L'analyse du réseau des sous-groupes fait apparaître 65 domaines technologiques cohérents différents (voir Figure 3, et l'Annexe 3). Il reste alors 192 sous-groupes, qui sont chacun représentés par un point noir, vert, ou rose :

- Les points noirs correspondent aux sous-groupes « éco-TIC pures » (i.e. les sous-groupes TIC qui apparaissent aussi dans l'inventaire vert de l'OMPI),
- Les points roses représentent les sous-groupes « TIC »,
- Les points verts matérialisent les sous-groupes « vert ».

Les liens (traits noirs) entre deux points/sous-groupes correspondent à un brevet : deux sous-groupes sont liés s'ils apparaissent simultanément dans le même brevet. Le même brevet peut apparaître ailleurs (car un brevet comporte de nombreux sous-groupes susceptibles de former des paires avec des sous-groupes mentionnés dans d'autres

brevets). Toutefois, il est impossible qu'un brevet/liens apparaisse dans deux domaines technologiques/grappes de points différents : sinon ces derniers seraient connectés ! Certains domaines technologiques d'éco-TIC sont isolés, car aucun de leurs sous-groupes ne sont connectés à d'autres sous-groupes. Il existe en outre des points isolés, car notre ensemble final de brevets comporte des brevets qui ne mentionnent qu'un sous-groupe « éco-TIC pure » (les points noirs).

Figure 3. Analyse de réseau sur les sous-groupes technologiques éco-TIC



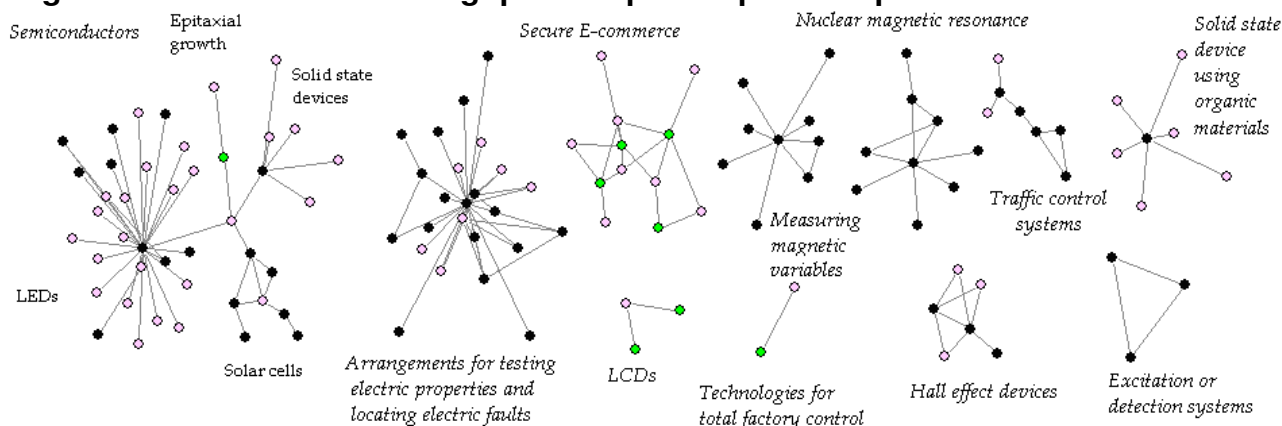
Le nombre moyen de points par domaine technologique est de 2,96, et le domaine le plus large regroupe 22% des sous-groupes, ce qui indique un faible niveau de connectivité entre eux. Les différents domaines technologiques d'éco-TIC semblent donc partager relativement peu de sous-groupes/types de connaissances.

Le résultat le plus marquant de notre analyse est le suivant : si la plupart des domaines technologiques des éco-TIC impliquent des sous-groupes « éco-TIC pures », nous avons pu mettre en évidence un composant qui comporte à la fois des sous-groupes « vert » et « TIC ». Cela suggère que le domaine technologique des éco-TIC implique des sous-groupes/types de connaissances plus large que prévu.

La Figure 3 montre quels sont les domaines technologiques les plus importants pour les éco-TIC. Il est intéressant de noter que les domaines éco-TIC les plus larges sont ceux composés d'un mélange de sous-groupes : cela indique que l'inventaire vert de l'OMPI

n'est pas assez large pour pouvoir englober toutes les éco-TIC. Si tel était le cas, les domaines technologiques éco-TIC ne comporteraient que des points noirs (i.e. des sous-groupes « éco-TIC pures »).

Figure 4. Domaines technologiques les plus importants pour les éco-TIC



Le domaine le plus large (le premier en partant de la gauche dans la Figure 3) est celui des semiconducteurs (*Semiconductors*), composé de 4 grappes de sous-groupes connectées au nœud central rose (i.e. le CIB H01L21/02 : « Fabrication ou traitement des dispositifs à semi-conducteurs ou de leurs parties constitutives »). Les trois premières grappes correspondent à la technologie LED (dispositifs à l'état solide -*solid state devices*, diodes électroluminescentes -*light emitting diodes-LED*, croissance épitaxiale -*epitaxial growth*, cellules photovoltaïques -*solar cells*)²¹. La quatrième grappe de sous-groupes (placée en bas du domaine Semiconducteurs de la Figure 3) représente des technologies assurant la conversion énergétique par des panneaux photovoltaïques.

Un autre domaine d'importance regroupe les technologies assurant la sécurité du commerce en ligne (*Secure electronic commerce*). Il est très intéressant car représente un cas à part dans notre réseau : en effet, il ne comporte aucun point noir (le code de sous-groupe « éco-TIC pure »). Cela signifie donc qu'il ne fait appel à aucun sous-groupe/type de connaissance « éco-TIC pure » de l'inventaire vert de l'OMPI. Les sous-groupes de ce domaine sont :

- Inventions permettant d'assurer le secret ou la sûreté des communications,

²¹ Les LED sont des dispositifs à l'état solide à base de semi-conducteurs composés. La croissance épitaxiale est une procédure utilisée pour produire ces semi-conducteurs qui fait appel au phénomène d'orientation mutuelle de cristaux de substances différentes.

- Réseaux de commutation des données,
- Systèmes caractérisés par un protocole,
- Systèmes bancaires complets,
- Dispositifs codés à cartes pour transferts entre comptes en banque,
- Architectures de paiement,
- Mécanismes de transactions par carte d'identité codée ou carte de crédit ou systèmes de vérification par carte.

Deux autres domaines technologiques ne contenant pas de sous-groupes « éco-TIC pures » sont :

- Technologies de commande totale d'usine,
- Systèmes ou méthodes utilisés pour gérer les déplacements de personnes (e.g. gestion des voies pour véhicules à occupation multiple) ou le télétravail,
- Écrans à cristaux liquides.

D'autres domaines technologiques importants dans le secteur des éco-TIC sont :

- Dispositifs à l'état solide utilisant des matériaux organiques (OLED & PLED) : « éco-TIC pures »,
- Systèmes de contrôle de la circulation (assistance au conducteur, surveillance de l'environnement de conduite).

Enfin, au sein des éco-TIC on trouve aussi une grappe importante faisant référence au domaine technologique « Mesure de la consommation d'électricité » (*Measurement of electricity consumption*). Les éco-TIC sont effectivement beaucoup utilisées pour ce faire avec notamment les compteurs intelligents qui se déploient dans un nombre de plus en plus importants de pays (ErDF est par exemple en train de changer les 35 millions de compteurs des ménages français pour le Linky²²).

²² <http://www.erdfdistribution.fr/Linky>.

L'interprétation de ces résultats sera faite dans la section 4.2. À la lumière des résultats précédents, elle nous permettra notamment de préciser dans quelle mesure les éco-TIC peuvent contribuer à résoudre le problème des DEEE. Ces résultats nous ont permis de conduire une analyse empirique de chacun des domaines technologiques identifiés ci-dessus, que nous présentons dans la section 3.2.

2.3. Analyse des brevets et DEEE

Le développement des TIC est caractérisé par une durée de vie des produits assez limitée, le taux de remplacement élevé souligne l'importance des efforts à faire pour réduire l'impact écologique des déchets provenant des TIC. D'un autre côté, les TIC peuvent aussi contribuer à gérer les déchets (étiquettes RFID, bases de données, ...) ou à écoconcevoir les produits (CAO, logiciel EIME, ...). Pour réduire l'impact sur l'environnement des DEEE, outre la réduction de la consommation de TIC et la gestion responsable de leur fin de vie, l'innovation technologique est essentielle pour le recyclage et la transformation des DEEE. En particulier, les DEEE contiennent des matériaux spéciaux qui peuvent être aussi toxiques et dangereux, présents dans les e-déchets tels que l'aluminium (Al), le cuivre (Cu), le palladium (Pd) et l'or (Au), qui nécessitent un processus de collecte et de traitement écologiques des e-déchets.

La gestion de la fin de vie des TIC passe par des filières de recyclage et de traitement aux faibles impacts environnementaux, par exemple en termes d'émissions et de déchets ultimes, mais aussi par un investissement en amont dans l'écoconception. En France, la part des TIC dans le budget des ménages est passée de 1,3 % à 4,2 % entre 1960 et 2005. Depuis 1945, la demande a augmenté de 12,6%. La diffusion de ces technologies soulève également des problèmes sociaux et environnementaux majeurs (Gossart, 2009). En effet, même s'ils représentent environ 2 millions de tonnes sur 850, les DEEE sont catégorisés comme des déchets dangereux, et leur taux de croissance est le plus élevé de tous les types de déchets en France.

L'objectif de cette partie du projet a été d'étudier les technologies et les innovations qui visent à réduire et à recycler les DEEE, et notamment ceux issus des TIC. Notre approche pourra néanmoins être étendue aux autres technologies permettant de réduire les DEEE voire d'autres types de déchets. Nous nous sommes concentrés dans l'identification des écotecnologies qui interviennent dans le processus de réduction des

DEEE. Il est donc important d'identifier les technologies qui peuvent assurer la transformation des DEEE ainsi réduisant leur impact environnemental.

La méthodologie pour identifier les technologies liés au DEEE utilisée s'articule en trois parties:

1. Sélectionner les domaines technologiques utilisés pour le recyclage et traitement des DEEE en identifiant des mots clés,
2. Identifier les brevets qui protègent ces innovations en utilisant les mots clés,
3. Construire une analyse de la trajectoire technologique de ces technologies afin d'identifier les entreprises et les centres de recherche actifs dans la transformation des DEEE.

Pour ce faire, nous avons utilisé les outils d'analyse des brevets d'invention, comme ceux déposés à l'Office Américain des Brevets (*US PTO*) où les entreprises du monde entier déposent leurs brevets. L'avantage des méthodes d'analyse des brevets, détaillées ci-dessous, est double. Tout d'abord, les bases de brevets contiennent des informations relativement fiables et que l'on peut harmoniser afin de mener des analyses quantitatives à haut niveau de fiabilité.

L'intérêt de travailler sur des données de brevets est qu'elles permettent de suivre l'évolution des flux de connaissances nécessaires à la conception de telles technologies. En effet, s'il s'agissait seulement de rechercher quelles inventions pourraient servir à des technologies permettant de résoudre le problème des DEEE, autant regarder directement celles qu'utilisent les professionnels.

Notre travail s'efforce donc de retracer ces trajectoires technologiques : connaissant ceci les politiques publiques pourront agir afin d'investir dans tel ou tel flux de connaissance ou se rapprocher des acteurs qui y sont dominants.

En ce qui concerne la première partie méthodologiques, nous avons identifié différentes catégories de technologies afin de collecter les mots clés pour la recherche des brevets. Dans la chaîne du recyclage qui consiste en trois grandes étapes : (a) Collecte, (b) Tri, démontage, prétraitement (notamment mécanique) et (c) Traitement final. Les brevets qui nous avons sélectionnés se réfèrent essentiellement aux phases (b) et (c) du traitement des DEEE. Car la première partie de la chaîne de recyclage est plutôt gérée de façon

manuelle (outre les moyens de transport conventionnels). Les technologies de prétraitement disponibles sont décrites respectivement en trois catégories d'équipements producteurs de déchets : (i) appareils de refroidissement et de congélation, (ii) appareils des technologies de l'information et de la communication (TIC) et (iii) moniteurs et téléviseurs (TV). Nous avons donc identifié les mots clés permettant identifier les technologies utilisés dans ces deux étapes de la chaîne de recyclage. Les mots clés ont été validés par des professionnels.

Deuxièmement, sur la base des mots clés identifiés, nous avons collecté les brevets déposés au bureau des brevets des États-Unis UPTSO. Nous avons collecté 3953 brevets et 55166 citations de 1980 à 2010. Les classes technologiques plus nombreuses dans notre échantillon sont B01D (les procédés couverts par cette sous-classe comprennent l'évaporation, la distillation, la cristallisation, la filtration, la précipitation de poussière, l'épuration de gaz, l'absorption, l'adsorption) et C22B (les groupes se rapportant à l'obtention de métaux comprennent l'obtention des métaux par des procédés non métallurgiques et l'obtention des composés métalliques par des procédés métallurgiques. Ainsi, e.g. le groupe C22B 11/00 couvre la production de l'argent par réduction de l'oxyde d'argent ammoniacal en solution, et le groupe C22B 17/00 comprend la production de l'oxyde de cadmium par un procédé métallurgique. En outre, quoique les composés de l'arsenic et de l'antimoine soient classés en C01B, la production des éléments eux-mêmes a été inscrite en C22B, de même que la production de leurs composés par procédés métallurgiques).

Troisièmement, l'analyse des brevets mobilise les outils d'analyse de réseau et d'identification de la trajectoire technologiques. Cela nous a permis d'étudier à la fois les dynamiques d'innovation technologique et les acteurs clés dans ces technologies (voir section précédente pour cette méthode).

Les résultats montrent que les technologies utilisées dans la gestion des DEEE proviennent de secteurs différents comme la séparation de matériaux, le secteur minier et notamment la fonderie de matériaux. Ces technologies permettent de dissocier les différents matériaux présents dans les DEEE comme l'or, l'argent, le cuivre, les polymères. Les entreprises actives dans le recyclage des DEEE sont des entreprises issues du secteur minier provenant dans secteur lié au fourrage et traitement des matières première en association avec des entreprises dans le domaine des TIC comme NEC et SHARP. Elles sont localisées principalement en Allemagne, Suède et Japon.

Cette étude permet de tirer des leçons pour améliorer les stratégies et les politiques d'écoinnovation dans le secteur des DEEE car il permet de comprendre qui sont les acteurs dans cette filière et car il s'agit d'entreprises qui viennent de secteur assez différent. On peut aussi escompter des impacts sociétaux non négligeables, les consommateurs ayant e.g. plus de choix d'écoinnovations faisant réellement la différence, alors que dans le domaine de l'électroménager par exemple un faible nombre de produits très innovants sont proposés au consommateur final.

3. Résultats

3.1. Revues de la littérature

La première porte sur les technologies clés en matière de traitement des DEEE, la seconde sur l'ensemble plus large des écoinnovations.

3.1.1. Les technologies clés en matière de traitement des DEEE²³

Un recyclage et une réutilisation efficace des DEEE peut être facilitée par une séparation précise des flux à l'étape de la collecte.

Pendant longtemps le recyclage des DEEE était synonyme de récupération d'acier et de cuivre pour les produits blancs, voire d'or, de palladium, de cuivre, d'étain et d'argent pour l'électronique.

La chaîne du recyclage consiste en trois grandes étapes :

- 1) Collecte,
- 2) Tri, démontage, prétraitement (notamment mécanique),
- 3) Traitement final :
 - a. Réparation et réutilisation,
 - b. Réadaptation,
 - c. Récupération et réutilisation de modules fonctionnels,

²³ Sources : Butler, S. & et al. (2009), *Electronic Waste Management*, Cambridge: Royal Society of Chemistry. StEP (2009), *Recycling: From e-waste to resources*, report for UNEP, http://www.unep.org/PDF/PressReleases/E-Waste_publication_screen_FINALVERSION-sml.pdf, page consultée le 20 août 2012. Cui, J. & H. Jørgen Roven (2011), « Electronic Waste », in *Waste*, T. Letcher & D. Vallero, Boston: Academic Press, pp. 281-296.

- d. Récupération et réutilisation de composants,
- e. Récupération de matériaux,
- f. Production de matières premières,
- g. Récupération d'énergie (valorisation des déchets ultimes par incinération).

L'objectif des étapes 2 et 3 est de prendre en charge les composants et fractions dangereux de manière sûre pour l'environnement, et de récupérer de manière économique ces fractions. Le type de méthode utilisé va dépendre des technologies disponibles et utilisables sur place, des impératifs législatifs locaux, etc.

L'un des problèmes associés aux DEEE repose sur le fait que les EEE sont jetés trop tôt ce qui gaspille des ressources. Tout ce qui concourt à allonger la durée de vie des EEE contribue à réduire les DEEE, mais ce ne sont pas nécessairement des innovations technologiques : il peut s'agir e.g. d'une innovation assurantielle généralisant la durée standard d'assurance à 8 ans car cela pousserait les industriels à fabriquer des produits plus solides.

Du côté des innovations technologiques celles qui contribuent à accroître la durée de vie d'un EEE sont très diverses et peuvent appartenir à des secteurs technologiques très variés. Il est donc difficile de les identifier a priori en analysant le contenu des brevets, qui ne mentionnent pas nécessairement « DEEE » ou « allongement de la durée de vie » du produit : on peut parfois ne voir qu'a posteriori que telle innovation a pu contribuer à repousser l'obsolescence d'un EEE.

Il existe des cas de réadaptation de smartphones pour en faire des unités de calcul dans de nouveaux produits électroniques ayant besoin de smart monitoring, de capteurs ou de télémétrie. Ceux-ci peuvent être utilisés dans des alarmes et la surveillance antiviol, ou dans des terminaux mobiles de diagnostic médical.

On peut aussi récupérer des matériaux de valeur sur les circuits imprimés, comme le fait l'organisation autrichienne SAT, qui a développé une méthode de démontage automatisé des composants utilisant une technologie de reconnaissance optique qui lui permet de repérer les composants pouvant être récupérés i.e. ceux qui ont de la valeur. Citons aussi un laser à dessouder couplé avec un bras aspirateur robotisé pour récupérer les composants. Le groupe japonais NEC a développé un processus de démontage automatisé par une approche mécanique (Butler, 2009).

Ces technologies sont spécifiques à chaque catégorie d'EEE, elles ont souvent leur équivalent manuel qui est moins efficace et sûr. Nous résumons ici les résultats de StEP (2009), qui vont nous servir pour délimiter notre ensemble de brevets :

Technologies de prétraitement

Réfrigération et congélation

- technologies de dégazage des fluides refroidissants et de l'huile
- pour les métaux ferreux : déchiqueteuses, machines à fragmenter, séparateurs magnétiques, séparateur par courants de Foucault
- séparation par induction magnétique ou par vibrations

Les installations entièrement automatisées coûtent entre 2 et 4 M€ et nécessitent un entre 3000 et 6000 tonnes d'entrants par an.

Appareils TIC

- séparateurs de tous types : magnétiques, par courants de Foucault, par induction magnétique, par vibrations, par densité, utilisant des propriétés diélectriques ou la température de fusion
- fours de fusion intégrés

Écrans et téléviseurs

- séparation semi-automatique des écrans cathodiques (découpages : à fil chaud, à choc thermique, au laser, au fil/à la scie de diamant, au jet d'eau)
- élimination (semi-)automatique du traitement de surface des faces avant des écrans cathodiques (billage de plastique, circulation d'eau, lit fluidisé)
- déchiquetage automatique des écrans cathodiques et récupération des fractions métalliques
- récupération des matériaux par tri automatisé (les deux types de verre peuvent être séparés par différentes techniques : séparation par densité, par calibrage, par UV/lumière visible ou fluorescence à rayons X)

Technologies de post-traitement

Les opérations ou équipements impliqués dans cette étapes sont souvent des technologies exclusives ou brevetées. On peut les regrouper dans les 3 catégories suivantes :

- pyrométallurgie (fours à lance immergée, convertisseurs, fours rotatifs, fours électriques à arc, etc.)
- hydrométallurgie (solutions acides ou basiques très fortes pour dissoudre et précipiter les métaux de manière sélective comme la lixiviation au chlore)
- électrométallurgie (extraction électrolytique, électroraffinage du cuivre/zinc/etc.)

Circuits imprimés et petits appareils électroniques

- procédés propriétaires en pyrométallurgie, hydrométallurgie, et électrométallurgie
- systèmes d'épuration des effluents gazeux pour les COV, dioxines, et gaz acides (refroidisseurs adiabatiques, déchiqueteuses, filtres, décomposition catalytique)
- UMICORE : ISASMELT™(technologie de combustion à lance immergée : unité d'extraction par électrolyse et lixiviation combinant hydro et électrométallurgie.
 - les résidus de métaux précieux sont raffinés dans l'unité ad hoc
 - Ag, Au, Pt (métaux de haute pureté) : procédés pyro et hydrométallurgiques développés en interne
 - Pb, Bi, Sn, Ni, In, Se, Sb, As : haut fourneau à plomb

Fractions métalliques contenant des métaux précieux (surtout Cu)

- fonderies de cuivre
- complexes *intégrés* de *fonderie* et de *raffinerie*
- hydrométallurgie

Fractions métalliques ne contenant pas de métaux précieux (granules de cuivre et laiton et mélanges des deux, zinc, plomb, étain, autres mélanges)

- fonderies

Aluminium

- Installations de refonte
- fours tournants et basculants
- utilisation d'un mélange de sodium et de chlorure de potassium pour capter les impuretés et prévenir l'oxydation
- technologies de pointe utilisées pour éviter les émissions aériennes de poussières, gaz acides, COV, dioxines
- four d'attente en attendant que l'aluminium soit raffiné

Métaux ferreux

- déchiquetage, puis séparation magnétique ou méthodes semi-automatiques pour séparer les fractions²⁴
- récupération et recyclage des fractions : fours électriques à arc, conversion de la fonte brute en acier dans des convertisseurs à oxygène.

Verre plombé des écrans cathodiques

- fonderies de cuivre et de plomb

3.1.2. Revue de la littérature sur les écoinnovations

Cette revue de la littérature présente un état de l'art des travaux réalisés dans le domaine des écoinnovations. Ils sont relativement nombreux et tentent notamment de définir une écoinnovation et de cerner les contours de son environnement de sélection qui fait qu'elle émerge ou non. Enfin, elle nous permet d'examiner dans quelle mesure les innovations technologiques peuvent favoriser la résolution du problème des DEEE. Nous en résumons ici les principaux éléments, l'article étant en cours de finalisation il sera fourni en fin de projet. Une version préliminaire non diffusable a été transmise à notre responsable de projet ADEME.

²⁴ Voir Cui, J. et al. (2003), « Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: A review ». *Journal of Hazardous Materials*, B99, pp. 243–263.

Définitions

Pour Kemp & Oltra (2011), les écoinnovations sont dans une certaine mesure comparables aux autres et peuvent se définir comme « des innovations dont les impacts environnementaux sur l'ensemble du cycle de vie sont moindres que ceux des alternatives adéquates ». Clarke & Roome (1995) parlent eux de technologies « vertes », qui sont celles que l'on perçoit comme étant les moins dommageables pour les systèmes physiques, biologiques et culturels. Rennings *et al.* (2010) ajoutent qu'une innovation environnementale peut être développée avec ou sans l'objectif explicite de réduire les dommages écologiques. Ce n'est pas le cas de Taylor *et al.* (2005) qui insistent sur le fait que les technologies environnementales partagent la caractéristique d'aider à maintenir le bien public d'un environnement propre. Et si les définitions précédentes ne parlaient que de procédés ou de techniques, Shrivastava (1995) rajoute les stratégies de management environnemental comme pouvant en faire partie. Enfin, Sharma & Henriques (2005) parlent d'éco-efficacité pour les approches permettant de réduire la consommation d'énergie et de matériaux à la source, et écoconception pour décrire les changements dans les produits ou processus qui sont conçus pour durer plus longtemps ou être plus facilement recyclables tout en minimisant les produits chimiques à risque.

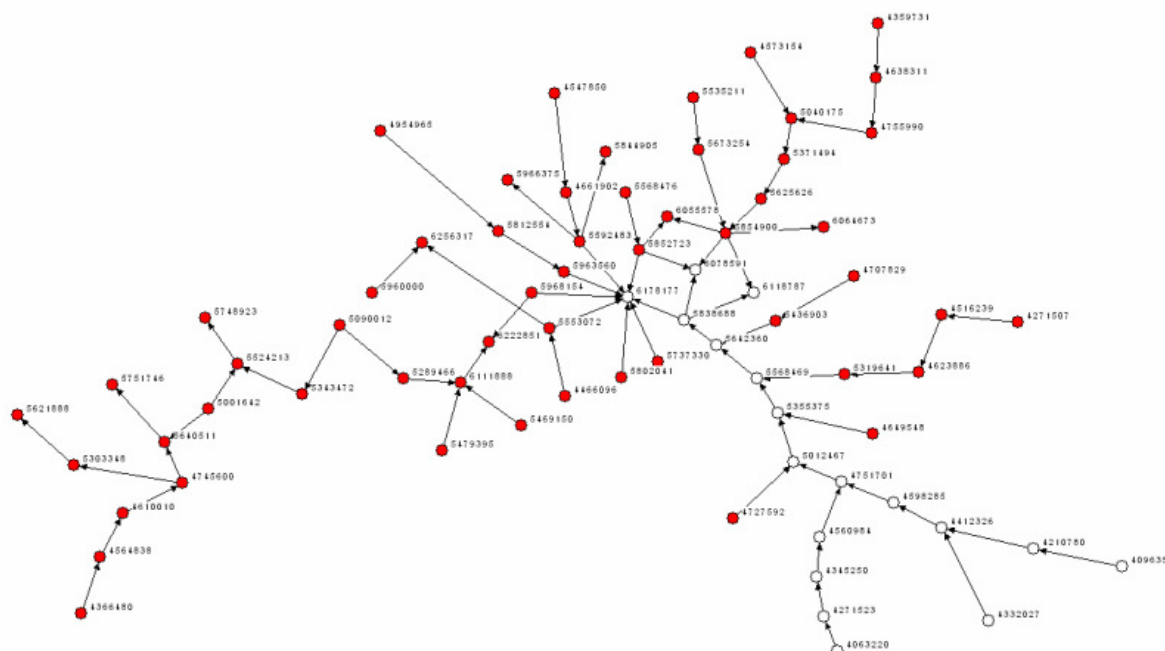
Mais les écoinnovations peuvent aussi transformer les organisations, comme ce fut le cas de ce que Sarkis (1995) a appelé « Environmentally Conscious Manufacturing » (ECM) qui vise à réduire les impacts à la source et exclut donc toute technologies en bout de chaîne. Si une écoinnovation organisationnelle incorpore l'objectif de capter la demande du marché, Goldstein (2002) la qualifie alors de management environnemental stratégique (« Strategic Environmental Management »). Pour Zutshi & Sohal (2004), cela passe nécessairement par la mise en œuvre de systèmes de management environnement (« Environmental Management Systems ») qui doivent co-optimiser performance environnementale et satisfaction du consommateur. Pour Lambert & Boons (2002) ces écoinnovations organisationnelles peuvent même s'appliquer aux parcs industriels en vue d'assurer un bouclage des flux de matière. Rehfeld *et al.* (2007) avancent que les systèmes de management environnementaux ont un impact positif sur les innovations de produit environnementales, et Wagner (2008) sur les innovations de processus environnementales. Ce n'est pourtant pas l'opinion de Ziegler & Nogareda (2009), pour qui les entreprises qui mettent en œuvre de tels systèmes ont déjà de fortes capacités environnementales.

Trajectoires technologiques

Le concept de « paradigme technologique » a été proposé par Dosi (1982) pour caractériser un ensemble de procédures, une définition des problèmes importants et des connaissances nécessaires à leur résolution ». Ils sont eux-mêmes intégrés dans un « paradigme techno-économique » plus large caractérisé par un groupe de technologies dominantes, comme les TIC (Perez, 2010). D'après Freeman (1992) ce cinquième paradigme pourrait aller dans le sens d'un développement durable.

Les paradigmes technologiques émergent au fil de « trajectoires technologiques » (Dosi, 1982), que l'on peut e.g. retracer en analysant l'évolution des demandes de dépôt de brevets d'invention. Fontana *et al.* (2009), l'ont par exemple fait pour les standards de communication. Cela permet de voir quelle est l'évolution des connaissances (incorporées dans les brevets) dans le temps jusqu'à la technologie dominante (voir Figure 4 où les trajectoires convergent vers celle-ci qui est au centre), qui les produites et en bénéficié, grâce à quelles collaborations, avec le soutien de quelles politiques publiques, etc.

Figure 5. Exemple de représentation graphique d'une trajectoire technologique
ETHERNET NETWORK, 1977-2002



Ces trajectoires agissent comme un mécanisme de sélection des possibilités technologiques, elles représentent des modèles de changement technologique qui sont le résultat du travail d'ingénieurs au sein d'un paradigme technologique particulier. Ce paradigme représente un cadre cognitif utilisé par les ingénieurs dans un domaine donné et peut être décomposé en une série de « règles du jeu », de routines de fonctionnement, de systèmes de croyances, de normes légales, etc. Par exemple, pour accroître la puissance d'un ordinateur, augmenter le nombre de microprocesseurs. Ou alors : pour concevoir une ampoule électrique fiable, limiter la durée de vie à 1000 heures de fonctionnement. Ou encore : pour produire un téléphone portable rentable, ne pas intégrer les coûts écologiques excédant les obligations légales. On voit que pour réduire les DEEE des changements importants dans le paradigme technologique dominant seraient à apporter.

Chaque innovation suit une trajectoire technologique qui permet de suivre son cheminement au long de la trajectoire technologique. Quant aux différentes trajectoires en présence au sein d'un paradigme technoeconomique elles mobilisent différents acteurs, technologies, et modèles de gestion (Dijk *et al.*, 2011). Par exemple, Parayil (2003) a mis en évidence l'influence du gain et du profit privés sous la forme de hauts rendements pour les actionnaires des entreprises multinationales du secteur agrobiotechnologique sur la trajectoire technologique ayant permis l'avènement de la révolution génomique.

Dans le cas des transports (**Étude sectorielle A**), Windrum *et al.* (2009b) ont montré que la pollution causée par les carrosses à chevaux avaient permis d'ouvrir une brèche dans la trajectoire technologique en vigueur dans laquelle se sont engouffrées des nouvelles technologies de transport individuelles comme le tramway. Celui-ci a contribué à allonger les distances domicile-travail, qui font aujourd'hui de l'étalement urbain une motivation important d'acquisition d'un véhicule personnel motorisé. De nombreux autres exemples sont donnés dans l'article en anglais dans l'étude de cas A regroupant les travaux portant sur les véhicules personnels, notamment celle retraçant comment la technologie de propulsion basée sur les moteurs à combustion interne (*ICE*) l'a emporté sur la propulsion électrique.

Plusieurs études concernent les trajectoires technologiques empruntées par les technologies du secteur énergétique, notamment par les centrales thermiques (**Étude sectorielle B**). Par exemple, Rennings *et al.* (2010) expliquent que pourquoi leur

trajectoire technologique a été dominée par les centrales fonctionnant au charbon, aucune autre technologie ne les ayant supplantées au cours des trois dernières décennies. Ils expliquent notamment cela par le fait que le paradigme technoéconomique en vigueur n'est pas parvenu à réduire assez les incertitudes sur les technologies moins polluantes pour qu'elles aient pu se développer (e.g. grâce à des aides publiques). En outre, les innovations restant dans le sillage d'une trajectoire technologique dominante ont plus de facilité à s'imposer car tout leur est favorable.

Une autre secteur énergétique analysé dans les articles qui constituent notre bibliographie est celui des énergies solaire et éolienne (**Étude sectorielle C**). Perçu comme une alternative au paradigme énergétique fossile très carboné, les énergies renouvelables offre la possibilité de s'éloigner du paradigme fossile. Aux Pays-Bas, Verheul & Vergragt (1995) soulignent que c'est le mouvement anti-nucléaire qui dans les années 1970 et 1980 a poussé à la mise en œuvre des premières collaborations visant à créer un marché privé pour les éoliennes. Dans le cas de l'énergie solaire thermique allemande, Woersdorfer & Kaus (2011) mettent en relief l'importance de l'adoption et diffusion des technologies ad hoc par les groupes de pairs. Quant aux panneaux solaires, Van den Heuvel & Van den Berg (2009) précisent que les applications technologiques de niche tels que les calculateurs et le voyage spatial ont fortement contribué à améliorer leur efficacité, leur permettant de passer au niveau supérieur de marché de niche. Les politiques de publiques de soutien aux énergies renouvelables ont aussi joué un rôle majeur notamment à travers les subventions accordées aux particuliers pour s'équiper en solaire thermique. Néanmoins, les auteurs notent que la trajectoire technologique est dominée par des panneaux à base de silicone qui ont éliminé des solutions alternatives plus efficaces mais plus complexes et plus chères comme les panneaux à couche mince.

Enfin, de nombreux articles traitaient du secteur des produits chimiques (**Étude sectorielle D**). La transition écologique de ce secteur est en effet particulièrement intéressante car il consomme beaucoup d'énergie et d'intrants fossiles, tout en rejetant de nombreux déchets dangereux pour l'homme et son environnement. Comme le soulignent Nameroff *et al.* (2004) ou Lee *et al.* (2006), de graves accidents (Seveso, Bhopal, ...) ont modifié l'environnement de sélection des innovations technologiques en imposant notamment des normes de contrôle et de sécurité plus strictes, ce qui a favorisé l'émergence de technologies de dépollution en bout de chaîne. Ces actions de court terme sont aussi le produit d'un système politique pour qui il est plus 'rentable' de réagir à

la perception du risque industriel en créant de nouveaux marchés pour produits plus sûrs que d'entreprendre des initiatives structurelles ayant des effets à plus long terme (Malerba, 2005). Elles peuvent toutefois stimuler l'invention comme dans le cas de la chimie verte dont les brevets se sont multipliés suite aux régulations, pressions publiques et autres engagements du secteur en matière de RSE (Nameroff *et al.*, 2004). Gelderman *et al.* (2007) souligne que dans le cas des peintures écologiques un soutien gouvernemental stable a permis d'ancrer une nouvelle trajectoire technologique car les producteurs pouvaient innover en comptant sur cette stabilité future de l'environnement de sélection des innovations. Farla *et al.* (2010) soutiennent également que les entrepreneurs ont besoin de stabilité institutionnelle pour prendre la décision d'investir dans des écoinnovations.

Si les résultats varient d'un secteur à l'autre, les quatre études sectorielles ont le mérite de souligner le rôle des gouvernements dans le renforcement de paradigmes technologiques plus favorables aux écoinnovations, qui n'auraient peut-être pas persisté sans ce soutien. Mais comme nous allons le voir à présent, ils ne sont pas la seule variable de l'environnement de sélection des innovations qui détermine quelle direction va prendre une trajectoire technologique donnée.

Les recettes des entreprises pour écoinnover

Un certain nombre d'articles se penchent sur les mécanismes par lesquels les entreprises développent des écoinnovations, en reprenant notamment le concept de 'capabilité' (*capability*). Sharma & Vredenburg (1998) avancent que des stratégies proactives permettent de construire des capacités environnementales, qui caractérisent tout le capital de connaissances nécessaire à l'amélioration des performances environnementales, capital qui s'accroît en investissant dans la R&D environnementale (Horbach, 2008). Les firmes les plus performantes de ce point de vue auront pu modifier leurs capacités, routines organisationnelles, connaissances pour résoudre les problèmes environnementaux (Ziegler & Nogareda, 2009), voire même leurs compétences, réseaux de relations et orientations stratégiques (Hansen *et al.*, 2002).

En outre, les entreprises percevant souvent les écoinnovations comme des innovations radicales elles peuvent surévaluer les risques et incertitudes qui leur sont associées (Hansen *et al.*, 2002). Cela explique en partie pourquoi elles font du lobbying pour

retarder les investissements environnementaux rendus obligatoires par les politiques publiques (Gerard & Lave, 2005). De fait, les coûts associés aux transitions écologiques dans les études de cas A, B, et C étaient substantiels comme les coûts irrécupérables des centrales thermiques et autres infrastructures énergétiques. Ces coûts expliquent en partie la persistance d'un paradigme technologique polluant, qui absorbe des ressources que les acteurs pourraient allouer au paradigme alternatif (Alkemade & Suurs, 2012). Pour Oltra & Saint Jean (2005), les écoinnovations capables d'entraîner un changement de paradigme reposent sur la capacité de l'entreprise à résoudre le problème de l'incompatibilité entre les anciennes et les nouvelles technologies tout en répondant aux attentes des consommateurs. Kammerer (2009) insiste d'ailleurs sur l'importance de la perception qu'ont ces derniers de la satisfaction qu'ils vont retirer d'un produit ou service écoconçu ; d'où l'égale importance de produire des écoinnovations de qualité au-moins égales à leurs équivalent non écologiques, et de mener des actions continues de sensibilisation aux enjeux écologiques.

Sensibiliser les acteurs aux enjeux écologiques

Les études sectorielles suggèrent qu'un soutien public à des actions de sensibilisation des acteurs aux enjeux écologiques est essentiel pour amorcer des changements de trajectoire durables. Par exemple, dans le cas des véhicules personnels, la valeur sociétale de l'écoinnovation était déterminante dans l'adoption d'un mode de transport plus propre. C'est aussi l'opinion de Porter & Kramer (2011) pour qui les entreprises qui domineront les marchés dans le futur seront celles qui seront capables de créer de la valeur sociétale et non seulement de la valeur économique ou financière.

C'est précisément le fort lien entre évaluation sociétale et soutien public que Dijk *et al.* (2011) avancent que le mode de diffusion des écoinnovations diffère de celui des innovations non écologiques. Par exemple, ils soulignent l'importance des processus d'apprentissages sociaux et des adoptants précoces dans l'attribution de valeur sociétale à une écoinnovation. De ce fait, ces derniers fournissent un marché de niche permettant à l'écoinnovation de se renforcer (Faber & Frenken, 2009). Par conséquent, la compréhension des dynamiques sociales telles que la pression des pairs, l'imitation ou la recherche de statut social est essentielles pour comprendre les succès et échecs des écoinnovations, comme le montre l'étude sectorielle sur les systèmes solaires thermiques. L'analyse de Sharma & Henriques (2005) sur le secteur forestier et papetier canadien que

la pression des parties-prenantes était cruciale pour améliorer les performances environnementales.

En général, les consommateurs achètent leurs produits en fonction de leur bas prix et de leurs performances. Pour Rehfeld *et al.* (2007) et Chen (2001) leur réticence à l'adoption d'écoinnovations repose sur leur méconnaissance des avantages écologiques du produit voire sur leur méfiance quant à la réalité de ce derniers. Vona & Patriarca (2011) notent que lorsque les inégalités de revenu entre consommateurs augmentent, les incitations à l'adoption d'écoinnovations diminuent. Pour surmonter ces barrières à l'adoption d'écoinnovations, les politiques publiques ont un rôle important à jouer.

Blocages technologiques (*lock-in*)

Les études sectorielles abordées dans les articles de notre revue de la littérature font souvent appel au concept de blocage technologique, mis en avant par Arthur (1989) qui complète le concept de dépendance de sentier (*path dependence*) proposé par David (1985), par lequel il explique par exemple comment la disposition actuelle des touches sur les claviers d'ordinateurs (QWERTY ou AZERTY), qui s'était imposée sur les machines à écrire, ont été reprises sur cette nouvelle technologie marquant pourtant une rupture de paradigme technoeconomique majeure ayant permis le passage aux supports d'information numériques.

Les sources de *lock-in* mises en avant dans la littérature incluent les infrastructures en place, comme dans le cas des véhicules personnels, ou encore les sources dominantes d'approvisionnement énergétique dans le cas des énergies renouvelables (hydrocarbures). Tant qu'elles pourront être extraites en abondance et à un coût relativement bas, elles supplanteront les renouvelables et renforceront l'environnement de sélection qui les a vu naître (géopolitique, économique avec les emplois qui vont avec, infrastructures, habitudes de certains modes de déplacement, sources de reconnaissance sociale, etc.). L'inertie organisationnelle est un autre facteur de blocage qui peut constituer une barrière à la diffusion des écoinnovations : si des procédures ou routines sont mises en place pour mémoriser les succès passés et améliorer le fonctionnement et la performance d'une organisation, faute d'adaptabilité elles peuvent devenir des sources de blocage et desservir l'innovation technologique (Shrivastava, 1995 ; Kemp & Oltra, 2011 ; Gossart, 2005 ; Gossart, 2008). Les préférences des consommateurs sont aussi

des sources de blocage comme le montrent les études sectorielles portant sur les véhicules personnels ou les peintures écologiques. Une autre barrière à la transition réside dans le coût initial plus élevé des écoinnovations, qui d'après Technopolis (2008) représente pour les entreprises l'un des principaux obstacles à l'écoinnovation. Les politiques publiques peuvent alors accroître la valeur d'une écoinnovation en monétarisant ses bénéfices environnementaux qui ne sont pas valorisés par le marché (Kemp & Oltra, 2011).

Politiques publiques

De nombreux auteurs argumentent que des changements de paradigme technologique peuvent être déclenchés par des pressions venant des gouvernements (Chen, 2001; Paton & Siegel, 2005 ; Windrum *et al.*, 2009a ; Wagner & Llerena, 2011). Si l'approche traditionnelle en matière de soutien à l'innovation se focalise sur les dynamiques de marché, dans le cas des écoinnovations Brem & Voight (2009) ajoutent que les pressions législatives sont déterminantes dans pour pousser les entreprises à écoinnover, de même que Kemp & Oltra (2011) et Nameroff *et al.* (2004). Et si pour Carrillo-Hermosilla *et al.* (2010) l'implication de toutes les parties-prenantes favorise l'acceptation des écoinnovations par le marché, ils insistent aussi sur le fait que toutes leurs études de cas soulignent le rôle essentiel des politiques publiques dans le développement et le décollage des écoinnovations. Les études sectorielles que nous avons présentées vont dans le même sens (Technopolis, 2008; Van den Heuvel & Van den Bergh, 2009 ; Brunnermeier & Cohen, 2003).

Les analyses de brevet sont souvent utilisées pour établir un lien entre régulation et écoinnovation. Par exemple, en analysant les brevets déposés pour résoudre le problème de la pollution au SO₂, Taylor *et al.* (2005) montrent que des politiques publiques stables et prévisibles permettaient aux innovateurs d'anticiper la législation future et d'innover dans le sens de la trajectoire technologique alternative qu'elle suggérerait d'emprunter. Détrie & Quelin (1993) ont par exemple montré comment Electrolux avait pu produire le premier réfrigérateur sans CFC avant tout le monde grâce à la clairvoyance du législateur suédois qui avait anticipé le Protocole de Montréal en interdisant avant la lettre l'utilisation de CFC à ses industriels. Quant à Carrión-Flores & Innes (2010), en prenant les émissions de polluant comme mesure de la sévérité des politiques environnementales et le dénombrement de brevets environnementaux, ils démontrent que les écoinnovations

sont un facteur clé de la réduction des émissions toxiques aux États-Unis. Quant à la chimie verte, l'activité de brevetage s'est fortement accrue dans les années 1980 et 1990 suite aux révisions substantielles des lois américaines environnementales, et a diminué quand l'attention des gouvernements et du public a baissé aux US et en Europe (Nameroff *et al.*, 2004 ; Costantini & Mazzanti, 2012). Cela confirme les travaux de Lanjouw & Mody (1996) pour qui l'intérêt croissant pour les enjeux écologiques qu'ont connu les États-Unis dans les années 1970 et 1980 ont entraîné l'apparition d'écoinnovations. Cette traduction législative des préoccupations écologiques des citoyens américains a également eu une influence indirecte sur le dépôt de brevets par les entreprises automobiles exportatrices allemandes et japonaises. Notre propre analyse suggère que la directive européenne RoHS a fait de même dans le secteur des TIC (voir section 3.3).

Il existe aussi un important débat sur le type d'instrument à privilégier, sans consensus sur la question des plus efficaces d'entre eux. Par exemple, Costantini & Mazzanti (2012) montrent que la taxation énergétique est un facteur significatif de la compétitivité à l'export d'un pays. Taylor *et al.* (2005) avancent que la création par la loi de marchés de niche était plus efficace qu'un investissement dans la recherche publique pour soutenir les technologies luttant contre la pollution au SO₂.

Parmi les politiques favorisant la transition d'une trajectoire technologique polluante vers une autre qui l'est moins, le soutien aux niches technologiques attire l'attention de nombreux articles. Il permettrait de montrer que des écoinnovations existent pour sortir d'une situation de blocage ou de dépendance au sentier (Schot & Geels, 2007). Les niches technologiques montrent avec les trajectoires technologiques qu'elles renforcent une voie à suivre pour aller vers un paradigme favorable au développement durable. Elles fournissent un espace au sein duquel une nouvelle technologie est protégée des rudesses de l'environnement de sélection, à la manière d'une cloche enveloppant une pousse trop fragile. En outre, les politiques publiques doivent s'assurer d'une bonne adéquation entre l'environnement sociétal et technologique au risque d'inadaptation et disparition (Verheul & Vergragt, 1995; Schot & Geels, 2008 ; Freeman, 1992). Les actions de sensibilisation sont donc essentielles pour préparer les acteurs à des trajectoires favorables au développement durable (Verheul & Vergragt, 1995) , actions qui peuvent s'intégrer à une stratégie plus globale de management stratégique de niche (*Strategic Niche Development –SNM*, Caniëls & Romijn, 2008)

Il est toutefois possible qu'une politique environnementale visant à débloquent une trajectoire figée dans des modes de production et de consommation polluants soutienne une écoinnovation sous-optimale dont il est ensuite difficile de s'extraire (Faber & Frenken, 2009). L'étude sectorielle sur les panneaux solaires (Étude C) l'illustre bien, une intervention politique trop précoce ayant accouché d'un paradigme technologique pauvre en innovations variées. Pour éviter ces blocages, Van den Heuvel & Van den Bergh (2009) suggèrent de soutenir la production de la plus grande diversité d'écoinnovations possible, tant pour les produits que pour les processus ; tout en soutenant des innovations ayant un impact sur des échelles de temps différentes. Jacobbsen & Bergek (2004) font de même dans le cas du secteur énergétique.

3.2. Analyse des brevets et éco-TIC

Afin d'identifier les dynamiques technologiques dans les technologies pouvant permettre de résoudre le problème des DEEE, nous avons tout d'abord identifié l'activité d'innovation dans le domaine des éco-TIC. Pour cela, nous présentons dans le Tableau 4 les statistiques détaillées par champ technologiques et type de class IPC.

Tableau 4. Brevets et sous-groupes dans plusieurs domaines éco-TIC

Domaine technologique	Nombre de brevets	Nombre de sous-groupes	Sous-groupes « TIC »	Sous-groupes « verts »	Sous-groupes « éco-TIC pures »	Autres sous-groupes
Semiconducteurs	2058	1248	412 33%	31 2.4%	59 4.7%	746 59.9 %
Dispositions pour vérifier les propriétés électriques et pour la localisation des pannes électriques	2849	1085	378 34.8%	26 2.3%	51 4.7%	630 58.2%
Sécurité du commerce en ligne	669	406	195 48.1%	7 1.7%	1 0.2%	203 50%
Dispositions ou instruments pour mesurer des variables magnétiques	705	370	27 7.3%	9 2.4%	17 4.6%	317 85.7%
Technologies de mesure faisant intervenir la résonance magnétique nucléaire	658	160	20 12.5%	4 2.5%	16 10%	120 75%
Dispositifs à l'état solide utilisant des matériaux organiques	470	489	47 9.6%	5 1%	0	437 89.3%
Systèmes de contrôle de la circulation	899	335	130 38.8%	4 1.2%	8 2.4%	193 57.6%
Dispositifs à effet Hall	284	126	70 55.5%	1 0.8%	7 5.5%	48 38.2%
Écrans à cristaux liquides	209	643	11 1.7%	1 0.2%	0	631 98.1%
Commande totale d'usine	75	77	18 23.4%	3 3.9%	0	56 72.7%
Systèmes d'excitation ou de détection utilisant la radiofréquence	360	68	14 20.6%	0	9 13.2%	45 66.2%

Les domaines technologiques ayant le plus grand nombre de brevets sont « Dispositions pour vérifier les propriétés électriques et pour la localisation des pannes électriques », « Semiconducteurs », et « Systèmes de contrôle de la circulation ». Les domaines technologiques qui ont plus de sous-groupes sont « Semiconducteurs », « Dispositions pour vérifier les propriétés électriques et pour la localisation des pannes électriques », « Écrans à cristaux liquides », « Dispositifs à l'état solide utilisant des matériaux organiques ». En particulier, il est intéressant de regarder la distribution des ces domaines technologiques entre les classes « TIC » et « verte ». « Commande totale d'usine », « Technologies de mesure faisant intervenir la résonance magnétique nucléaire », « Semiconducteurs », et « Dispositions ou instruments pour mesurer des variables magnétiques » sont les domaines technologiques qui ont un pourcentage de classe CIB « vert » plus important.

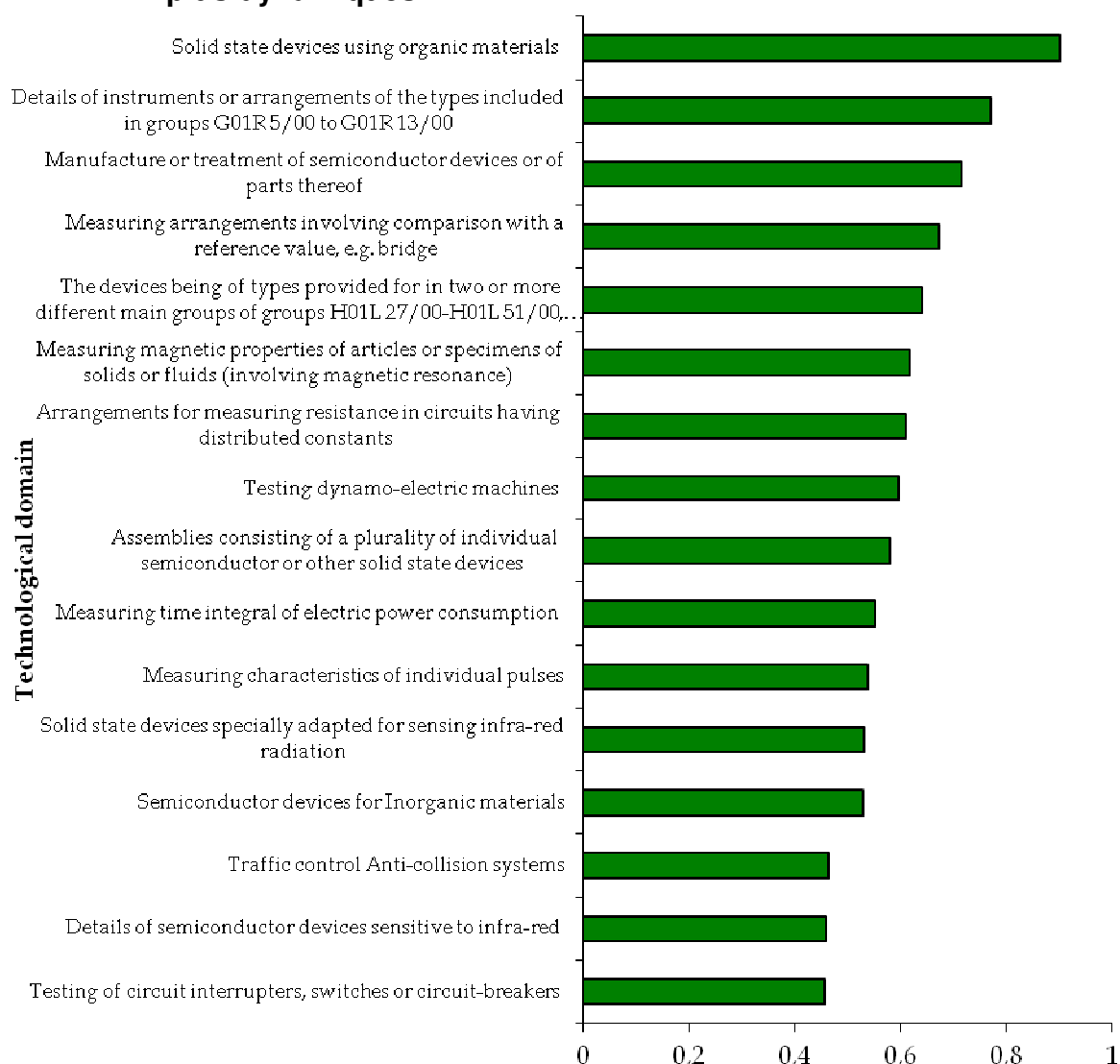
Afin de comprendre les dynamiques technologiques et d'identifier l'émergence de nouvelles technologies « vert + TIC », nous considérons quatre dimensions : taux de croissance des brevets, caractéristiques des activités innovantes par organisation et pays, pénétration technologique et source de connaissance. Successivement, nous avons utilisé la méthode de groupage pour identifier les différentes dynamiques technologiques. Nous allons ensuite présenter les variables utilisées pour mesurer les activités innovantes des différents domaines technologiques.

a. Les variables

Croissance des brevets ; Évolution des brevets

Pour comprendre l'évolution des brevets éco-TIC, nous avons défini P_{it} comme le nombre de brevets dans le domaine technologique i en temps t , et donc nous avons calculé le taux de croissance des brevets $GROWTH_i$ de l'activité innovante de 1987 à 2006. La moyenne du taux de croissance est de 34% par an, avec un pic de croissance à 275 brevets en 2005. La Figure 5 montre la moyenne de la croissance annuelle des brevets pour les différents domaines technologiques. Les trois domaines technologiques avec la plus haute moyenne de croissance annuelle sont « Dispositifs à l'état solide utilisant des matériaux organiques », « Dispositions ou instruments pour mesurer des variables magnétiques », et « Fabrication ou traitement de dispositifs semiconducteurs ».

Figure 6. Moyenne de la croissance annuelle des domaines technologiques les plus dynamiques



Qui sont les entreprises et centres de recherche plus innovantes dans les éco-TIC ?

Pour identifier les caractéristiques des entreprises et centres de recherche innovants, nous analysons la concentration de l'activité d'innovation entre les différentes organisations et le taux d'entrée de nouvelles organisations. Les Tableaux 5 et 6 respectivement montrent les 20 organisations les plus innovantes (ainsi que leur domaine technologique) et les trois organisations les plus innovantes dans les 11 plus grands domaines technologiques. Il apparaît que les entreprises les plus innovantes sont les entreprises « TIC ». Cela suggère que les entreprises TIC diversifient leur activité innovante vers des technologies vertes (voir Tableau 5).

Tableau 5. Les 20 entreprises les plus innovantes dans les éco-TIC

<i>Organisation</i>	<i>Nombre de brevets</i>
ELECTROWATT TECHNOLOGY INNOVATION	857
IBM	694
HEARTSTREAM	341
HEWLETT-PACKARD	339
BUDERUS HEIZTECHNIK	323
KONINKLIJKE PHILIPS ELECTRONICS	272
ADVANCED CERAMICS	271
CANDESCENT TECHNOLOGIES	250
NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE	237
FUJIKIN	211
FUJI ELECTRIC	208
TEKTRONIX	191
AT & T	190
MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL	189
FUJITSU	188
CENTRAL JAPAN RAILWAY	169
AGILENT TECHNOLOGIES	163
ADVANCED MICRO DEVICES	143
ERICSSON	139
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE CNRS	123
DENSO	120
EASTMAN KODAK	103
STMICROELECTRONICS	98
MOTOROLA	97
CELANESE	96
ELECTROGLAS	96
HAMAMATSU PHOTONICS	87
DAIMLER-BENZ	86
PICKER INTERNATIONAL	81
MINNESOTA MINING AND MANUFACTURING	79
THALES	72
MANNESMANN	71
ASEA BROWN BOVERI	71
AESOP	68
3M INNOVATIVE PROPERTIES	67
SHIN-ETSU HANDOTAI	66
ADVANTEST	66
FLUKE	66
HUGHES AIRCRAFT	65

Tableau 6. Les trois entreprises les plus innovantes par domaine technologique

Domaine technologiques	Nombre d'organisations	Les 3 organisations les plus innovantes	Nombre de brevets
Semiconducteurs	537	CANDESCENT TECHNOLOGIES NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE IBM	120 112 105
Dispositions pour vérifier les propriétés électriques et pour la localisation des pannes électriques	785	IBM ELECTROWATT TECHNOLOGY INNOVATION HEWLETT-PACKARD	122 160 128
Sécurité du commerce en ligne	315	IBM FUJITSU FRANCE TELECOM	36 28 22
Dispositions ou instruments pour mesurer des variables magnétiques	191	ADVANCED CERAMICS HEARTSTREAM ELECTROWATT TECHNOLOGY INNOVATION	103 38 36
Technologies de mesure faisant intervenir la résonance magnétique nucléaire	166	ADVANCED CERAMICS HEARTSTREAM KONINKLIJKE PHILIPS ELECTRONICS	68 64 42
Dispositifs à l'état solide utilisant des matériaux organiques	141	EASTMAN KODAK CAMBRIDGE DISPLAY TECHNOLOGY 3M INNOVATIVE PROPERTIES	52 35 33
Systèmes de contrôle de la circulation	253	BUDERUS HEIZTECHNIK ELECTROWATT TECHNOLOGY INNOVATION AISIN AW	109 71 51
Dispositifs à effet Hall	101	IBM BUDERUS HEIZTECHNIK CNRS	44 14 12
Écrans à cristaux liquides	39	CELANESE CHISSO F. HOFFMANN-LA ROCHE	63 36 14
Commande totale d'usine	59	IBM ELECTROWATT TECHNOLOGY INNOVATION DENSO	5 4 4
Systèmes d'excitation ou de détection utilisant la radiofréquence	102	HEARTSTREAM KONINKLIJKE PHILIPS ELECTRONICS ADVANCED CERAMICS	42 32 27

En ce qui concerne l'activité d'innovation des organisations, nous considérons O_i le nombre total d'organisations, P_i le nombre total de brevets par domaine technologique, i et P_{io} est le nombre total de brevets dans le domaine i par organisation o ($P_i = \sum_o P_{io}$, $o=1, \dots, O_i$). Donc, $s_{io} = P_{io}/P_i$ est la part de brevets de l'organisation dans le domaine technologique i . Pour analyser la concentration de l'activité d'innovation au niveau des organisations, nous avons calculé l'indice de Herfindahl : $H_{ORGi} = \sum_o s_{io}^2$. Ici, dont nous utilisons la version corrigée (Hall, 2000) qui contrôle les biais associés aux petits

échantillons. En ce qui concerne le taux d'entrée de nouvelles organisations, nous avons calculé la part d'organisations qui brevètent pour la première fois dans le domaine technologique i (NewOi) par rapport au nombre total de firmes qui brevètent :

$$\text{ENTRY}_i = \text{NewOi}/\text{Oi}$$

La distribution géographique des activités innovantes dans les éco-TIC

En considérant l'impact important des éco-TIC dans le monde il est important de regarder la distribution géographique des activités d'innovation. Pour cela, nous avons identifié les pays qui innovent le plus dans les différents domaines, les pays qui innovent le moins, ainsi que la concentration de l'activité d'innovation entre les pays.

Les Tableaux 7 et 8 respectivement montrent les trois pays plus innovants par domaine technologique et par pays. L'activité d'innovation par pays montre que les États-Unis, le Japon et l'Allemagne sont les pays les plus innovants dans les éco-TIC, tout particulièrement dans les domaines des « Semiconducteurs », « Dispositions pour vérifier les propriétés électriques et pour la localisation des pannes électriques », « Dispositifs à l'état solide utilisant des matériaux organiques », et « Systèmes de contrôle de la circulation ».

Tableau 7. Les trois pays les plus innovants par domaine

Domaine technologique	Nombre de brevets	Pays
Semiconducteurs	716 704 177	US JAPAN GERMANY
Dispositions pour vérifier les propriétés électriques et pour la localisation des pannes électriques	1151 472 329	US JAPAN GERMANY
Sécurité du commerce en ligne	329 220 130	US JAPAN FRANCE
Dispositions ou instruments pour mesurer des variables magnétiques	345 89 66	US UNITED KINGDOM JAPAN
Technologies de mesure faisant intervenir la résonance magnétique nucléaire	329 81 62	US UNITED KINGDOM SWITZERLAND
Dispositifs à l'état solide utilisant des matériaux organiques	170 109 74	US JAPAN GERMANY
Systèmes de contrôle de la circulation	295 252 115	JAPAN GERMANY US
Dispositifs à effet Hall	92 50 44	US JAPAN GERMANY
Écrans à cristaux liquides	89 36 24	GERMANY HUNGARY UNITED KINGDOM
Commande totale d'usine	25 17 13	JAPAN GERMANY US
Systèmes d'excitation ou de détection utilisant la radiofréquence	173 53 48	US UNITED KINGDOM SWITZERLAND

Tableau 8. Pays émergents dans les éco-TIC par domaine

Domaine technologique	Dernier innovateur	Année du 1 ^{er} brevet
Semiconducteurs	CHINA	1998
Dispositions pour vérifier les propriétés électriques et pour la localisation des pannes électriques	IRELAND	2001
Sécurité du commerce en ligne	IRELAND	2001
Dispositions ou instruments pour mesurer des variables magnétiques	UNITED KINGDOM	1995
Technologies de mesure faisant intervenir la résonance magnétique nucléaire	UNITED KINGDOM	1995
Dispositifs à l'état solide utilisant des matériaux organiques	SINGAPORE	1991
Systèmes de contrôle de la circulation	IRELAND	2001
Écrans à cristaux liquides	POLAND	1990
Commande totale d'usine	FINLAND	1988
Systèmes d'excitation ou de détection utilisant la radiofréquence	INDIA	2003

b. Les groupes de domaines éco-TIC

L'analyse typologique²⁵ permet d'identifier les caractéristiques des processus d'innovation dans le domaine complexe des éco-TIC. Elle nous conduit à distinguer trois groupes de domaines technologiques (voir l'Annexe 4). Le Tableau 9 illustre les valeurs moyennes des variables analysées pour les 3 groupes.

Tableau 9. Caractéristiques des processus d'innovation dans les éco-TIC

Variables	CLUSTER 1 (25 domaines) GREEN	CLUSTER 2 (11 domaines) EMERGING	CLUSTER 3 (29 domaines) ESTABLISHED
Nombre de brevets	172.32	128.09	368.14
Nombre de sous-groupes	236.60	207	731.04
Part « TIC »	.503	.522	.508
Part « vert »	.497	.478	.493
GROWTH _i *	.372	.649	.212
ENTRY _i *	.030	.023	.044
H _{ORGI} *	.022	.020	.036
H _{COUNTRYi} *	.190	.206	.210
H _{TECHi}	.040	.053	.034
SELFKNOW _i *	.062	.074	.080
PUBKNOW _i *	.001	.009	.004
H _{CITTECH} *	.017	.013	.024

* Statistiquement significatif.

²⁵ Voir méthodologie dans l'article en anglais : http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2117831.

Groupe 1 – Domaines verts : caractérisés par une part relativement plus élevée de sous-groupes « vert » et par une part plus basse de sous-groupes « TIC ». La concentration pays est faible (l'activité innovante est dispersée entre les différents acteurs) ainsi que la part de connaissances venant des universités et des centres de recherche publics. Le secteur privé joue donc un rôle important dans la définition de la trajectoire technologique. Les domaines technologiques appartenant à ce groupe sont par exemple : « Dispositifs à effet Hall », « Systèmes de contrôle de la circulation », ou « Stockage d'énergie électrique ». Les entreprises les plus innovantes du groupe sont Tektronix, Hamamatsu Photonics, et Electrowatt Technology Innovation.

Groupe 2 – Domaines émergents : comprend les champs technologiques connaissant une forte croissance d'activités innovantes avec une forte proportion de sous-groupes « TIC » en comparaison aux sous-groupes « vert ». Ces activités ont un faible niveau de concentration industrielle et un faible taux d'entrée de nouveaux innovateurs. Les sources de connaissances sont variées et venant principalement des universités et centres de recherche publics. Les domaines technologiques sont par exemple « Dispositifs à l'état solide utilisant des matériaux organiques » et « Technologies pour mesurer l'électricité et les variables magnétiques ». Les entreprises les plus innovantes du groupe sont Cambridge Display Technology, Eastman Kodak, et Electrowatt Technology Innovation. Ces domaines sont une source d'innovation très importante pour les éco-TIC. L'innovation reste concentrée dans quelques sous-groupes, la plupart appartenant au domaines des TIC, et sont dispersées entre de nombreux acteurs. En outre, bien que ce domaine connaisse une forte croissance, l'innovation attribuable aux nouveaux entrants est faible. Cela pourrait suggérer que l'innovation a été réalisée par l'acquisition de nouvelles compétences en dehors du domaine par des firmes bien en place. Cela souligne qu'il y a de nombreuses opportunités dans le secteur des éco-TIC.

Groupe 3 – Domaines établis : leur taux d'innovation est plus faible, il y a beaucoup de nouveaux innovateurs, et la concentration de l'innovation entre pays et acteurs est forte. Aucun des sous-groupe « vert » ou « TIC » ne prévaut, et la diversité des sources de connaissance est faible à travers ces derniers. On trouve les domaines suivants : « Semiconducteurs », « Sécurité du commerce en ligne », « Dispositions ou instruments pour mesurer des variables magnétiques », « Technologies de mesure faisant intervenir la résonance magnétique nucléaire ». Les entreprises les plus innovantes sont Electrowatt Technology Innovation, Minnesota Mining & Manufacturing, et ABB. Le degré

de pénétration technologique est élevé et il y a en permanence des opportunités pour l'entrée de nouveaux acteurs.

3.3. Analyse des brevets et DEEE

Nous fournissons les résultats de notre analyse des technologies pouvant permettre de résoudre le problème des DEEE en étudiant les brevets déposés dans ce domaine. La principale difficulté de l'exercice réside dans le fait qu'il n'existe aucun code spécifique de brevet pour celui-ci : il nous a donc fallu le constituer par nous-mêmes. Nous avons ensuite mené deux analyses complémentaires.

3.3.1. Analyse des brevets et DEEE

La première analyse de réseau que nous avons menée afin d'identifier les principaux domaines technologiques de notre ensemble de brevets a fait apparaître les champs technologiques suivants dans les brevets DEEE :

- Chromatographie ;
- Traitement de l'eau (séparation de substances dangereuses) et analyse des matériaux pour déterminer leurs propriétés chimiques et physiques ;
- Séparation des solides de solides ;
- Mécanismes d'impression sélective, imprimantes et machines à écrire ;
- Composition chimique des verres ;
- Systèmes d'injection électronique ;
- Magnétographie.

Il convient de souligner que ces technologies ne sont pas nécessairement développées à l'attention des DEEE, mais sont plutôt des retombées technologiques d'autres technologies (*knowledge spillovers*). Finalement, nous avons identifié un trop grand nombre de champs technologiques, ce qui rendait l'analyse impossible. Il nous fallait restreindre notre ensemble de brevets DEEE : c'est pourquoi nous nous sommes focalisés sur la phase de recyclage.

Le premier résultat de l'analyse des « brevets DEEE »²⁶, i.e. ceux qui contribuent à résoudre le problème des e-déchets, réside dans l'identification du domaine technologique de l'hydrométallurgie comme étant un domaine central dans l'ensemble des brevets DEEE. Il est donc le domaine le plus intense en technologie, et comprend par exemple des technologies permettant de recycler différents types de matériaux, notamment ceux qui ont une valeur économique élevée comme le cuivre, l'or, l'argent etc. Nous avons porté nos efforts sur ces dernières.

Deux méthodes ont été utilisées pour constituer notre ensemble de brevets DEEE : une analyse des codes CIB, puis la recherche de mots clés dans le texte des brevets.

Méthode n°1 : Analyse des codes CIB

Sur la base de l'inventaire vert de l'OMPI nous avons identifié les classes CIB suivantes qui correspondent à des technologies permettant d'extraire des métaux d'un stock de déchets (C22B 7/00 to C22B 7/04, C22B 19/30, C22B 25/06). Nous avons ensuite élargi cette liste à d'autres groupes de la sous-classe C22B à d'autres classes qui concernent aussi le recyclage et traitement des déchets contenant des métaux en fin de vie (C22B 1, C22B 3, C22B 4, C22B 5, C22B 7, C22B 9, C22B 11, C22B 15, C22B 19, C22B 21). Nous avons alors sélectionné tous les brevets utilisant ces classes là dans l'inventaire vert (brevets de l'US-PTO accordés entre 1980 et 2005), et avons obtenu un échantillon de 5573 « brevets DEEE » déposés par 2770 institutions.

Méthode n°2 : Analyse des mots clés

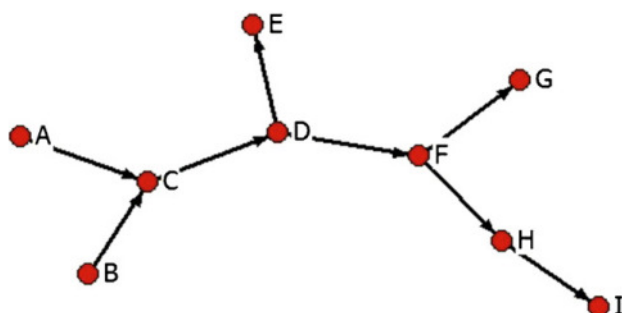
Cette seconde méthode consiste à faire une recherche dans les textes des brevets en utilisant une liste prédéfinie de mots clés, qui nous doit nous permettre d'identifier les brevets DEEE. La liste des mots clés est présentée dans l'Annexe 6.

Parmi les informations contenues dans un brevet on trouve les numéros d'autres brevets cités dans ce dernier, ce qui permet de mener une analyse des citations de brevets et d'établir une véritable cartographie des liens entre ceux-ci. Ces citations sont tout d'abord obligatoires d'un point de vue légal (il faut reconnaître la paternité des connaissances antérieures mobilisées). Mais elles permettent aussi d'identifier d'où viennent les connaissances utilisées pour constituer un brevet donné. Un seul brevet peut avoir

²⁶ La méthodologie utilisée ici est introduite dans la section 2 de ce rapport et expliquée plus en détail dans l'Annexe 5 ainsi que dans le KIND WP n°2012/01 (en anglais).

différentes sources de connaissance, différentes citations, autant d'informations qui nous permettent de cartographier les trajectoires technologiques (Verspagen, 2007; Fontana et al., 2009; Martinelli, 2012). La Figure 1 donne l'exemple d'une telle cartographie pour un réseau de citations de brevets comportant neuf brevets et huit citations.

Figure 7. Exemple d'un réseau de citations de brevets (Martinelli, 2012)



Il existe différentes formes de réseaux qui matérialisent des trajectoires différentes et nous éclairent sur la manière par laquelle les connaissances contenues dans un brevet se sont accumulées au fil du temps, d'où elles viennent, qui les a produites, etc. Notre objectif ici est de tracer la carte des connaissances des technologies DEEE utilisées pour recycler les métaux précieux. Mais avant cela nous fournissons une description synthétique de notre ensemble de brevets à l'aide de statistiques descriptives.

Elles montrent e.g. que les États-Unis (*USA*) sont, comme à leur habitude, de gros pourvoyeurs de brevets, et cela quel que soit le champ technologique étudié. Il n'est donc pas surprenant qu'ils se retrouvent là aussi en tête de peloton (voir graphique ci-dessous). La France arrive en 6^e position avec 254 brevets DEEE.

Figure 8. Nombre de brevets DEEE

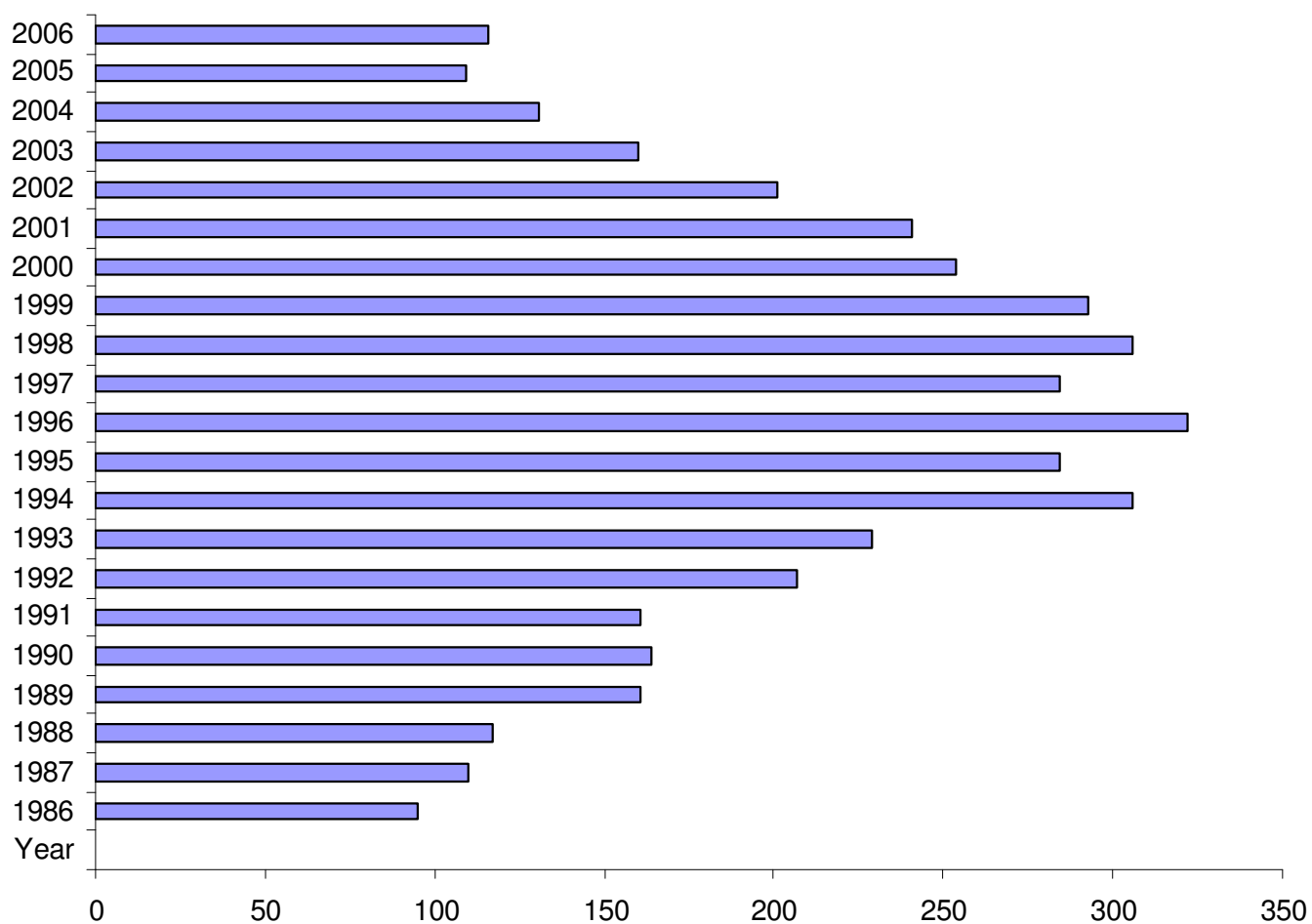
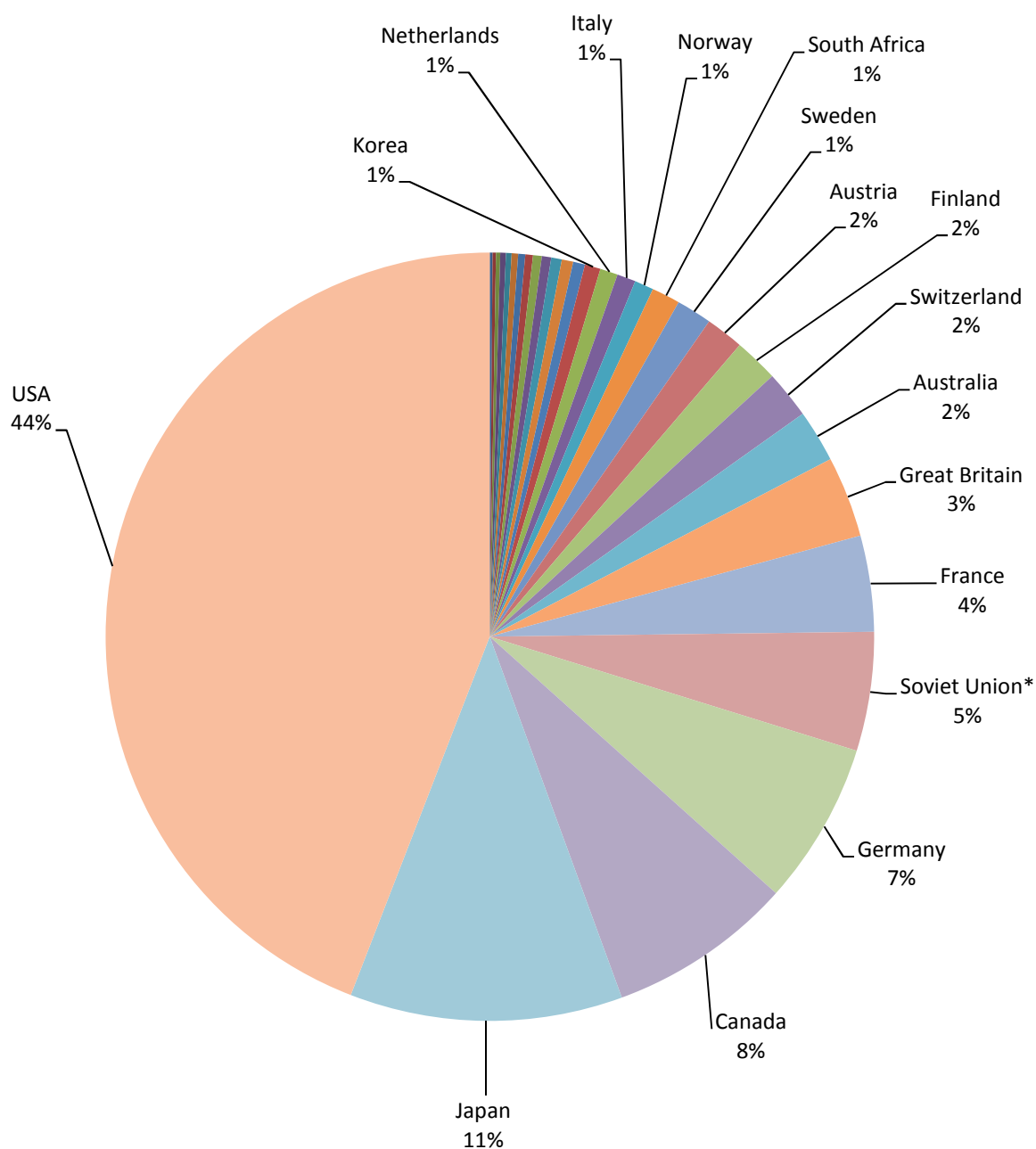


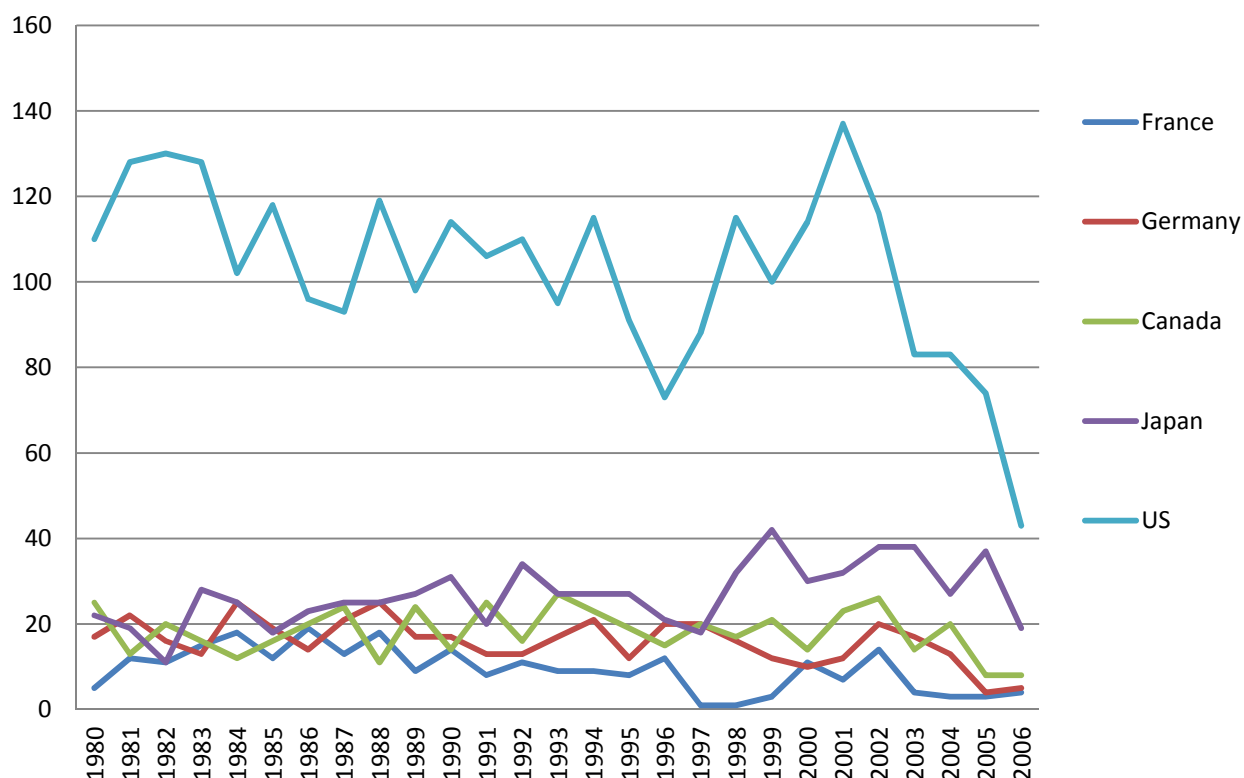
Figure 9. Demandes de brevets DEEE déposées par pays



** Il s'agit bien de l'URSS : après 1988 la Russie ne figure plus dans ce classement...*

Les États-Unis (USA) sont habituellement des gros pourvoyeurs de brevets quel que soit le champ technologique étudié. Il n'est donc pas surprenant qu'ils se retrouvent là aussi en tête de peloton (voir graphique ci-dessous). La France arrive en 6^e position (254 brevets DEEE).

Figure 10. Nombre de brevets DEEE annuels par pays



Nous analysons ci-dessous plus en détail le cas de la France, afin de mettre en relief l'avantage comparatif de notre pays dans les technologies permettant de résoudre le problème des DEEE. Nous appellerons « brevets DEEE » ceux qui contribuent à cet objectif.

Le tableau suivant montre les entreprises françaises ayant déposé ces brevets :

Tableau 10. Principales entreprises françaises détentrices de brevets DEEE

Nom	Nombre de brevets	%
ALUMINIUM PECHINEY	32	12,90
RHONE-POULENC CHIMIE	27	10,89
COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE	26	10,48
L'AIR LIQUIDE - SOCIETE ANONYME	12	4,84
COMPAGNIE GENERALE DES MATIERES NUCLEAIRES	8	3,23
COMPAGNIE EUROPEENNE DE DEZINGAGE	6	2,42
SOCIETE MINIERE ET METALLURGIQUE DE PENARROYA	6	2,42
SOCIETE NATIONALE ELF AQUITAINE	6	2,42
METALEUROP	5	2,02
SOCIETE NATIONALE DES POUDRES ET EXPLOSIFS	5	2,02

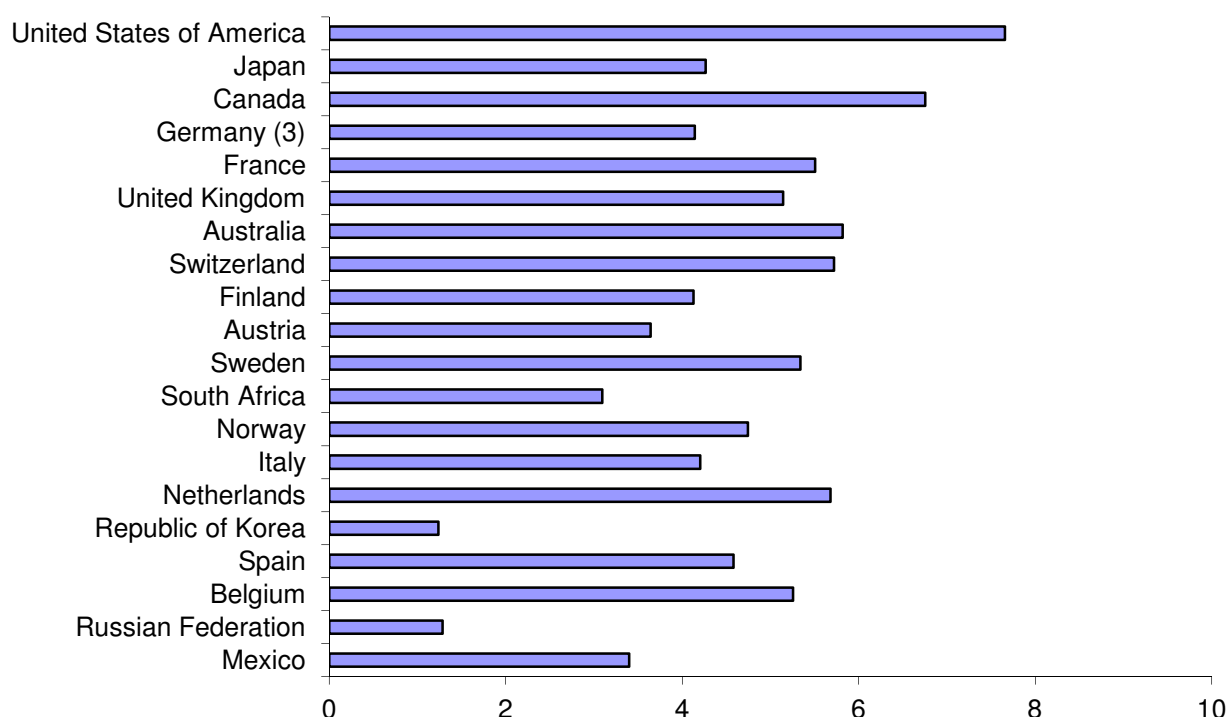
Le tableau suivant montre que le premier innovateur français en matière de brevets DEEE arrive en 22^e position mondiale, et qu'il s'agit d'une organisation publique de recherche.

Tableau 11. Les plus grands détenteurs de brevets DEEE dans le monde

#	NOM	PAYS	NOMBRE DE BREVETS
1	ALUMINUM COMPANY OF AMERICA	US	77
2	OUTOKUMPU	Finland	68
3	GENERAL ELECTRIC COMPANY	US	51
4	ALCAN INTERNATIONAL	Canada	50
5	WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION	US	43
6	HENKEL	US	39
7	GTE PRODUCTS CORPORATION	US	38
8	AMAX	US	37
9	INCO	US	34
10	METALLGESELLSCHAFT	Germany	33
11	SUMITOMO METAL MINING COMPANY	Japan	32
12	THE UNITED STATES OF AMERICA AS REPRESENTED	US	30
13	THE UNITED STATES OF AMERICA AS REPRESENTED	US	30
14	UNION CARBIDE CORPORATION	US	30
15	SWISS ALUMINIUM	Switzerland	30
16	E.I. DU PONT DE NEMOURS & COMPANY	US	28
17	ECKERT; C. EDWARD	US	28
18	SHERRITT GORDON MINES	Canada	28
19	VOEST-ALPINE INDUSTRIEANLAGENBAU	Austria	28
20	GEOBIOTICS	US	27
21	KLOECKNER-HUMBOLDT-DEUTZ	US	26
22	COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE	France	25
23	IMPERIAL CHEMICAL INDUSTRIES	Great Britain	25
24	VOEST-ALPINE	Austria	24
25	BOLIDEN	Sweden	23
26	HOECHST	Germany	23
27	CABOT CORPORATION	US	22
28	REYNOLDS METALS COMPANY	US	22
29	NORANDA	Canada	22
30	EASTMAN KODAK COMPANY	US	21
31	OLIN CORPORATION	US	21
32	KAWASAKI STEEL CORPORATION	Japan	21
33	MITSUBISHI MATERIALS CORPORATION	Japan	21
34	H.C. STARCK	US	19
35	SOUTHWIRE COMPANY	US	18
36	DOWA MINING COMPANY	Japan	18
37	HOLDERBANK FINANCIERE GLARUS	Switzerland	18
38	KOBE SEIKOSHO	Japan	18
39	RHONE-POULENC CHIMIE	France	18
40	BETHLEHEM STEEL COMPANY	US	17
41	NIPPON STEEL CORPORATION	Japan	17
42	COMINCO ENGINEERING SERVICES	Canada	16
43	ALCOA	US	16
44	ASARCO	US	16
45	CHEVRON RESEARCH COMPANY	US	16
46	IDAHO RESEARCH FOUNDATION	US	16
47	SKF STEEL ENGINEERING	Sweden	16
48	PRAXAIR TECHNOLOGY	US	15

Le tableau suivant montre le nombre de fois que chaque brevet DEEE détenu par un pays donné est cité par d'autres brevets. Un nombre élevé de citations indique qu'un brevet protège des connaissances très importantes dans un domaine technologique donné, et constitue une mesure de la qualité d'un brevet. Pour les brevets DEEE ce sont ceux détenus par les USA et le Canada qui sont les plus souvent cités.

Tableau 12. Nombre de citations reçues par brevet DEEE



La figure de l'Annexe 7 montre que les principaux domaines technologiques permettant de résoudre le problème des DEEE sont les suivants (entre parenthèses le nombre de brevets par domaine) :

- C22B 3/00 : Extraction de composés métalliques par voie humide à partir de minerais ou de concentrés (1795) ;
- C22B 21/06 : Obtention de l'aluminium par affinage (1256) ;
- C22B 5/02 : Procédés généraux de réduction appliqués aux métaux par voie sèche (616) ;
- C22B 1/14 : Traitement préliminaire de minerais ou de débris ou déchets métalliques par agglomération, briquetage, agglutination, granulation (389) ;
- C22B 9/00 : Procédés généraux d'affinage ou de refusion des métaux (378).

Enfin, la figure suivante montre un résultat riche d'enseignements quant au rôle des politiques publiques de recherche en France : les centres de recherche publics (« GOV NON-PROFIT») ont un impact beaucoup plus important en termes de dépôt de demandes de brevet que dans d'autres pays.

Figure 11. Origine des déposants des demandes de brevets

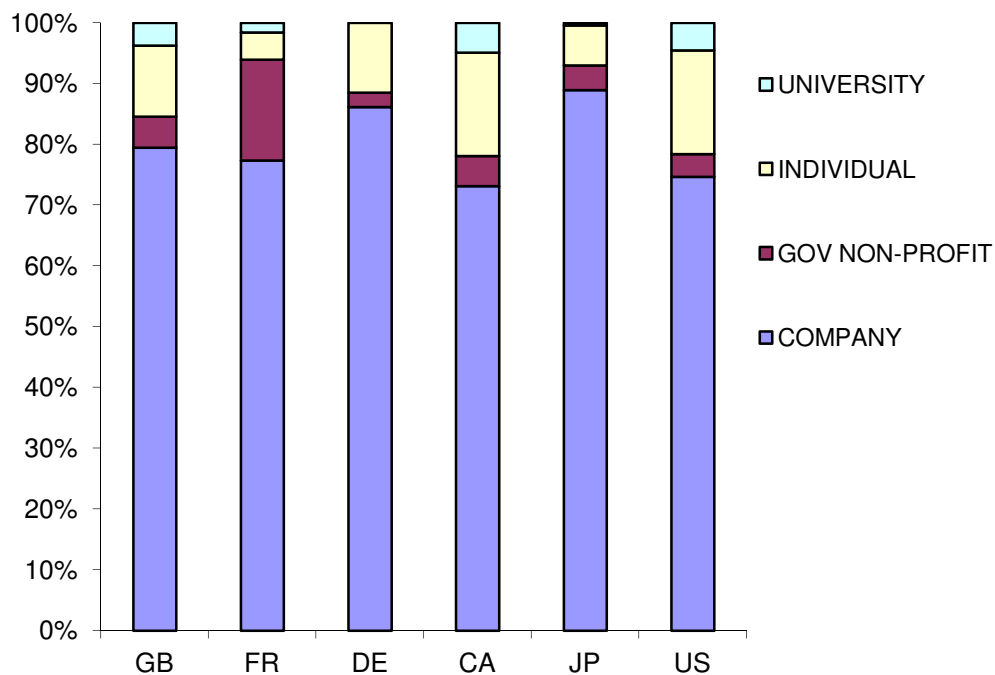
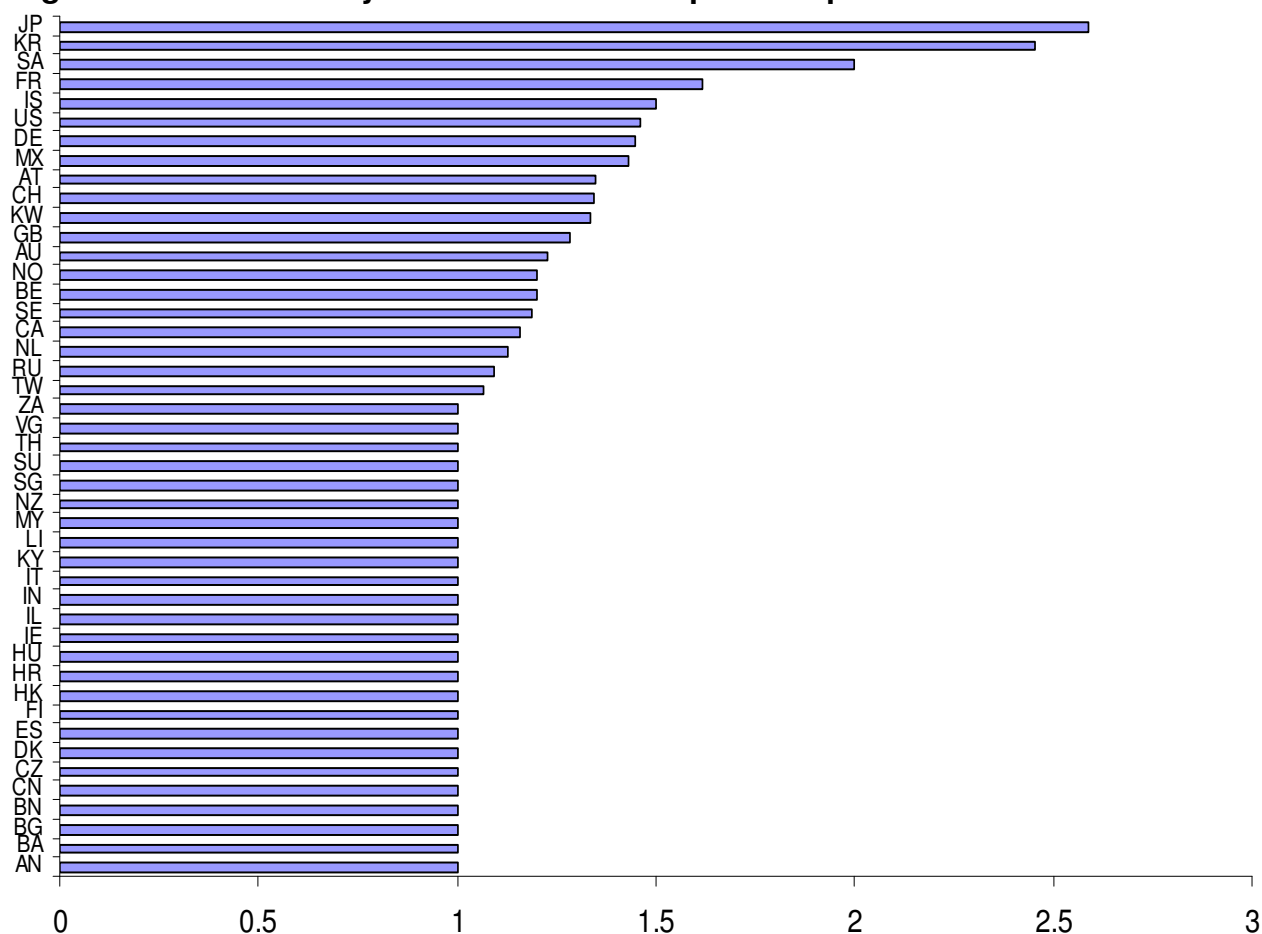


Figure 12. Nombre moyen de brevets DEEE par entreprise



En termes de spécialisation, les entreprises japonaises sont très concentrées (i.e. peu de firmes en comparaison au grand nombre de brevets), et les États-Unis semblent avoir un haut de gré de spécialisation tout comme la France.

L'analyse de réseau que nous avons menée afin d'identifier les principaux domaines technologiques de notre ensemble de brevets a fait apparaître les champs technologiques suivants dans les brevets DEEE :

- Chromatographie,
- Traitement de l'eau (séparation de substances dangereuses) et analyse des matériaux pour déterminer leurs propriétés chimiques et physiques,
- Séparation des solides de solides,
- Mécanismes d'impression sélective, imprimantes et machines à écrire,
- Composition chimique des verres,
- Systèmes d'injection électronique,
- Magnétographie.

Il convient de souligner que ces technologies ne sont pas nécessairement développées à l'attention des DEEE, mais sont plutôt des retombées technologiques d'autres technologies (*knowledge spillovers*).

Comme nous l'avons indiqué dans notre méthodologie, l'analyse de réseau fournit une photographie de l'état des connaissances utilisées dans un domaine technologique donné et des liens entre les champs de connaissance mobilisés (les classes de codes CIB). C'est donc une analyse statique qui ne donne pas une vision de la dynamique de l'évolution de ces connaissances. Or toute découverte scientifique ou technologique, donc tout brevet, s'appuie sur un savoir élaboré ex ante. Or il existe d'autres types d'analyses que l'on peut réaliser sur les données de brevets afin de retracer la trajectoire empruntée par les connaissances intégrée dans un brevet. Cela permet non seulement de comprendre les dynamiques d'innovation d'un domaine technologique donné. C'est ce que nous avons fait dans le *KIND Working Paper* n°2012/01 joint en Annexe 8. Il est résumé en français dans la section suivante.

3.3.2. Analyse n°2

Enfin, comme dans le cas des brevets d'éco-TIC expliqué précédemment, nous avons réalisé une analyse de réseau afin de mettre en évidence les liens entre les différents champs de connaissance utilisés (voir Annexe 7).

Afin d'identifier les principaux composants des technologies de recyclage, nous commençons par une analyse de réseau. Dans la figure de l'Annexe 7, chaque point représente une classe CIB, et chaque lien entre deux points un ensemble de brevets, qui sont liés car ils partagent (au-moins) les deux classes reliées par le trait. Cinq grappes de classes apparaissent :

- C22B 3/00 : Extraction de composés métalliques par voie humide à partir de minerais ou de concentrés (1795) ;
- C22B 21/06 : Obtention de l'aluminium par affinage (1256) ;
- C22B 5/02 : Procédés généraux de réduction appliqués aux métaux par voie sèche (616) ;
- C22B 1/14 : Traitement préliminaire de minerais ou de débris ou déchets métalliques par agglomération, briquetage, agglutination, granulation (389) ;
- C22B 9/00 : Procédés généraux d'affinage ou de refusion des métaux (378).

La figure ci-dessous montre l'évolution des brevets accordés au fil du temps. En prenant les brevets DEEE associés à l'hydrométallurgie et les brevets de l'inventaire verts on trouve 463 brevets verts, dont les deux suivants qui sont essentiels (Cui and Zhang, 2008) :

- Day, F.G.: "Recovery of platinum group metals, gold and silver from scrap", US patent n°4427442, accordé en 1984.
- Feldman, A.V.: "Method for hydrometallurgical processing of friable concentration products", US Patent n°5190578 (C22B 11/08), accordé en 1993.

Figure 13. Évolution des brevets d'hydrométallurgie et nombre de brevets verts dans ce domaine

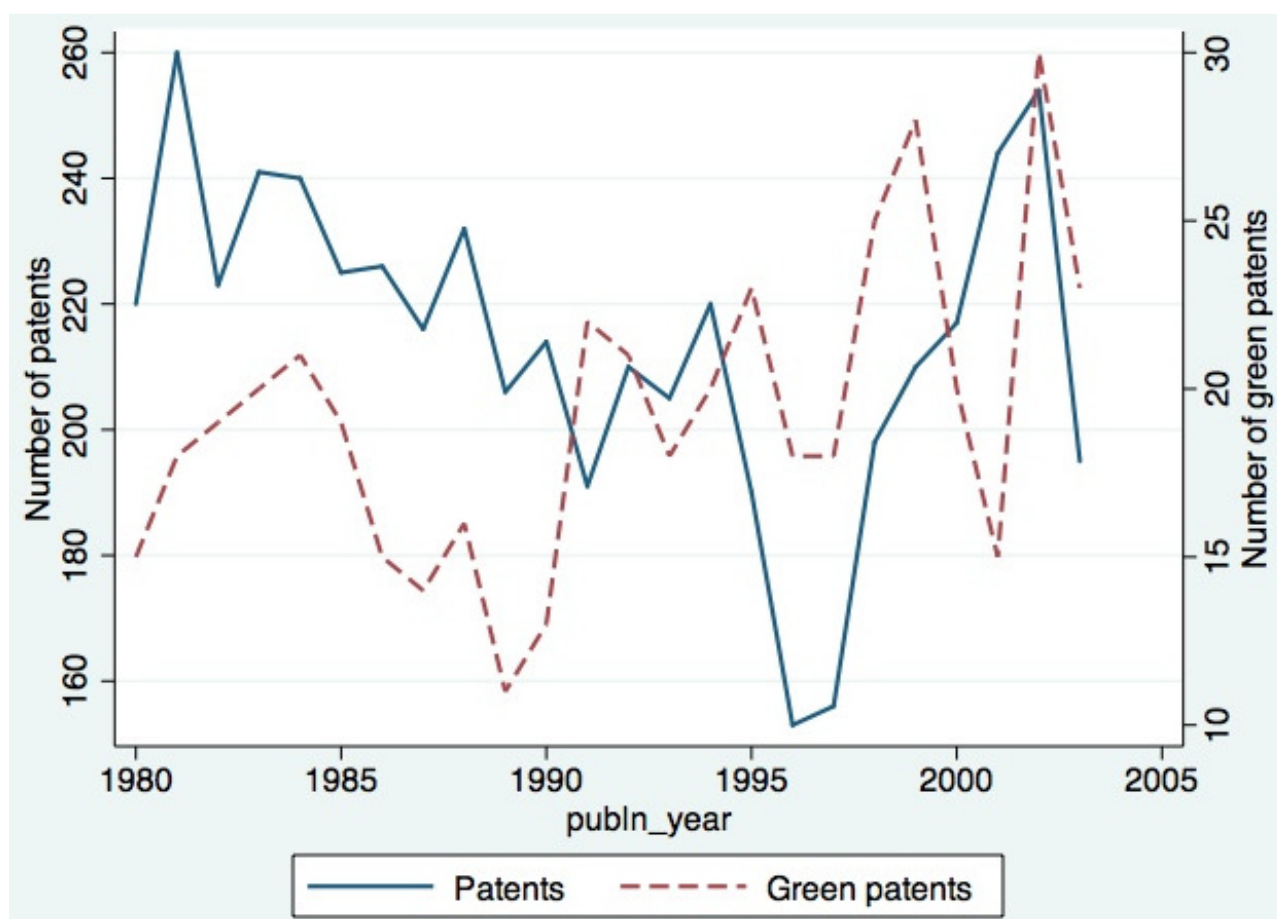
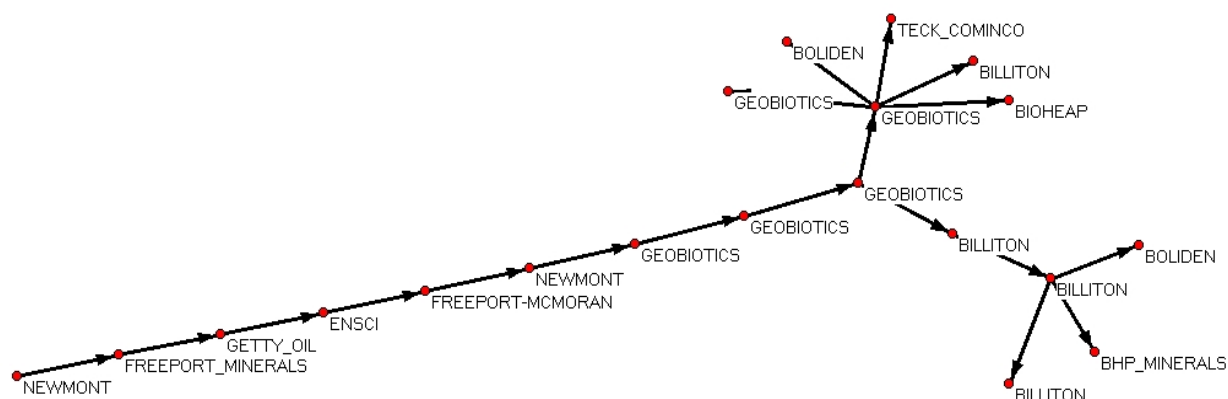


Figure 14. Trajectoire technologique par entreprise dans le cas des innovations hydrométallurgiques utilisées pour résoudre le problème des DEEE



Dans cette figure, les points sont des brevets, et les noms désignent les entreprises qui ont pris ces brevets. La trajectoire identifie les plus importants d'entre eux dans le passé, et qui sont présents dans les technologies de recyclage aujourd'hui.

Parmi les trois types de technologies DEEE identifiées (pyroméallurgie, hydroméallurgie, électroméallurgie), l'hydroméallurgie est la plus intense en technologies et donc celle pour laquelle nous allons trouver le plus grand nombre de brevets (StEP, 2009). La trajectoire montre qu'une entreprise du secteur des biotechnologies domine le passé récent (GeoBiotics). En début de trajectoire nous avons en revanche une entreprise minière (Newmont), ce qui souligne que les technologies DEEE sont devenues beaucoup plus complexes. Cela suggère qu'un pays voulant traiter ses DEEE localement devra acquérir ces technologies (et donc creuser sa balance commerciale) ou bien envoyer ses déchets à l'étranger.

3.3.3. Recommandations en termes de politiques publiques

Dans la proposition initiale d'ECOPATENTS nous avons proposé en sus de l'analyse quantitative par les brevets une analyse qualitative qui n'a finalement pas été retenue dans la convention finale par l'ADEME. Nous avons notamment prévu d'étudier le rôle des politiques publiques en tant que facteur d'innovation pour les firmes les plus innovantes identifiées à l'étape quantitative. Cette partie du projet n'ayant pas été financée nous ne l'avons pas réalisée.

Toutefois, étant donné que notre analyse quantitative nous a permis de mieux comprendre les dynamiques d'innovation des éco-TIC et des écotechnologies DEEE, ces résultats peuvent éclairer les choix publics. Dans ce cas précis, notre travail montre que si les technologies ne peuvent pas tout, leur contribution est intéressante au niveau des phases de traitement des DEEE les plus intensives en technologies, ce qui est moins vrai pour les phases plus intensives en main d'œuvre comme celle de la collecte des DEEE.

Après avoir mis en relief dans la partie éco-TIC que les LED et les innovations favorisant les économies d'énergie sont centrales dans le secteur des éco-TIC, la prolongation de ces travaux sur les « brevets DEEE » met en avant les champs technologiques jouant un rôle dans ce pool de technologies (notamment l'hydrométallurgie) et quels pays ont le plus déposé de brevets dans ce groupe (USA, Japon, Canada, Allemagne, URSS, France), la France étant en 6^e position.

Toutes les phases du cycle de vie et tous les acteurs participent à la résolution du problème des DEEE (consommateurs, producteurs, pouvoirs publics, ...). Cependant, comme souligné dans notre revue de la littérature sur les écoinnovations, dans ce domaine le rôle des politiques publiques est prépondérant. Nous ne pouvions donc pas conclure nos travaux sans explorer le rôle des principaux textes juridiques touchant les DEEE, à savoir en Europe les directives DEEE et RoHS. Par exemple, en interdisant l'usage du plomb dans l'électronique ou des retardateurs de flamme bromés, cette dernière a-t-elle poussé les industriels à innover au point qu'ils aient eu besoin de protéger ces innovations par des brevets ? Nous allons voir qu'en effet de nombreux brevets portent sur les soudures sans plomb par exemple.

Nous avons tenté de regarder l'impact de cette directive en cherchant son acronyme dans tous les résumés des brevets auxquels nous avons accès par notre base de données : c'est là le moyen le plus direct d'en tester l'influence sur l'innovation, même si elle aura des impacts indirects (i.e. que des brevets pourront être déposés pour répondre à cette directive mais sans forcément la mentionner).

Le marché européen est l'un des premiers marchés de produits électroniques, et toutes les entreprises qui y mettent des EEE sur le marché doivent se plier aux normes européennes. Les plus grandes multinationales du secteur (voir tableau ci-dessous) sont concernées, elles qui ont une forte capacité d'innovation et donc de dépôt de brevets.

Tableau 13. Classement des premières entreprises mondiales produisant des semiconducteurs

Rank 2010	Rank 2009	Company	Country of origin	Revenue (million \$ USD)	2010/2009 changes	Market share
1	1	Intel Corporation	USA	40 020	+24.3%	13.2%
2	2	Samsung Electronics	South Korea	28 137	+60.8%	9.3%
3	3	Toshiba Semiconductors	Japan	13 081	+26.8%	4.3%
4	4	Texas Instruments	USA	12 966	+34.1%	4.3%
5	9	Renesas Electronics (1)	Japan	11 840	+129.8%	3.9%
6	7	Hynix	South Korea	10 577	+69.3%	3.5%
7	5	STMicroelectronics	France / Italy	10 290	+20.9%	3.4%
8	13	Micron Technology (2)	USA	8 853	+106.2%	2.9%
9	6	Qualcomm	USA	7 200	+12.3%	2.4%
10	15	Elpida Memory	Japan	6 678	+74.2%	2.3%
11	14	Broadcom	USA	6 506	+52.1%	2.1%
12	8	AMD	USA	6 355	+22.0%	2.1%
13	11	Infineon Technologies	Germany	6 226	+39.7%	2.0%
14	10	Sony	Japan	5 336	+19.4%	1.8%
15	18	Panasonic Corporation	Japan	5 128	+58.1%	1.7%
16	17	Freescale Semiconductor	USA	4 329	+27.2%	1.4%
17	19	NXP	Netherlands	4 021	+24.1%	1.3%
18	23	Marvell Technology Group	USA	3 680	+43.1%	1.2%
19	16	MediaTek	Taiwan	3 595	+1.2%	1.2%
20	20	NVIDIA	USA	3 189	+12.8%	1.0%
Top 20				198 207	40.1%	65.2%
All Other companies				105 799	20.2%	34.8%
TOTAL				304 006	32.5%	100.0%

Source : <http://trade.ec.europa.eu/doclib/html/148053.htm>

Comme le montre le tableau suivant, l'UE est la première région du monde en termes de déficit commercial dans le secteur de l'électronique.

Tableau 14. Commerce mondial de produits électroniques

Total Electronics - World* trade (Average 2007-2009)

Rank	Top global importers			Top global exporters			Top Surplus Balance		Top Deficit Balance		
	Country	Value (millions of euro)	% of World* imports	Country	Value (millions of euro)	% of world* exports	Country	Value (millions of euro)	Country	Value (millions of euro)	
	WORLD*	1 136 387	100,0%	WORLD*	1 025 359	100,0%					
1	CHINA	228 564	20,1%	CHINA	302 350	29,5%	CHINA	73 785	EU27	-84 558	
2	EU27	185 370	16,3%	USA	102 615	10,0%	KOREA REP	40 285	USA	-71 814	
3	USA	174 429	15,3%	EU27	100 811	9,8%	TAIWAN	29 165	HONG KONG	-43 140	
4	HONG KONG	125 041	11,0%	KOREA REP	83 459	8,1%	JAPAN	27 072	CANADA	-15 193	
5	JAPAN	48 867	4,3%	HONG KONG	81 901	8,0%	SINGAPORE	19 916	RUSSIA	-11 408	
6	SINGAPORE	47 405	4,2%	JAPAN	75 938	7,4%	MALAYSIA	7 985	BRAZIL	-9 350	
7	KOREA REP	43 174	3,8%	SINGAPORE	67 322	6,6%	THAILAND	4 861	AUSTRALIA	-8 476	
8	MEXICO	40 557	3,6%	TAIWAN	49 486	4,8%	ISRAEL	696	INDIA	-7 325	
9	MALAYSIA	28 575	2,5%	MALAYSIA	36 560	3,6%	ST KITT'S-NEV	5	TURKEY	-5 133	
10	CANADA	28 186	2,5%	MEXICO	36 368	3,5%			SOUTH AFRICA	-4 378	

* World excluding Intra EU trade

Source: DG Trade, EC, based on Comtrade

Source : <http://trade.ec.europa.eu/doclib/html/148053.htm>

Et ce déficit s'aggrave avec le temps (voir tableau suivant).

Tableau 15. Échanges commerciaux de l'UE₂₇ dans le secteur de l'électronique

Extra-EU27 Trade in Electronics (millions of euro)

	Imports				Exports				Balance		
	2007	2010		Growth 2010 / 2007	2007	2010		Growth 2010 / 2007	2007	2010	Absolute Variation 2010 / 2007
	Value	Value	Share in Total		Value	Value	Share in Total		Value	Value	
Total Electronics	209 571	229 201	100,0%	9,4%	127 142	124 354	100,0%	-2,2%	-82 429	-104 847	-22 418
Electronics non-ITA	70 005	68 197	29,8%	-2,6%	49 420	54 963	44,2%	11,2%	-20 586	-13 234	7 352
Electronics ITA	139 566	161 003	70,2%	15,4%	77 723	69 391	55,8%	-10,7%	-61 843	-91 613	-29 770
Consumer electronics	28 164	23 060	10,1%	-18,1%	10 501	10 595	8,5%	0,9%	-17 663	-12 465	5 198
Consumer electronics non-ITA	23 623	19 502	8,5%	-17,4%	6 554	6 752	5,4%	3,0%	-17 069	-12 750	4 320
Consumer electronics ITA	4 541	3 559	1,6%	-21,6%	3 947	3 843	3,1%	-2,6%	-594	285	879
Components	59 612	80 454	35,1%	35,0%	51 129	52 037	41,8%	1,8%	-8 483	-28 417	-19 933
Components non-ITA	29 815	32 023	14,0%	7,4%	29 664	34 933	28,1%	17,8%	-151	2 909	3 061
Components ITA	29 797	48 431	21,1%	62,5%	21 465	17 104	13,8%	-20,3%	-8 332	-31 326	-22 994
Measuring	7 747	8 166	3,6%	5,4%	10 359	11 992	9,6%	15,8%	2 613	3 826	1 213
Measuring non-ITA	3 376	3 417	1,5%	1,2%	4 067	4 843	3,9%	19,1%	691	1 426	735
Measuring ITA	4 371	4 749	2,1%	8,6%	6 292	7 148	5,7%	13,6%	1 921	2 400	478
Office	74 600	76 356	33,3%	2,4%	26 458	23 410	18,8%	-11,5%	-48 142	-52 947	-4 805
Office non-ITA	2 702	2 870	1,3%	6,2%	592	705	0,6%	19,0%	-2 109	-2 166	-56
Office ITA	71 899	73 486	32,1%	2,2%	25 866	22 705	18,3%	-12,2%	-46 033	-50 781	-4 749
Telecom	39 447	41 165	18,0%	4,4%	28 695	26 320	21,2%	-8,3%	-10 753	-14 844	-4 092
Telecom non-ITA	10 489	10 385	4,5%	-1,0%	8 543	7 731	6,2%	-9,5%	-1 947	-2 655	-708
Telecom ITA	28 958	30 779	13,4%	6,3%	20 152	18 590	14,9%	-7,8%	-8 806	-12 190	-3 384

Source: DG Trade, EC, based on Eurostat (Comext, Statistical regime 4)

Source : <http://trade.ec.europa.eu/doclib/html/148053.htm>

Le tableau suivant montre que la Chine représente presque la moitié des importations du secteur électronique de l'UE (alors qu'elle compte pour près de 30% des exportations mondiales du secteur).

Tableau 16. Échanges commerciaux de l'UE₂₇ par pays

Total Electronics - EU trade (2010)

Rank	Top EU import origin			Top EU export destinations			Top EU Surplus Balance		Top EU Deficit Balance	
	Origin	Value (millions of euro)	Share in EU imports	Destination	Value (millions of euro)	Share in EU exports	Partner	Value (millions of euro)	Partner	Value (millions of euro)
	Extra EU	229 201	100,0%	Extra EU	124 354	100,0%			Extra EU	-104 847
1	China	104 756	45,7%	USA	17 591	14,1%	Russia	9 205	China	-92 653
2	USA	18 787	8,2%	China	12 103	9,7%	U.A.Emirates	4 492	Japan	-14 803
3	Japan	17 536	7,7%	Russia	9 362	7,5%	Turkey	3 899	South Korea	-12 424
4	South Korea	15 091	6,6%	Switzerland	8 808	7,1%	Switzerland	3 698	Taiwan	-11 236
5	Taiwan	12 806	5,6%	Turkey	5 804	4,7%	Norway	3 491	Malaysia	-8 939
6	Malaysia	12 660	5,5%	Hong Kong	4 727	3,8%	South Africa	2 687	Thailand	-4 360
7	Singapore	6 433	2,8%	U.A.Emirates	4 707	3,8%	Saudi Arabia	2 161	Costa Rica	-3 949
8	Thailand	5 550	2,4%	Norway	4 561	3,7%	Brazil	1 786	Singapore	-2 716
9	Switzerland	5 110	2,2%	Malaysia	3 720	3,0%	Australia	1 548	Philippines	-2 339
10	Hong Kong	4 852	2,1%	Singapore	3 717	3,0%	Ukraine	1 333	Mexico	-1 641

Source: DG Trade, EC, based on Eurostat (Comext, Statistical regime 4)

Source : <http://trade.ec.europa.eu/doclib/html/148053.htm>

Si l'Europe est fortement dépendante de la production étrangère dans le secteur de l'électronique, ces pays sont en revanche tenus de respecter des normes techniques et environnementales très strictes. Étant donnée la forte compétition qui règne dans ce secteur, on peut penser que les stratégies d'innovation sont une source non négligeable d'acquisition d'avantage compétitif et donc que des brevets sont déposés par les entreprises qui exportent dans l'UE afin d'en respecter ces normes.

Sans pouvoir mener une analyse très poussée de l'impact des directives européennes associées aux EEE (directives RoHS, WEEE, EuP) qui nécessiterait un projet de recherche en soi²⁷, nous avons examiné dans notre base de données qui contient plus de 18 millions de demandes de brevets déposés à l'OEB. En cherchant dans cette base le terme « RoHS », nous avons trouvé seulement 91 brevets, et 16 en cherchant l'acronyme « WEEE ».

Cependant toutes ne concernaient pas le secteur de l'électronique, mais par exemple du textile ou pour la protection antirouille des métaux ou encore de techniques de peinture... Après un examen détaillé des résumés des brevets nous en avons conservé 48.

Les domaines auxquels ils appartiennent sont les suivants :

- 20 concernent les retardateurs de flamme (la directive RoHS a interdit les plus polluants d'entre eux) ;
- 17 concerne les câbles (qui deviennent des DEEE en fin de vie) ;
- 10 la microélectronique, dont plusieurs concernent les LED et les soudures sans plomb ;
- 1 EEE.

Le pays : 45 brevets ont été déposés par des chinois, ce qui peut souligner l'importance pour ce premier exportateur d'électronique mondial du marché européen et de ses normes (mais les nombres sont trop faibles pour tirer des conclusions robustes). Afin de mener une analyse plus consistante, il conviendrait de repérer dans les 48 brevets ci-dessus mentionnés des mots clés permettant d'élargir notre ensemble de brevets à d'autres qui pourraient remplir des objectifs technologiques similaires mais qui n'auraient pas mentionné le terme RoHS.

Une donnée intéressante contenue dans les demandes de brevets est leur date : la plupart des 48 brevets susmentionnés ont été déposés en 2007 et 2008 (le processus de mise à jour de la directive de 2002 a été en commencé en 2008) :

- 2005 : 3 brevets
- 2006 : 2 brevets
- 2007 : 15 brevets
- 2008 : 14 brevets
- 2009 : 14 brevets

²⁷ Voir par exemple les travaux de Taylor, M. R., E. S. Rubin & D. A. Hounshell (2003), "Effect of Government Actions on Technological Innovation for SO₂ Control", *Environmental Science & Technology* 37(20): 4527-4534.

En ce qui concerne le terme « WEEE », il n'est présent que dans 20 brevets dont 18 nous intéressent. Les domaines auxquels ils appartiennent sont les suivants :

- 14 portent sur des soudures devant respecter la directive ;
- 3 portent sur l'écoconception pour le recyclage mais sans faire mention de la directive ;
- 1 brevet concerne les retardateurs de flamme en vue de répondre aux exigences de la directive DEEE.

La plupart ont été déposés à partir de 2004 (la moitié par des chinois), date limite de transposition de la directive pour les états membres (entrée en vigueur en 2005) :

- 1999 : 1 brevet (allemand)
- 2004 : 1 brevet
- 2005 : 5 brevets
- 2006 : 2 brevets
- 2007 : 2 brevets
- 2008 : 2 brevets
- 2009 : 3 brevets

Si elle ne permet pas de tirer des conclusions robustes, cette analyse sommaire d'une influence éventuelle des directives européennes RoHS et DEEE sur les dynamiques d'innovation des industries qu'elles affectent laisse néanmoins entrevoir des pistes futures de recherche, par exemple en extrayant des quelques brevets identifiés ci-dessus des mots clés qui nous permettraient d'élargir notre ensemble de brevets RoHS + WEEE.

4. Interprétation

Les analyses que nous avons menées pour étudier les dynamiques d'innovation dans des secteurs susceptibles de contribuer à résoudre le problème des DEEE nous ont permis de tirer les enseignements suivants.

Tout d'abord, comme nous l'avons vu dans notre revue de la littérature les innovations produits par ces secteurs sont des écoinnovations, et elles en partagent donc les

caractéristiques. Par exemple, le rôle des politiques publiques ca être déterminant dans leur émergence et diffusion, tout comme l'implication des parties-prenantes (voir les cas sectoriels présentés dans la revue de la littérature).

L'analyse des « brevets éco-TIC » met en évidence trois groupes de brevets qui ont chacun une dynamique d'innovation qui leur est propre. Nous avons vu à quelles types de technologies ils faisaient référence, mais dans quelle mesure celles-ci peuvent concrètement aider à résoudre le problème des DEEE ? En outre, signalons que notre travail va permettre d'améliorer l'inventaire vert de l'OMPI puisqu'il a montré les limites de sa classification qui omet de nombreux champs technologiques. Cela peut être mis sur le compte du fait que l'Inventaire vert selon la CIB a été mis au point par un comité d'experts selon une liste de termes établie par la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). Il est donc possible que cet inventaire soit biaisé en direction des technologies intéressant la CCNUCC.

Les domaines technologiques ayant le plus grand nombre de brevets sont « Dispositions pour vérifier les propriétés électriques et pour la localisation des pannes électriques », « Semiconducteurs », et « Systèmes de contrôle de la circulation ». Ce sont là des domaines qui correspondent bien à des éco-TIC : le premier peut correspondre aux nouveaux compteurs électriques intelligents et aux systèmes de capteurs qui vont avec ; le second correspondrait aux semiconducteurs qui réduisent leur empreinte écologique ; et le dernier à la mobilité durable, un secteur en pleine expansion. En définitive, seuls les brevets du domaine des semiconducteurs pourraient être des « brevets DEEE », i.e. en position de contribuer à réduire ces déchets dangereux, essentiellement par un effort d'écoconception en vue de résoudre leurs propres problèmes de DEEE, à moins de trouver des brevets de semiconducteurs qui sont utilisés dans d'autres secteurs pour résoudre le problème des DEEE. Pour avoir une réponse à ces questions, il faudrait regarder les brevets du domaine « Semiconducteurs » un par un, or il y en a 2058. Il faudrait donc pouvoir raffiner notre analyse e.g. en trouvant d'autres mots clés, ce que nous allons tenter de faire dans la dernière phase du projet.

Par exemple, il est curieux que nous ne trouvions aucun brevets portant sur les soudures sans plomb dans les brevets éco-TIC ni même dans les brevets DEEE. En effet, suite à la directive européenne RoHS plusieurs substances dangereuses ont été interdites et des alternatives ont dû être trouvées e.g. aux soudures sans plomb ou aux retardateurs de

flamme bromés. L'exemple du brevet américain placé en Annexe 9 qui date du 31 janvier 2012 montre qu'il devrait y avoir un groupe de brevets autour de la technologie de soudure sans plomb. Nous allons compléter notre analyse des brevets DEEE par cette dernière recherche, ce qui nous permettra également de voir quel a été le rôle des politiques publiques environnementales sur la production d'innovation et sa direction.

5. Exploitations possibles des résultats

Les résultats du projet ECOPATENTS ont été exploités de la manière suivante :

- Une page Internet dédiée au projet ECOPATENTS : <http://ecopatents.wp.mines-telecom.fr/>.
- 3 articles académiques en anglais portant sur chacune des phases du projet intitulés :
 - « Eco-Innovations and the Invisible College of Technological Change: A Survey of Literature » (voir version préliminaire en Annexe 10) ;
 - « Patterns of Innovation in Green ICT: A Patent-Based Analysis » (voir version publiée sous la forme d'un document de travail sur http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2117831, qui fait déjà partie des articles les plus de sa catégorie dans la base SSRN) ;
 - « Solving the e-waste problem: A patent-based analysis » (voir version préliminaire en Annexe 8).
- Une conférence internationale de fin de projet en juin 2012 où les résultats d'ECOPATENTS ont été présentés ; couplée à une conférence plus large sur l'innovation dans le secteur TIC soutenue par l'Institut Mines-Télécom afin d'en accroître la visibilité (voir programme en Annexe 11).
- Ce rapport final du projet en français (voir bibliographie en Annexe 12).
- Un résumé du projet sous la forme d'une fiche de 4 pages.

6. Futures pistes de recherche

Comme nous l'avons souligné dans la section 4, il est difficile à cause du grand nombre de brevets déposés de les analyser dans le détail afin de préciser les technologies pouvant servir à résoudre le problème des DEEE. Par exemple, le seul sous-groupe éco-TIC des semiconducteurs comprend à lui seul plus de 2000 brevets ! Il faudrait donc affiner cet ensemble en filtrant les brevets par d'autres mots clés, comme par exemple

ceux issus des législations impactant directement les DEEE, comme la directive RoHS ou EuP.

Ensuite, comme suggéré dans la première version de notre réponse à l'appel à projet « Déchets & Société » (dont seule la première partie quantitative a été financée), il faudrait mener une analyse qualitative afin d'examiner de plus près les innovateurs sont parvenus à produire les connaissances protégées qu'ils ont souhaité protéger d'un brevet (montant des investissements, nature des collaborations engagées, innovations ayant fait suite aux brevets déposés, marchés conquis grâce à eux, rôle des politiques publiques, etc.).

En outre, si l'objectif de cette partie du projet a été d'étudier les technologies et les innovations qui peuvent contribuer à résoudre le problème des DEEE, les méthodologies développées dans ECOPATENTS pourront néanmoins être étendues à d'autres écoinnovations, y compris pour celles permettant de venir à bout d'autres types de déchets.

Enfin, un aspect essentiel à nos yeux concerne l'impact des politiques publiques sur l'activité d'innovation. Nous pourrions développer ce point y compris en ce qui concerne les politiques de gestion des déchets. Ce type de recherches a été mené dans d'autres domaines (e.g. les technologies permettant de lutter contre les émissions de SO₂²⁸) il existe des méthodologies spécifiques pour étudier l'impact des politiques publiques sur l'innovation en utilisant les analyse de brevets. Par exemple, Lanjouw & Mody (1996) ont montré que l'intérêt croissant pour les enjeux écologiques qu'ont connu les États-Unis dans les années 1970 et 1980 avaient entraîné l'apparition d'écoinnovations, et que les changements réglementaires qui ont suivi avaient eu une influence indirecte sur le dépôt de brevets par les entreprises automobiles étrangères allemandes et japonaises qui exportaient aux États-Unis. Nous pourrions faire de même pour les législations concernant les déchets, afin notamment de dégager quels types d'instruments sont le plus efficaces pour lutter contre leur production.

²⁸ Voir e.g. Taylor, M. R., E. S. Rubin & D. A. Hounshell (2003), « Effect of Government Actions on Technological Innovation for SO₂ Control », *Environmental Science & Technology* 37(20): 4527-4534.

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) est un établissement public sous la triple tutelle du ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et du ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie. Elle participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable.

Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

