



GREThA

Groupe de Recherche en
Économie Théorique et Appliquée

Les trajectoires régionales d'innovation dans la chimie verte : une application au cas de l'Aquitaine

Vanessa OLTRA

&

Maïder SAINT-JEAN

*GREThA, CNRS, UMR 5113
Université de Bordeaux*

Cahiers du GREThA

n° 2012-14

May

GREThA UMR CNRS 5113

Université Montesquieu Bordeaux IV

Avenue Léon Duguit - 33608 PESSAC - FRANCE

Tel : +33 (0)5.56.84.25.75 - Fax : +33 (0)5.56.84.86.47 - www.gretha.fr

Les trajectoires régionales d'innovation dans la chimie verte : une application au cas de l'Aquitaine*

Résumé

Cet article tente d'appréhender les trajectoires technologiques se déployant en région Aquitaine dans le domaine de la chimie verte (CV). Sur le plan théorique, l'article se place à la croisée de la littérature évolutionniste sur les régimes technologiques et des approches en termes de systèmes régionaux d'innovation, et il mobilise notamment les travaux de Breschi (2000) qui montre que la dynamique locale ou régionale de l'innovation n'est pas seulement liée à la structure régionale de gouvernance, mais aussi à la structuration sectorielle et aux régimes technologiques caractérisant les industries en présence. C'est dans cette optique que nous appréhendons les trajectoires régionales d'innovation dans la CV, en mettant en exergue le rôle de la structure industrielle et des régimes technologiques. Sur le plan méthodologique, les trajectoires d'innovation de la région Aquitaine dans la CV sont étudiées à partir de données de brevets. Nous avons construit une base de données originale des dépôts de brevets CV Aquitains sur la période 1990-2009. Cette base de données nous permet de caractériser les trajectoires régionales d'innovation dans la CV. Plus particulièrement, nous mettons en exergue la concentration des sources d'innovation, ainsi que les domaines de spécialisation en lien avec la structuration industrielle régionale.

Mots-clés : Chimie verte, Trajectoires régionales d'innovation, Régime technologique, Brevets

Regional trajectories of innovation in Green Chemistry: Evidence from the Aquitaine region

Abstract

This article tries to apprehend the technological trajectories that develop in Aquitaine region in the field of green chemistry (GC). Breschi's research works are used to stress that spatial patterns of innovation vary greatly amongst sectors according to the specific features of the underlying technology, as summarized by the concept of technological regime. In such a perspective, we take into account the role of industrial structures and technological regimes to apprehend regional trajectories of innovation in the field of GC. In order to characterize such trajectories, an empirical analysis is carried out by using patent data for the period 1990-2009. We end up with an original database of GC patents for the Aquitaine region which enables us to emphasize the concentration of innovative sources as well as the specialization fields in relation with the regional industrial structure.

Keywords: Green chemistry, Regional trajectories of innovation, Technological Regime, Patents

JEL: O30, R11, L65

Reference to this paper: OLTRA Vanessa, SAINT-JEAN Maïder (2012) **Les trajectoires régionales d'innovation dans la chimie verte : une application au cas de l'Aquitaine**, *Cahiers du GREThA*, n°2012-14. <http://ideas.repec.org/p/grt/wpegrt/2012-14.html>.

* Cette recherche a été réalisée dans le cadre du programme de recherche PSDR-COMPTER "Compétitivité des entreprises et des territoires ruraux en Aquitaine", projet de recherche sur "Compétitivité des firmes et éco-innovations dans la chimie verte en Aquitaine". Nous remercions Marina Flamand (Ingénieur d'études, Via Inno) qui a réalisé l'extraction et l'analyse statistique des données de brevets régionales.

Introduction

La chimie verte, encore appelée chimie durable, représente aujourd'hui un enjeu considérable pour l'industrie chimique. Si le concept de chimie verte est apparu dans les années 90 aux Etats-Unis, il n'a cessé depuis d'alimenter les débats dans les communautés scientifiques et industrielles et a connu de nombreux développements, qui se matérialisent notamment dans l'évolution de la terminologie, avec la multiplication des appellations allant de la chimie durable, à la chimie bio-sourcée et à la chimie du végétal ou de la biomasse.

Malgré les controverses, l'industrie chimique mondiale s'accorde aujourd'hui sur la priorité donnée à la réduction de l'impact environnemental des activités chimiques et la volonté de redéfinir une chimie 'plus propre' et de devenir le principal fournisseur des solutions technologiques aux problèmes environnementaux des industries. Cette ambition se traduit par une forte dynamique de recherche et d'innovation, génératrice de ce que l'on peut appeler des éco-innovations (Rennings, 2000). Cette dynamique est bien entendu fortement soutenue par les politiques publiques et, en particulier, par les réglementations environnementales portant sur les substances chimiques (notamment le règlement européen REACH²).

S'il est difficile d'appréhender les trajectoires technologiques se déployant dans le domaine de la chimie verte, c'est parce que les contours de cette dernière sont à la fois flous et en perpétuelle évolution. En effet, le concept même de chimie verte tel qu'il été défini par Paul Anastas et John C. Warner, deux chercheurs américains considérés comme les pères fondateurs de la chimie verte, se résume à une chimie ayant pour but "*de concevoir des produits et des procédés chimiques permettant de réduire ou d'éliminer l'utilisation et la synthèse de substances dangereuses*" (Anastas and Warner, 1998). La chimie verte se présente donc comme un véritable programme de recherche, ouvrant de nombreuses voies d'investigation et de nombreuses opportunités technologiques et scientifiques, et nécessitant des changements de pratique dans les industries chimiques. Les domaines de recherche ainsi que les domaines d'application sont donc particulièrement étendus, ce qui donne lieu à de nombreuses trajectoires d'innovation diversifiées tant au niveau des sources d'innovation (firmes, secteurs industriels, laboratoires publics etc.), que des domaines scientifiques (chimie organique, biochimie, biotechnologies etc.) et des technologies et des applications concernées (biopolymères, solvants alternatifs, nouveaux matériaux etc.). L'analyse des trajectoires d'innovation implique donc, dans un premier temps, de définir les contours et les grands domaines de recherche de la chimie verte (cf. §1.1).

L'un des apports fondamentaux de la théorie évolutionniste de l'innovation est d'avoir montré que les activités d'innovation sont conçues dans le cadre de paradigmes technologiques donnés et se déploient le long de trajectoires technologiques cumulatives³. Dans cette perspective, les activités d'innovation sont fondamentalement localisées, cumulatives et dépendantes du contexte. Le paradigme technologique définit contextuellement les besoins à satisfaire, les principes scientifiques, les grandes directions à suivre et les technologies à utiliser. Une implication fondamentale de la forme paradigmatique du changement technologique est que les activités d'innovation sont fortement sélectives, finalisées dans des directions précises et cumulatives dans l'acquisition des capacités à résoudre des problèmes. En d'autres termes, toute activité de recherche et d'innovation dépend des connaissances accumulées précédemment, des principes scientifiques et des

² Règlement CE n°1907/2006 du Parlement européen et du Conseil du 18 décembre 2006 concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques, ainsi que les restrictions applicables à ses substances (REACH), instituant une agence européenne des produits chimiques.

³ Pour une présentation détaillée de ces concepts, voir l'article séminal de Dosi (1982).

heuristiques dominants de la discipline ou du domaine technologique concerné, ainsi que des compétences et de l'expérience des innovateurs.

Appliquée au domaine de la chimie verte, une telle conceptualisation du changement technologique nous conduit à nous demander dans quelle mesure la chimie verte remet en cause le paradigme dominant de la chimie (i.e. la pétrochimie) et comment cela va modifier les trajectoires technologiques qui s'y déploient. Réciproquement, cela nous conduit à mettre en exergue que les trajectoires d'innovation dans la chimie verte sont largement conditionnées par les trajectoires et les connaissances accumulées dans le paradigme dominant de la pétrochimie. C'est ce que nous nous proposons d'étudier au niveau régional dans cet article.

Le potentiel d'innovation ouvert par la chimie verte tend à être exploité différemment selon les régions. Les trajectoires technologiques régionales dépendent en particulier du type d'activités et de compétences technologiques liées aux industries chimiques présentes sur le territoire. La dimension régionale de l'innovation est largement étudiée dans la littérature, avec notamment les travaux sur les systèmes régionaux d'innovation⁴. A la croisée de la littérature évolutionniste sur les régimes technologiques et des approches en termes de systèmes régionaux d'innovation, Breschi (2000) montre que la dynamique locale ou régionale de l'innovation n'est pas seulement liée à la structure régionale de gouvernance, mais aussi à la structuration sectorielle et aux régimes technologiques caractérisant les industries en présence. C'est dans cette optique que nous appréhenderons les trajectoires régionales d'innovation dans le domaine de la chimie verte, en mettant en exergue le rôle de la structure industrielle et des régimes technologiques (cf. § 1.2).

Les trajectoires d'innovation de la région Aquitaine dans le domaine de la chimie verte seront étudiées dans la deuxième section de cet article à partir de données de brevets. Si les limites des données de brevets comme indicateurs de l'innovation sont bien connues, il n'en reste pas moins que dans certains secteurs caractérisés par une forte propension à breveter (tels que la chimie), elles permettent de repérer et de cartographier de façon plus ou moins partielle les activités d'innovation et les trajectoires technologiques. Dans cette optique, nous avons construit une base de données originale des dépôts de brevets Aquitains dans le domaine de la chimie verte (cf. §2.1). Cette base de données nous permet de caractériser les trajectoires d'innovation qui se déploient en Aquitaine dans le domaine de la chimie verte. Plus particulièrement, nous mettrons en exergue la concentration des sources d'innovation, ainsi que les domaines de spécialisation en lien avec la structuration industrielle régionale (cf. §2.2 et §2.3).

1. Les déterminants des trajectoires régionales d'innovation dans la chimie verte

Afin d'appréhender les trajectoires d'innovation dans la chimie verte (CV), nous présentons, dans un premier temps, la définition et l'évolution de ce concept. Nous proposons ensuite, à partir des travaux des pères fondateurs de la CV (Anastas et Warner, 1998 ; Anastas et Eghbali, 2010), de diviser la CV en quatre grands domaines de recherche, ce qui nous permettra ensuite d'identifier les principales opportunités technologiques et d'élaborer une équation de recherche à partir de mots-clés afin de capturer les brevets liés à la CV.

Nous insisterons ensuite sur le rôle déterminant des régimes technologiques et de la structuration de l'industrie dans les trajectoires régionales d'innovation. Dans cette perspective, nous

⁴ Voir notamment Braczyk et al. (1998) et Cooke (2001).

présenterons brièvement les caractéristiques du système régional d'innovation Aquitain et discuterons plus particulièrement de la place des industries chimiques.

1.1 Les opportunités technologiques liées à la chimie verte

C'est à la fin des années 1980 que l'idée d'une chimie répondant aux enjeux du développement durable fait son chemin (Sarrade, 2008). En 1990, la chimie verte naît véritablement comme concept avec la définition proposée par deux chercheurs américains, Paul Anastas et John C. Warner : "*la conception de produits et de procédés chimiques permettant de réduire ou d'éliminer l'utilisation et la production de substances dangereuses*" (Anastas and Warner, 1998). Ces vingt dernières années, ce concept de chimie verte a suscité un intérêt croissant en raison du potentiel d'application qu'il recouvre et des innovations qu'il est capable de susciter, dans le but de satisfaire simultanément des objectifs économiques et environnementaux (Anastas et Eghbali, 2010). Dès le départ, Anastas et Warner mettent en avant l'importance des objectifs économiques et de compétitivité associés à la CV⁵.

La chimie verte repose sur un ensemble cohérent de douze principes (cf. Encadré 1 en Annexe) qui sont autant de critères de conception et de lignes directrices à intégrer aux procédés industriels et/ou aux produits. Ces principes soulignent la nécessité d'utiliser au maximum les matières premières qui, transformées, doivent se retrouver le plus largement possible dans le produit final, limitant ainsi la production de sous-produits (ou de co-produits) ; d'utiliser des solvants propres, non toxiques et compatibles avec l'environnement ; d'utiliser au mieux l'énergie, en termes de rendement, d'économie, de sources et de rejets ; de

produire des quantités minimales de déchets et dans des formes adaptées (solide, liquide ou gazeuse) limitant leur dissémination potentielle et favorisant leur recyclage (Sarrade, 2008). Les douze principes de la chimie verte offrent une définition pratique de cette nouvelle chimie, qui se focalise sur la prévention de la pollution. Elle se distingue de la chimie environnementale, qui tend à comprendre et modéliser les substances chimiques dans les écosystèmes.

Dans sa description des origines et des développements de la chimie verte, Linthorst (2010) met en évidence un processus de construction en plusieurs étapes caractérisé par un soutien politique fort et une véritable construction sociale autour du concept même de chimie. Nous pouvons citer à titre d'exemple l'importance de l'Agence de Protection de l'Environnement américaine (EPA) et le rôle déterminant du *Pollution Prevention Act* de 1990, qui non seulement souligne l'intérêt partagé des autorités publiques et de l'industrie chimique à coopérer, mais offre aussi à l'agence EPA de nouveaux moyens financiers pour développer de nouveaux programmes. Aux Etats-Unis, la période de 1993 à 1998 est marquée par un mouvement d'institutionnalisation progressive de la chimie verte avec l'organisation d'un symposium et le développement de coopérations internationales notamment avec le Japon et l'Italie. Durant cette seconde période, la terminologie s'est mise à changer en faveur du terme *green chemistry*, préféré à celui de *benign chemistry*. Le soutien politique du concept de *green chemistry* s'est poursuivi au cours des années suivantes, prenant la forme de prix industriels, d'un institut de chimie verte (*Green Chemistry Institute*, 1997, organisation à but non lucratif chargée de l'introduction et de la diffusion des principes de la chimie verte), d'un réseau (*Green Chemistry Network*,) et d'une revue scientifique (*Green Chemistry Journal*, 1999). En 1998, Anastas, alors membre de l'agence environnementale américaine (EPA), et Warner publient les douze principes de la chimie verte dans le premier manuel de chimie verte afin de fixer les règles de conception pour aider les chimistes à réaliser l'objectif intentionnel de soutenabilité. Linthorst (2010) souligne que le manuel d'Anastas et Warner résulte

⁵ C'est d'ailleurs ce qui conduira certains auteurs, particulièrement critiques à l'égard de cette vision de la CV, à considérer que la couleur verte associée à cette 'nouvelle' vision de la chimie est avant tout la couleur du dollar.

clairement de la mise en réseau d'acteurs, avec un appui fort des partenaires institutionnels, formée aux Etats-Unis.

Si le terme de chimie verte s'est imposé aux Etats-Unis, il n'a cessé d'évoluer en Europe donnant lieu à des terminologies différenciées telles que chimie durable, chimie du végétal, chimie bio-sourcée, chimie du carbone renouvelable etc. Ce foisonnement de terminologies dénote à la fois une volonté de se démarquer de la communauté américaine de la CV et une multiplicité des philosophies et des approches, en particulier dans les milieux académiques de la chimie verte.

En effet, les frontières de la CV demeurent flexibles et relativement dépendantes des perceptions de ceux qui l'utilisent. Les douze principes donnent des directions de recherche plutôt que des normes à respecter impérativement. Capturer la chimie verte dans une seule définition reste difficile car cela ne correspond pas à une spécialité scientifique avec un paradigme cohérent. C'est plutôt à travers différentes communautés scientifiques, porteuses de connaissances et d'expériences variées, mais aussi d'arbitrages divers, que le développement de la chimie verte tendrait à s'opérer. C'est ce qui explique que la chimie verte évolue et s'organise aujourd'hui autour de différentes communautés de recherche donnant lieu à ce que nous appelons (au sens de Dosi, 1982) différentes trajectoires technologiques et scientifiques.

Appréhender ces trajectoires nécessite, dans un premier temps, d'identifier les grands domaines de recherche de la CV. C'est ce que nous avons fait à partir de la lecture des principaux articles scientifiques sur la CV⁶, de participations à des focus groups⁷ et une série d'entretiens auprès de chercheurs CNRS⁸. Ce travail nous a conduits à mettre en exergue quatre grands thèmes de recherche dans la CV :

- *Les matières premières renouvelables alternatives aux ressources fossiles* : Les matières premières renouvelables (en particulier la biomasse) représentent des alternatives aux ressources fossiles (pétrole, charbon et gaz naturel). L'enjeu est de pouvoir couvrir les demandes futures d'énergie, de faire face à l'épuisement des réserves de pétrole et de limiter les impacts environnementaux liés à l'utilisation du pétrole et du charbon. Les matières premières renouvelables peuvent être d'origines agricoles ou issues d'autres procédés industriels (déchets issus de l'agriculture, lignocelluloses, lignine, chitin). Ce domaine comprend notamment les recherches dans le domaine des biocarburants, des bioraffineries, des biopolymères et des plastiques biodégradables.

- *Les solvants alternatifs* : La question des solvants est cruciale dans la CV, tant au niveau scientifique qu'industriel. Les solvants utilisés soit comme milieu réactionnel dans la recherche scientifique, soit comme adjuvant, dégraissant, diluant ou décapant dans les applications industrielles, sont généralement des solvants halogénés dont l'usage en Europe est réglementé depuis la Directive Européenne de 1999⁹. Compte tenu de la toxicité avérée de nombreux solvants, il est devenu primordial de développer des réactions sans solvant, des solvants plus sûrs et moins toxiques et des procédés de recyclage des solvants.

⁶ En particulier Anastas et Warner (1998), Anastas et Eghbali (2010), Beach et al. (2009), Clark (2009), Poliakov et al. (2002), Poliakov et Licence (2007).

⁷ Dans le cadre de l'ANR "Une Approche Economique de l'intégration des dimensions socio-économiques et techniques dans les Programmes de Recherche en Chimie Doublement Verte" coordonnée par l'Université de Reims (Equipe OMI), programme ANR "Chimie et procédés pour le développement durable".

⁸ En particulier auprès des chercheurs du Laboratoire de Chimie des Polymères Organiques (LCPO) de l'Université de Bordeaux 1.

⁹ Directive n° 1999/13/CE du 11/03/99 relative à la réduction des émissions de composés organiques volatils dues à l'utilisation de solvants organiques dans certaines activités et installations industrielles.

- *Les nouveaux modes de réactions et de synthèses chimiques* : Les principes fondamentaux de la chimie verte, en particulier les principes n°2 et n°9 (cf. encadré 1 en annexe), conduisent à une remise en question des modes de réaction classiques, et en particulier des procédés stœchiométriques, pour le développement de nouveaux modes de réaction plus sélectifs et de l'utilisation de procédés catalytiques. Le principe n°9 porte clairement sur "*l'utilisation des procédés catalytiques de préférence aux procédés stœchiométriques avec la recherche de nouveaux réactifs plus efficaces et minimisant les risques en terme de manipulation et de toxicité*". Dans cette optique, il s'agit notamment de développer de nouveaux procédés catalytiques utilisant de nouveaux catalyseurs chimiques non-métalliques, basés sur des molécules organiques (organocatalyse) ou des enzymes (biocatalyse). Par exemple, dans le domaine de la pharmacie, les réactions enzymatiques ont remplacé la catalyse conventionnelle dans la production de nombreux médicaments génériques (Poliakoff et Licence, 2007). De même, la biocatalyse, considérée comme une biotechnologie blanche, connaît un développement considérable.

- *L'ingénierie des procédés et les microréacteurs (ingénierie chimique)* : L'évolution des procédés industriels et de l'ingénierie chimique joue un rôle essentiel dans le développement de la chimie verte. Le but est de développer des procédés éco-efficients, c'est-à-dire des procédés plus sûrs, plus efficaces, moins toxiques et moins coûteux, en termes de coûts financiers et énergétiques. Dans cette optique, le principe d'intensification des procédés est crucial : il s'agit de diminuer le ratio entre la taille des réacteurs et la capacité de production. Ce principe conduit donc à une miniaturisation des équipements, largement favorisée par les progrès considérables effectués ces vingt dernières années dans les domaines de la miniaturisation et des micro-systèmes. L'accumulation de connaissances et de compétences technologiques liées aux micro-systèmes a stimulé le développement des microréacteurs qui permettent d'améliorer le rendement et la sélectivité des réactions. Ces développements sont porteurs de nombreuses applications industrielles dans les domaines de la chimie et de la pharmacie.

De plus, le développement de procédés éco-efficients ouvre également d'autres opportunités technologiques liées à l'utilisation des micro-ondes, des ultrasons (sonochimie), des fluides supercritiques et des procédés de photochimie.

Cette présentation synthétique en quatre grands thèmes de recherche scientifique et technologique met en évidence l'ampleur du programme de recherche lié à la chimie verte. Il apparaît clairement que la CV ouvre un espace extrêmement vaste d'opportunités technologiques, dans lequel plusieurs trajectoires technologiques peuvent se déployer. Ces opportunités technologiques concernent non seulement l'ensemble des domaines de recherche scientifique de la chimie, mais ouvre également un potentiel d'innovation qui va bien au-delà des seuls secteurs industriels de la chimie. En effet, comme le montrent les données d'Oséo sur l'innovation dans les entreprises de la chimie en 2010 (Oséo, 2011), les développements technologiques de la CV concernent de nombreux secteurs d'application et, en particulier, les secteurs clients de la chimie (cf. Figures A.1 et A.2 en Annexe). Les applications industrielles de la CV dépassent donc largement le seul champ des industries chimiques.

Dans cet espace d'opportunités technologiques, les acteurs publics et privés de la recherche et de l'innovation vont donc déployer leurs stratégies de R&D et suivre des trajectoires technologiques spécifiques portant sur certains sous-domaines de la CV. Ce sont ces trajectoires technologiques que nous nous proposons d'étudier au niveau régional.

1.2 Système régionaux d'innovation et régimes technologiques

Les déterminants de la localisation géographique des activités d'innovation ont alimenté une littérature foisonnante, en particulier depuis les années 1990, avec le concept de système régional d'innovation (SRI). Les approches en termes de SRI se sont développées à l'intersection de l'économie évolutionniste et de l'économie régionale (Carrincazeaux et Gaschet, 2006). L'innovation est envisagée comme un processus social interactif dans lequel le contexte institutionnel joue un rôle déterminant. Ce type d'approche se décline au niveau national avec les systèmes nationaux d'innovation (Lundvall, 1992 ; Edquist, 1997) et au niveau régional avec les SRI (Cooke, 1992, 2001).

Les travaux sur les systèmes régionaux d'innovation tendent à montrer l'importance de la capacité des acteurs régionaux, tant publics que privés, à interagir et à tirer profit de leurs interactions pour améliorer la compétitivité régionale. Ces travaux mettent en exergue la dimension territorialisée des processus d'innovation stimulés par les ressources localement ancrées et le contexte social et institutionnel dans lequel elles se développent (Asheim et Gertler, 2005 ; Malmberg et Maskell, 2002).

Ce courant de recherches, outre le caractère systémique de l'innovation, tend à souligner le poids prépondérant de l'influence du milieu d'implantation des entreprises sur leurs activités et les échanges, tant formels qu'informels, comme facteur déterminant du partage du savoir et des expériences (Bitard et Doloreux, 2005). Dans la mesure où l'innovation est vue comme un processus interactif et contextualisé, les relations de proximité et les interactions locales jouent un rôle déterminant.

Dans cette perspective, un SRI peut être défini comme un ensemble d'acteurs et d'organisations (entreprises, universités, centres de recherche, etc.) qui sont systématiquement engagés dans des activités d'innovation et des processus d'apprentissage interactifs qui se déploient dans un cadre institutionnel commun. La région prend donc une dimension dynamique dans la mesure où elle constitue un espace de relation entre la technologie, les marchés, le capital productif, les savoir-faire et la culture technique (Bitard et Doloreux, 2005).

En mettant en avant les interactions locales entre les acteurs, la littérature sur les SRI met aussi en exergue le rôle des collaborations dans les processus d'innovation et d'apprentissage, et en particulier les collaborations entre les entreprises et les organisations de recherche telles que les universités, les laboratoires et instituts de recherche, et les structures de transfert technologique et d'interface. Les réseaux de collaboration entre ces différentes organisations sont censés jouer un rôle structurant et dynamisant dans les activités régionales d'innovation.

Les approches en termes de SRI tendent à être critiquées en raison de leur trop grande focalisation sur les interactions locales et sur le rôle de la structure de gouvernance. Si l'on veut capturer plus largement les déterminants des activités d'innovation, que ce soit au niveau régional ou national, il convient en effet de prendre en compte les différents niveaux d'interactions (du global au local), ainsi que les déterminants sectoriels. C'est l'un des grands apports des travaux de Breschi (2000) que de combiner les déterminants technologiques et sectoriels de l'innovation avec les dimensions spatiales. Breschi (2000) part du constat suivant : même si les activités d'innovation tendent à s'agglomérer dans des espaces localisés, l'intensité de cette concentration géographique et l'organisation spatiale des processus d'innovation présentent des différences significatives selon les secteurs industriels. L'agglomération spatiale des activités d'innovation résultent en effet des interactions entre les processus d'apprentissage, de compétition et de sélection entre les firmes et les zones géographiques. Mais ces processus eux-mêmes sont déterminés par la nature et le degré

de maturité de la technologie, ainsi que par les caractéristiques sectorielles. Ces conditions spécifiques sont résumées par ce que Malerba et Orsenigo (1993, 1996) nomment le *régime technologique*.

La notion de régime technologique a été introduite par Nelson et Winter (1982) afin de fournir une description générale de l'environnement technologique dans lequel les firmes évoluent. D'après Malerba et Orsenigo (1993, 1996), un régime technologique se définit par la combinaison de quatre facteurs : les opportunités technologiques, les conditions d'appropriation des innovations, le caractère cumulatif du processus d'innovation, et enfin la nature de la base de connaissances.

- *Les opportunités technologiques* reflètent l'éventail des possibilités d'innovation et déterminent, pour un niveau donné de ressources investies en R&D, la probabilité d'innover. On distingue généralement deux dimensions importantes des opportunités technologiques : le niveau (élevé ou faible) et les sources (firmes concurrentes, fournisseurs, recherche publique etc.).

- *Les conditions d'appropriation des innovations* résument les possibilités de protéger les innovations de l'imitation par des firmes concurrentes. Deux dimensions sont distinguées pour qualifier le régime d'appropriation : le degré et les modes de protection (secret, brevet etc.).

- *Le caractère cumulatif des activités d'innovation* peut être défini comme le degré de corrélation entre les innovations à la date t et celles à la date $t+1$. Il s'agit là d'une propriété importante des processus d'innovation mise en évidence par l'approche évolutionniste. Les activités d'innovation et les processus d'apprentissage associés tendent à être cumulatifs et à générer des phénomènes de dépendances de sentier (*path dependency*). Plus le processus d'innovation est cumulatif, plus les activités d'innovation auront tendance à être continues et concentrées sur un petit nombre de firmes innovantes. Trois niveaux de cumulativité des activités d'innovation sont généralement distingués : la firme, le secteur et le niveau spatial (Breschi, 2000).

- *La nature de la base de connaissances* renvoie aux propriétés des connaissances qui sous-tendent les activités d'innovation. Ces connaissances peuvent être plus ou moins spécifiques/génériques, tacites/codifiées et complexes/simples.

Les travaux sur les régimes technologiques mettent en évidence l'influence déterminante de ces quatre caractéristiques de l'environnement technologique des firmes sur les activités d'innovation, et en particulier, sur l'organisation et la concentration des innovations (Cohen et al., 1987 ; Cohen et Levinthal, 1989 ; Malerba et Orsenigo, 1993, 1996). L'apport fondamental de Breschi (2000) est d'avoir "spatialisé" ce concept en montrant l'influence du régime technologique sur la concentration et l'organisation spatiale des activités d'innovation. Par exemple, le caractère plus ou moins tacite et complexe des connaissances détermine les modes de transmission et, par voie de conséquence, influence la concentration spatiale des activités de recherche et d'innovation. Selon Breschi (2000), plus la base de connaissances est tacite et complexe, plus la population des innovateurs tend à être concentrée géographiquement. Dans le même ordre d'idée, les sources d'opportunités technologiques déterminent la localisation de ces opportunités et, par conséquent, la localisation des activités d'innovation. Quant aux modes d'appropriation des innovations, il convient de supposer que plus la protection des innovations est forte, plus cela limite les flux de connaissances (*knowledge spillovers*), ce qui tend à favoriser une forte concentration sectorielle et spatiale des innovations. Enfin, le caractère fortement cumulatif de certains processus d'innovation tend à produire une forte concentration des innovations, à la fois en termes de firmes et en termes de localisation géographique. A partir de ces considérations et d'une analyse empirique au niveau européen, Breschi (2000) montre que l'organisation et les modes d'innovation diffèrent selon les régimes technologiques et que les spécificités technologiques et sectorielles jouent un rôle crucial. L'auteur met en évidence une relation systématique entre l'organisation spatiale et les caractéristiques sectorielles des processus d'innovation. Les caractéristiques spatiales et sectorielles

des innovations présentent en effet des similitudes entre pays au sein de ce que Breschi (2000) appelle la même classe technologique. En d'autres termes, il est possible d'identifier différents types de classes technologiques (et donc d'industries associées) correspondant au même type de régime technologique et présentant les mêmes caractéristiques au niveau de la concentration industrielle et spatiale des innovations.

Au final, Breschi (2000) identifie quatre types de classes technologiques présentant des similitudes, au niveau européen, en termes de régimes technologiques et de concentration spatiale des activités d'innovation. Dans cette taxonomie, la chimie apparaît clairement comme un régime d'innovation concentré et 'd'approfondissement' (*a deepening and concentrated pattern*). Ce type de régime est caractérisé à la fois par une concentration des sources d'innovation, dominées par un petit groupe de grandes firmes innovantes, et par une concentration spatiale persistante. Cette forte concentration s'explique par la conjonction d'un niveau élevé d'opportunités technologiques et d'un niveau élevé d'appropriabilité et de cumulativité des innovations. Dans un tel régime technologique, la dynamique schumpetérienne de l'innovation conduit à l'émergence d'un groupe restreint de grandes firmes oligopolistiques qui tend à dominer le marché (Breschi, 2000). Le caractère fortement cumulatif du processus d'innovation tend à créer un cercle vertueux de l'innovation. Dans son étude, Breschi (2000) montre que plusieurs classes technologiques associées à la chimie (i.e. la chimie inorganique, la chimie organique, les composés macro-moléculaires, ainsi que les autres composés chimiques) exhibent une forte concentration spatiale, un faible taux d'entrée de nouveaux innovateurs et une domination significative de quelques larges firmes qui accumulent de façon persistante des connaissances et des capacités d'innovation dans leur domaine.

Ces faits stylisés sont donc à considérer pour appréhender les trajectoires régionales d'innovation dans la chimie verte. On peut en particulier se demander si l'émergence d'un ensemble aussi vaste et diversifié d'opportunités technologiques liées à la CV tend à renforcer la dynamique d'innovation qui caractérise le régime des industries chimiques ou, au contraire, à perturber et modifier le régime technologique existant.

Dans le cas de l'Aquitaine, il faut rappeler que les activités chimiques représentent un pilier important du système régional d'innovation. En effet, l'analyse du SRI Aquitain présenté dans le rapport ADERA-CRITEC (2009) met en évidence une certaine inertie des domaines de spécialisation technologique et scientifique depuis les années 1990, avec une spécialisation marquée dans les domaines de la chimie macromoléculaire, des matériaux (produits et procédés) et de l'ingénierie médicale, qui représentent une part dans les brevets régionaux deux fois supérieure à la part au niveau national (figure A.3). Il s'agit dans les trois cas de compétences industrielles reconnues du système productif aquitain qui s'affirment également comme des secteurs à ancrage local affirmé de compétences technologiques. Un deuxième groupe de domaines de spécialisation, dont les quotients de spécialisation (ou de localisation) sont compris entre 1,5 et 2, révèle trois domaines technologiques plus récents de spécialisation : les industries agro-alimentaires, tant du côté des produits (« produits agricoles et alimentaires ») que des procédés (« appareils agricoles et alimentation ») ; le domaine Aviation-Spatial-Armement ; ainsi que deux segments technologiques liés à la chimie, la chimie de base et les traitements de surface. Globalement, la chimie apparaît donc comme un pilier de la trajectoire technologique Aquitaine. Le tableau A.1 en annexe met évidence la forte concentration des dépôts de brevets dans les domaines de spécialisation du SRI Aquitain. Cette concentration est extrêmement marquée dans les domaines de la chimie : 70% des dépôts de brevets dans la chimie macro-moléculaire proviennent des 3 principaux déposants, 47% dans la chimie de base, sachant que l'entreprise Arkema représente à elle seule 15% des dépôts de brevets aquitains. Il apparaît donc clairement que les caractéristiques du régime technologique de la chimie mises en évidence par Breschi (2000) sont également patentées dans le cas du SRI Aquitain, au sein duquel les industries chimiques jouent un rôle moteur structurant. Il semble donc d'autant plus pertinent de se demander comment le SRI Aquitain évolue et se positionne par rapport aux opportunités technologiques liées à la chimie verte.

2. La trajectoire Aquitaine d'innovation dans la chimie verte

Dans cette section, les innovations dans le domaine de la chimie verte sont capturées à partir de données de brevets. Malgré les limites bien connues des données de brevets, celles-ci restent un outil particulièrement pertinent dans le domaine de la chimie. En effet, Cohen (1994) a mis en évidence que la propension à breveter est particulièrement élevée dans ce secteur que ce soit pour les innovations de produit (65% contre 49% pour l'ensemble des secteurs industriels) ou de procédé (54% contre 31%). Arora et Gambardella (1998) fournissent trois justifications à cette propension élevée à breveter : l'utilisation des brevets est historique dans cette industrie et les acteurs sont donc familiarisés avec cette stratégie d'appropriation ; les inventions dans le domaine de la chimie reposent sur des connaissances aisément codifiables et brevetables ; les accords de licence sont une pratique courante dans le secteur de la chimie.

2.1 La méthodologie et la base de données de brevets

La principale difficulté de notre étude est d'ordre méthodologique et concerne plus particulièrement la capacité à identifier dans les bases de données les brevets liés spécifiquement à la chimie verte. En effet, comme nous l'avons expliqué dans la première partie de l'article, la CV est un domaine de recherche très vaste qui couvre un ensemble très diversifié d'opportunités technologiques. Il n'existe donc pas de code CIB spécifique permettant d'identifier une catégorie de brevets liés à la CV. Il nous a donc fallu élaborer un filtre de recherche, combinant des mots clés (recherchés dans le titre, le résumé et les revendications des brevets) et des codes CIB, nous permettant de couvrir les principaux domaines de la CV présentés dans la section 1.1. Nous avons procédé en trois étapes :

1. Grâce à une compilation d'ouvrages et de publications scientifiques clés dans le domaine de la CV, nous avons identifié une première liste de mots-clés reliés à chacun des quatre sous-domaines de la CV (cf. §1.1). Ces mots-clés ont également été validés par une série d'entretiens avec des chercheurs du LCPO (Laboratoire de Chimie des Polymères Organiques, CNRS, Université Bordeaux 1).

2. Ces mots clés ont été comparés et complétés avec ceux utilisés par Nameroff et al. dans leur étude de 2004 réalisée à partir des brevets déposés à l'USPTO.

3. Enfin, notre filtre de recherche a été complété par les codes CIB identifiés par l'OCDE (2011), dans leur rapport "*Sustainable chemistry: evidence on innovation from patent data*", ainsi que par les mots-clés caractérisant les "plastiques verts".

Le filtre auquel nous avons abouti (présenté de façon synthétique en annexe dans le tableau A.2), même s'il ne prétend pas être exhaustif, nous permet de couvrir en grande partie les différents domaines de la CV. Grâce à ce filtre, que nous avons fait tourner sur la base de données de brevets *Regpat*, nous avons pu identifier 144 brevets sur la période 1990-2009¹⁰ dont l'inventeur est localisé en Aquitaine. La base de données *Regpat* permet en effet de disposer de l'adresse de l'inventeur ayant collaboré à l'innovation brevetée, ce qui permet de localiser géographiquement le lieu de recherche et de développement. Notre analyse se concentre sur les brevets déposés à partir de 1990 et ayant fait l'objet d'un dépôt auprès de l'Office Européen des Brevets ou d'une extension au niveau international (brevets PCT). Cela signifie que nous ne capturons que les brevets les plus valorisés ou les plus stratégiques (i.e. déposés au niveau européen et non uniquement au niveau national), et que notre base de données régionalisée tend donc à sous-estimer les dépôts de brevets dans le domaine de la CV. Malgré cette restriction, notre méthodologie nous a permis de constituer une base de

¹⁰ Les chiffres pour l'année 2009 sont incomplets.

données originale de 144 brevets Aquitains à envergure internationale dans le domaine de la CV. C'est cette base de données que nous nous proposons d'exploiter afin de caractériser la trajectoire régionale d'innovation de l'Aquitaine dans le domaine de la CV. A titre indicatif, notre filtre de recherche permet de capturer un total de 3115 brevets français, ce qui porte la contribution totale de l'Aquitaine à 4,6% (Tableau 1).

Figure 1 : Dépôts français annuels de brevets dans le domaine de la CV

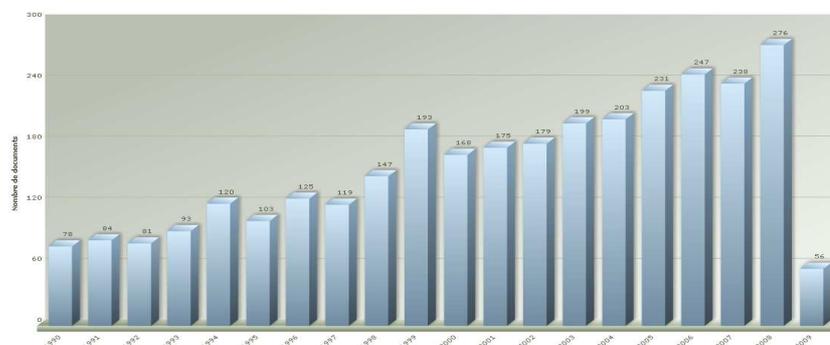


Figure 2 : Dépôts annuels de brevets aquitains dans le domaine de la CV

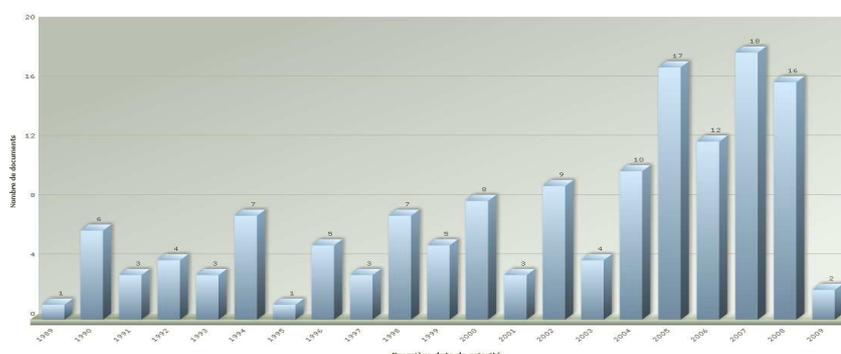


Tableau 1 : Positionnement relatif des brevets Aquitains dans le domaine de la CV

	Rapport brevets aquitains chimie verte sur l'ensemble des brevets français dans le domaine de la chimie verte	Rapport brevets aquitains chimie verte sur l'ensemble des brevets aquitains	Moyenne
1990-1995	5,04	3,45	4,10
1995-2000	3,06	2,50	2,75
2000-2005	3,68	3,15	3,39
2005-2009	6,02	5,10	5,60
Moyenne	4,60	3,70	

La figure 1 illustre l'accroissement régulier des dépôts de brevets français dans le domaine de la CV depuis 1990. En revanche, l'évolution au niveau Aquitain est plus irrégulière (cf. figure 2), même si elle est aussi marquée par une tendance croissante. Depuis 2004, le niveau de dépôts de brevets Aquitains dans la CV a dépassé le cap des 10 brevets par an. Ces premiers chiffres valident la capacité de notre filtre de recherche à capturer la montée en puissance des innovations brevetées dans la CV, tant au niveau régional que national. De plus, ces premiers résultats mettent en évidence une dynamique d'innovation croissante en Aquitaine depuis 2005. Cette tendance est confirmée par le tableau 1 qui montre que le poids de l'Aquitaine dans les brevets de la CV a quasiment doublé depuis 2005, pour atteindre 6%, ce qui est considérable dans la mesure où le poids total de l'Aquitaine dans les brevets français déposés à l'OEB en 2003 n'est que de 1,4% (ADERA-CRITEC, 2009). Ces chiffres mettent en exergue une dynamique régionale d'innovation dans la CV qui n'est

pas uniquement tirée par la tendance nationale, mais qui tend à s'amplifier et se consolider au niveau Aquitain. Il est donc intéressant, dans un premier temps, d'observer que le poids de l'industrie chimique en Aquitaine tend à se retrouver dans le poids de la région dans le domaine des innovations dans la CV. Pour préciser l'analyse de la trajectoire régionale, il est essentiel d'identifier clairement les sources et les acteurs de l'innovation.

2.2 Les sources de l'innovation : une multiplicité d'innovateurs structurés autour d'un petit groupe de firmes chimiques dominantes et de laboratoires publics de recherche

Le tableau ci-dessous présente les 20 principaux déposants de notre base de données de brevets Aquitains.

Tableau 2 : Poids des 20 principaux acteurs de la chimie verte en Aquitaine

	Rang au niveau régional	Détention de l'ensemble des brevets issus de la R&D régional (%)	Rang au niveau national	Détention de l'ensemble des brevets issus de la R&D nationale (%)
ARKEMA	1	22,2	4	4,3
CNRS	2	16,7	1	8,9
ELF	3	10,4	13	1,5
TOTAL	4	4,9	18	1,3
CEA	5	3,5	3	4,4
FLAMEL TECHNOLOGIES	6	3,5	30	0,7
UNIV BORDEAUX	7	2,8	-	-
INST FRANCAIS DU PETROLE	8	2,8	5	3,8
NESTLE	9	2,1	22	0,9
SAINT GOBAIN	10	2,1	6	3,7
CORNELL	11	2,1	-	-
LELECTROLYSE	12	2,1	-	-
SNPE MATERIAUX ENERGETIQUES	13	2,1	-	-
SANOVI AVENTIS	14	1,4	7	3,0
BASF	15	1,4	15	1,3
INSERM	16	1,4	12	1,5
RHONE POULENC	17	1,4	2	5,6
MERIEUX	18	1,4	32	0,6
SNECMA	19	1,4	39	0,5
RHODIA	20	1,4	8	2,6

Nous retrouvons Arkema en position de leader avec 22,2% des brevets Aquitains dans le domaine de la CV, sachant que Arkema représente également 15% des brevets Aquitains tous domaines confondus. Cette entreprise apparaît également en 4^{ème} position au niveau des dépôts de brevets français dans la CV. Ce résultat confirme nettement le leadership de cette entreprise au niveau de la dynamique régionale de l'innovation en général et, plus spécifiquement, dans le domaine de la CV. Cela suggère que l'entreprise Arkema a su utiliser ses compétences et ses capacités d'innovation pour exploiter les nouvelles opportunités technologiques liées à la CV. Cet argument illustre le poids du caractère cumulatif du processus d'innovation dans le domaine de la chimie, même lorsqu'il s'agit d'exploiter de nouvelles opportunités technologiques dans ce que l'on pourrait qualifier de nouveau paradigme. Cet argument peut d'ailleurs également être utilisé pour

atténuer le qualificatif de nouveau paradigme technologique souvent associé à la CV, puisque ce sont les mêmes firmes (Arkema, Elf, Total), issues de la pétrochimie, qui semblent jouer un rôle moteur dans la dynamique de l'innovation associée à la CV.

Tableau 3 : Comparaison dans le temps du poids de la recherche publique

	Contribution des acteurs publics de la recherche aux dépôts de brevets aquitains en Chimie Verte (%)	Contribution des acteurs publics de la recherche aux dépôts aquitains (%)
1990-1995	41,7	39,9
1995-2000	19,2	21,0
2000-2005	25,0	17,2
2005-2009	46,8	21,7
<i>Moyenne</i>	38,2	22,6

Si l'on poursuit l'analyse des principaux déposants, on peut constater la présence de 13 entreprises dont 7 appartenant au secteur de la chimie (en particulier la chimie fine). Cela montre que plus d'un tiers des principaux innovateurs dans la chimie verte provient des industries chimiques, ce qui souligne encore une fois la capacité de cette industrie à exploiter efficacement les opportunités technologiques liées à la CV. Les autres entreprises de notre échantillon sont issues des secteurs de la pharmacie, de l'agroalimentaire, de l'Aéronautique-Spatial-Défense, du bâtiment et du traitement de surface. Ces secteurs sont représentatifs de la structure industrielle de l'Aquitaine, ce qui montre que même si l'industrie chimique joue un rôle moteur, les principaux secteurs industriels de la région contribuent significativement à la trajectoire régionale d'innovation dans la CV.

Le deuxième résultat important du tableau 2 est le rôle du CNRS dans cette dynamique régionale de l'innovation. En effet, le CNRS apparaît comme le deuxième déposant le plus important de notre base, ce qui met en exergue l'importance des laboratoires publics de recherche, dans lesquels il faut également comptabiliser l'Université de Bordeaux et l'INSERM (respectivement au rang 7 et 16). Cet argument est amplifié par le tableau 3 qui met en évidence un résultat intéressant en termes de montée en puissance du poids des acteurs publics de la recherche. En effet, depuis 2005, la contribution des laboratoires publics de recherche dans les dépôts de brevets Aquitains dans le domaine de la CV a augmenté de façon drastique pour atteindre une part de 46,8%, ce qui est bien supérieur à la contribution moyenne de la recherche publique aux dépôts de brevets Aquitains tous domaines confondus. Il y a donc là une spécificité sectorielle sans doute liée au régime technologique de la chimie, caractérisé par un processus d'innovation fortement dépendant de la recherche scientifique (*'a science-based process'*).

En outre, dans la mesure où Arkema et le CNRS représentent à eux seuls 39% des dépôts de brevets Aquitain dans la CV, nous pouvons être tentés de conclure à une concentration marquée des sources de l'innovation. Cette conclusion s'avère invalidée lorsque l'on regarde plus précisément les caractéristiques de notre base de données de brevets (cf. tableau 4). Il faut en particulier noter le nombre élevé de déposants (92 pour 144 brevets), ainsi que le nombre de co-dépôts. Afin de pouvoir calculer l'indice de concentration Herfindahl, nous prenons en compte le nombre total d'occurrences¹¹ (et non uniquement le nombre total de brevets, en raison des co-dépôts). C'est ainsi que nous pouvons mettre en évidence que l'indice de concentration est très faible, alors que le coefficient d'entropie est élevé, ce qui nous permet de conclure que les dépôts de brevets Aquitains dans la CV sont en fait très fragmentés sur un ensemble diversifié de déposants.

¹¹ Afin de calculer les indices usuels de concentration tout en tenant compte des co-dépôts, nous raisonnons à partir du nombre total d'occurrences qui correspond au nombre total d'enregistrement des déposants (pour chaque brevet le nombre total de déposants est pris en compte et sommé sur l'ensemble de la base).

Tableau 4 : Caractéristiques de concentration des déposants

Nombre total de brevets Aquitains	144
Nombre total de déposants	92
Nombre de brevets avec co-dépôts (2 déposants ou plus)	46
Part des 4 premiers déposants dans le nombre total de brevets en %	50,7%
Nombre total d'occurrences	204
Indice de concentration d'Herfindahl	0,05
Coefficient d'entropie	3,82

En résumé, ces premiers résultats montrent que la dynamique régionale d'innovation dans la CV est structurée autour d'un groupe dominant d'acteurs constitué des grands entreprises industrielles de la chimie et des laboratoires publics de la recherche, autour duquel gravite un nombre important d'innovateurs provenant des différents secteurs industriels caractéristiques de la région. Une telle dynamique confirme le rôle important des acteurs publics de la recherche et des collaborations public-privé dans les systèmes régionaux d'innovation. La figure A.4 en annexe représente le réseau de collaboration du CNRS dans le domaine de la CV et montre le rôle central joué par cet acteur public de la recherche au sein du SRI Aquitain. Le rôle structurant du CNRS est lié à sa capacité à établir des collaborations avec un grand nombre de partenaires (une vingtaine environ) ce qui en fait le nœud central du réseau. Il est à noter également que la majorité des collaborations scientifiques des chercheurs aquitains du CNRS dans le domaine de la CV a été réalisée après 2004 et que Arkema représente un partenaire privilégié. Finalement, ces résultats soulignent également l'importance des caractéristiques du régime technologique de la chimie, à savoir la forte cumulativité de l'innovation et le rôle central des firmes dominantes de l'industrie chimique comme moteur de l'innovation. Néanmoins, la concentration des dépôts de brevet est bien plus faible que ce que l'on pouvait anticiper, à partir notamment des résultats de Breschi (2000) (cf. §1.2), ce qui s'explique sans doute par l'ampleur et la diversité des opportunités technologiques liées à la CV.

2.3 L'analyse qualitative de la trajectoire d'innovation : les domaines de spécialisation technologique

Dans cette dernière section, nous proposons d'étudier qualitativement la base de données de brevets aquitains dans la CV. L'objectif est d'identifier les domaines de spécialisation technologique du SRI Aquitain et de les comparer à la trajectoire nationale dans la chimie verte.

Le tableau 5 présente la distribution des brevets aquitains et français en 7 sous-domaines de la CV : les solvants alternatifs, les matières premières renouvelables, la catalyse, la biosynthèse, les procédés industriels et réacteurs alternatifs, l'énergie, et une dernière catégorie intitulée « brevets génériques » qui comprend les brevets qui ont été identifiés dans notre base grâce à des mots-clés génériques, tels que chimie durable ou minimisation de la pollution, et que nous ne pouvons classer dans un sous domaine technologique spécifique. Ces sous-domaines couvrent les grands thèmes de recherche de la CV présentés dans le paragraphe 1.1 avec une déclinaison plus précise inspirée des grands axes de la « feuille de route » de Suschem France 2010¹².

¹² http://www.suschem.fr/iso_album/brochuresuschem-web.pdf

Tableau 5 : Distribution des brevets aquitains et français par sous-domaine de la CV¹³

<i>Sous-domaine CV</i>	<i>Nombre de brevets aquitains</i>	<i>Part (%)</i>	<i>Nombre de brevets français</i>	<i>Part (%)</i>
Solvants alternatifs	35	22	512	14,2
Matières premières renouvelables	31	19,5	492	13,6
Catalyse	2	1,3	543	15
Biosynthèse	10	6,3	461	12,8
Procédés industriels et réacteurs alternatifs	49	30,8	878	24,4
Brevets génériques	26	16,3	504	14
Energie	6	3,8	214	6
<i>Total</i>	<i>159</i>	<i>100</i>	<i>3604</i>	<i>100</i>

Les brevets aquitains en CV couvrent principalement trois sous-domaines : les procédés industriels et les réacteurs alternatifs, les solvants alternatifs et les matières premières renouvelables. Au niveau national, la couverture des différents sous-domaines est plus équilibrée, même si la catégorie des procédés industriels apparaît en tête et représente près d'un quart des brevets français liés à la CV.

Les solvants alternatifs apparaissent également comme une spécialisation régionale. Ce domaine constitue en effet une priorité pour les entreprises de revêtement implantées en région et tournées vers la qualité de leur produit (Toyal, Renaulac).

Les matières premières renouvelables sont également un atout pour la région qui dispose d'espaces relativement vastes pour les ressources végétales qui peuvent être dédiés à des productions non alimentaires et qui s'accompagnent de compétences en matière d'extraction végétale. Les données de brevets retraduisent donc les performances industrielles de la région et, en particulier, la filière de l'extraction du végétal qui est relativement bien structurée avec des applications dans la santé, la beauté et l'alimentaire.

Ce tableau fait également apparaître, dans le cas aquitain, une sous-représentation des domaines liés à la catalyse, à la biosynthèse et à la chimie pour l'énergie. Deux pistes d'interprétation peuvent être proposées. Premièrement, ces résultats suggèrent que les innovations CV de la région sont plus faiblement orientées vers les techniques alternatives de synthèse chimique que les innovations CV au niveau national en raison de compétences régionales insuffisantes. Deuxièmement, notre filtre de recherche à travers le choix des mots-clés visant à capturer notamment les domaines de la catalyse et de la biosynthèse est incomplet. Cette deuxième raison nous paraît prédominante dans la mesure où la catalyse est l'un des piliers incontournables de la chimie pour augmenter la vitesse de réaction de la transformation chimique et qu'il est très difficile de capturer, par un petit nombre de qualificatifs accolés au terme catalyse, les substances, mélanges de substances ou produit fonctionnel nouveau qui font à la fois partie de cette technique et qui revendiquent leur appartenance à la CV.

Afin d'affiner notre analyse des spécialisations régionales, nous nous proposons d'étudier les spécialisations au niveau micro-économique. Dans ce but, nous calculons un indice de spécialisation technologique par acteur, et ce pour les 8 principaux déposants de notre base de données régionales (qui représentent au total 66,8% des brevets régionaux). Sur cette base, nous pourrions mettre en évidence les stratégies des acteurs qui sous-tendent les domaines de spécialisation régionale que nous venons d'identifier.

¹³ Les brevets qui utilisent des mots-clés appartenant à différents sous-domaines sont comptabilisés plusieurs fois, ce qui explique que le total des brevets aquitains est de 159 au lieu de 144 et que le total des brevets français est de 3604 au lieu de 3115.

Encadré 1 : Mode de calcul d'un indice de spécialisation

Un indice de spécialisation peut être calculé afin de déterminer le positionnement technologique d'un acteur par rapport à un ensemble d'acteurs. La formule de cet indicateur est la suivante :

$$\frac{n_{i,t}^j / \sum_j n_{i,t}^j}{\sum_i n_{i,t}^j / \sum_i \sum_j n_{i,t}^j}$$

Avec $n_{i,t}^j$ le nombre de brevets déposés par l'acteur i dans le sous-domaine j à la date t . Le numérateur représente la part du sous-domaine j dans le portefeuille de brevets du déposant i . Au dénominateur se trouve la part que représente le nombre de brevets déposés dans le sous-domaine j par l'ensemble des déposants dans la totalité des brevets.

Le tableau 6 présente les indices de spécialisation technologique des 8 principaux déposants de brevets CV Aquitains.

Tableau 6 : Indice de spécialisation des 8 principaux déposants Aquitains

	Solvants alternatifs	Matières premières renouvelables alternatives aux ressources fossiles	Catalyse	Biosynthèse	Procédés industriels et réacteurs alternatifs	Brevets génériques	Energies
ARKEMA	1,29	1,60	0,00	0,00	0,92	0,52	1,50
CNRS	1,89	1,35	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00
ELF	0,27	1,24	0,00	0,00	0,98	1,48	0,00
TOTAL	1,76	2,65	0,00	0,00	1,26	0,00	0,00
CEA	0,82	0,00	0,00	0,00	1,76	1,11	4,80
FLAMEL TECHNOLOGIES	0,00	0,93	0,00	0,00	0,00	4,43	0,00
UNIV BORDEAUX	0,00	1,16	18	0,00	1,47	2,77	0,00
IFP	4,11	0,00	0,00	0,00	2,35	0,00	0,00

Ce tableau fait apparaître que les trois domaines de spécialisation de la région Aquitaine (solvants, matières premières renouvelables et procédés industriels) sont portés par les grands acteurs publics et privés du SRI Aquitain. Arkema et Total, du côté des firmes, ainsi que le CNRS et l'Université de Bordeaux¹⁴, du côté des acteurs publics de la recherche, présentent des profils de spécialisation sur ces trois sous-domaines de la CV. Certains acteurs présentent des profils plus spécifiques avec une spécialisation très marquée sur certains sous-domaines, tel que Flamel Technologies sur les procédés, le CEA dans le domaine de l'énergie et l'IFP dans le domaine des solvants alternatifs. Ces domaines de spécialisation sont évidemment en relation avec le cœur de métier de ces firmes.

En conclusion, dans le domaine de la CV, le SRI Aquitain présente une spécialisation marquée dans les domaines des procédés industriels, des solvants alternatifs et des matières premières renouvelables. Ces spécialisations sont portées par les acteurs dominants du SRI Aquitain, à savoir les

¹⁴ L'Université de Bordeaux apparaît surspécialisée dans le domaine de la catalyse puisqu'elle détient l'un des 2 brevets sur la catalyse de notre échantillon, sachant que ce sous-domaine est sous-représenté dans notre base régionale.

grandes firmes de l'industrie chimique et les grands acteurs publics de la recherche (CNRS et Universités).

Conclusion

Si la chimie verte ouvre aujourd'hui, au niveau national et international, un large potentiel d'opportunités d'innovation, il apparaît à travers la base de données de brevets régionaux présentée dans cet article que ce potentiel est en voie d'exploitation sur le territoire Aquitain. Au niveau régional, les perspectives d'innovation liées à la CV apparaissent d'autant plus pertinentes que l'industrie chimique constitue un pilier important du système régional d'innovation, avec une forte concentration des risques technologiques sur des territoires bien localisés (tels que Ambes-Bassens ou le Bassin de Lacq) et des acteurs clés innovants (tels que Arkema, Rhodia-Solvay, PolymerExpert, LCPO). Ainsi, compte tenu de l'importance de la chimie comme domaine de spécialisation industrielle de la région et des problématiques de reconversion industrielle liées notamment au Bassin de Lacq, la chimie verte ouvre des perspectives nouvelles pour aller vers une chimie « plus propre » et plus durable tout en augmentant la compétitivité du territoire.

A partir d'une base de données originale de brevets Aquitains, nous avons cherché à capturer la trajectoire technologique de la région dans le domaine de la CV. Les résultats présentés mettent en exergue une dynamique régionale d'innovation dans la CV liée à la spécialisation historique de la région dans la chimie. Il apparaît en effet que les éco-innovations dans la CV valorisent les ressources locales et les spécialisations industrielles de la région. De plus, notre analyse met en évidence le rôle concomitant des laboratoires de recherche publique, des grands groupes industriels et des PME innovantes de la région dans les avancées de la chimie verte. Plus précisément, la dynamique régionale d'innovation dans la CV est structurée autour d'un groupe dominant d'acteurs constitué des grandes entreprises industrielles de la chimie et des laboratoires publics de la recherche, autour duquel gravite un nombre important d'innovateurs provenant des différents secteurs industriels de la région. Ces résultats corroborent l'importance des caractéristiques du régime technologique traditionnellement associé à la chimie, à savoir la forte cumulativité de l'innovation et le rôle central des firmes dominantes de l'industrie chimique, comme moteur de l'innovation. Néanmoins, l'ampleur et la diversité des opportunités technologiques liées à la CV ouvrent la voie à une constellation d'acteurs, ce qui transparaît dans la faible concentration des dépôts de brevets. Enfin, la place des industriels dans les orientations de recherche et d'innovation de la CV suggère que ce sont les industriels qui sont les prescripteurs essentiels de la recherche dans ce domaine, illustrant le fonctionnement de l'industrie chimique comme une '*industrie basée sur la science*' aux côtés d'une '*science basée sur l'industrie*'. De façon plus générale, il ressort que la dynamique de production des connaissances dans un domaine scientifique émergent tel que celui ouvert par la chimie verte est modelée tant par la définition du cadre conceptuel de cette nouvelle chimie (cf. les douze principes de la chimie verte) que par les spécialisations industrielles du territoire où sont implantés les acteurs privés et publics de l'innovation.

En termes plus qualitatifs, nos résultats montrent que les brevets aquitains en CV couvrent principalement trois sous-domaines : les procédés industriels et les réacteurs alternatifs, les solvants alternatifs et les matières premières renouvelables. Les domaines liés à la catalyse, à la biosynthèse et à la chimie pour l'énergie sont plus faiblement représentés. La couverture des différents sous-domaines de la CV en région peut donc sembler inégale et ainsi faire apparaître des points forts et des gaps technologiques. Les données de brevets confirment les atouts de la région en matières premières provenant de l'extraction végétale et en nouveaux procédés plus compacts, plus économiques et minimisant les déchets et leurs empreintes environnementales. Les domaines relativement absents ou peu visibles dans les données de brevets, notamment la catalyse et la biosynthèse, peuvent révéler des « trous » dans l'espace des compétences et connaissances liées à la

CV du système régional d'innovation alors que ces domaines représentent des défis communs à tous les acteurs du système.

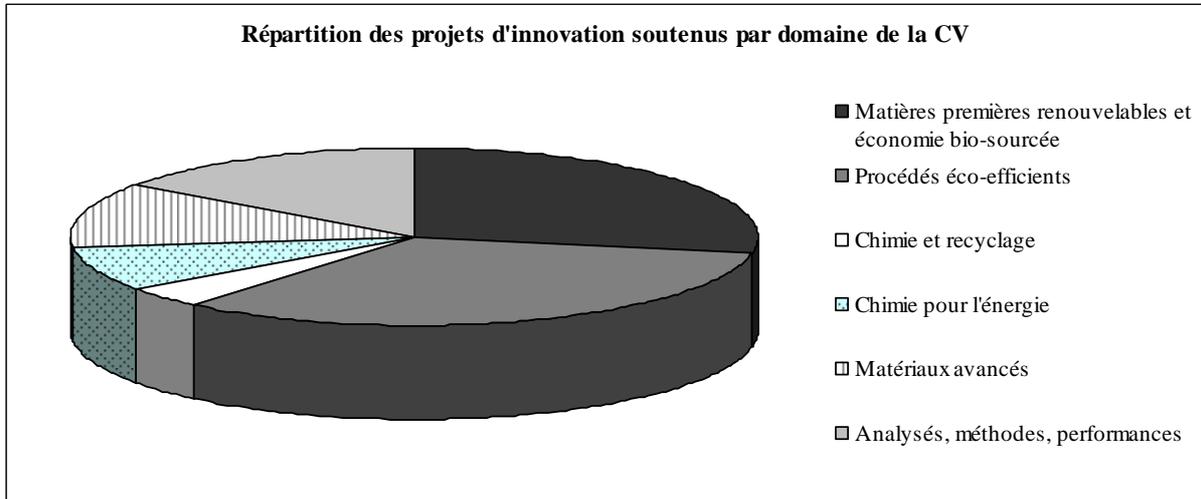
Finalement, si la chimie verte est souvent présentée comme un nouveau paradigme technologique pour la chimie, il apparaît qu'au niveau régional ces opportunités technologiques sont exploitées en fonction des spécialisations industrielles du territoire et des caractéristiques inhérentes au régime technologique de la chimie. Cela se traduit par des trajectoires technologiques portées par les grands acteurs de l'industrie chimique et les grands laboratoires publics du système régional d'innovation. Les orientations de ces trajectoires semblent avant tout déterminées par les spécialisations et les compétences locales, ce qui semble confirmer l'idée de régime technologique territorialisé à la Breschi (2000). Malgré le potentiel de changement de paradigme lié à la CV et l'ampleur des opportunités technologiques, la dynamique d'innovation semble portée avant tout par ce que Breschi (2000) appelle un régime d'innovation concentré et d'approfondissement dominé par un groupe restreint de grandes firmes dominantes et de grands acteurs publics de la recherche (CNRS). C'est donc de façon graduelle et cumulative que le système régional d'innovation intègre et développe les opportunités technologiques liées à la CV en déployant sa propre trajectoire technologique à partir de la base de connaissances et de compétences présentes sur le territoire Aquitain.

Annexes

Encadré 1 : Les 12 principes de la chimie verte

1. La prévention de la pollution à la source en évitant la production de résidus.
2. L'économie d'atomes et d'étapes qui permet de réaliser, à moindre coût, l'incorporation de fonctionnalités dans les produits recherchés tout en limitant les problèmes de séparation et de purification.
3. La conception de synthèses moins dangereuses grâce à l'utilisation de conditions douces et la préparation de produits peu ou pas toxiques pour l'homme et l'environnement.
4. La conception de produits chimiques moins toxiques avec la mise au point de molécules plus sélectives et non toxiques impliquant des progrès dans les domaines de la formulation et de la vectorisation des principes actifs et des études toxicologiques à l'échelle cellulaire et au niveau de l'organisme.
5. La recherche d'alternatives aux solvants polluants et aux auxiliaires de synthèse.
6. La limitation des dépenses énergétiques avec la mise au point de nouveaux matériaux pour le stockage de l'énergie et la recherche de nouvelles sources d'énergie à faible teneur en carbone.
7. L'utilisation de ressources renouvelables à la place des produits fossiles. Les analyses économiques montrent que les produits issus de la biomasse représentent 5 % des ventes globales de produits chimiques et pourraient atteindre 10 à 20 % en 2010. Plus de 75% de l'industrie chimique globale aurait alors pour origine des ressources renouvelables.
8. La réduction du nombre de dérivés en minimisant l'utilisation de groupes protecteurs ou auxiliaires..
9. L'utilisation des procédés catalytiques de préférence aux procédés stoechiométriques avec la recherche de nouveaux réactifs plus efficaces et minimisant les risques en terme de manipulation et de toxicité. La modélisation des mécanismes par les méthodes de la chimie théorique doit permettre d'identifier les systèmes les plus efficaces à mettre en oeuvre (incluant de nouveaux catalyseurs chimiques, enzymatiques et/ou microbiologiques).
10. La conception des produits en vue de leur dégradation finale dans des conditions naturelles ou forcées de manière à minimiser l'incidence sur l'environnement.
11. La mise au point des méthodologies d'analyses en temps réel pour prévenir la pollution, en contrôlant le suivi des réactions chimiques. Le maintien de la qualité de l'environnement implique une capacité à détecter et si possible à quantifier, la présence d'agents chimiques et biologiques réputés toxiques, l'état de traces (échantillonnage, traitement et séparation, détection, quantification).
12. Le développement d'une chimie fondamentalement plus sûre pour prévenir les accidents, explosions, incendies et émissions de composés dangereux.

**Figure A.1 : La répartition des projets d'innovation soutenus dans la chimie verte
(Données, Oséo, 2011)**



**Figure A.2 : La répartition sectorielle des projets d'innovation soutenus
(Données, Oséo, 2011)**

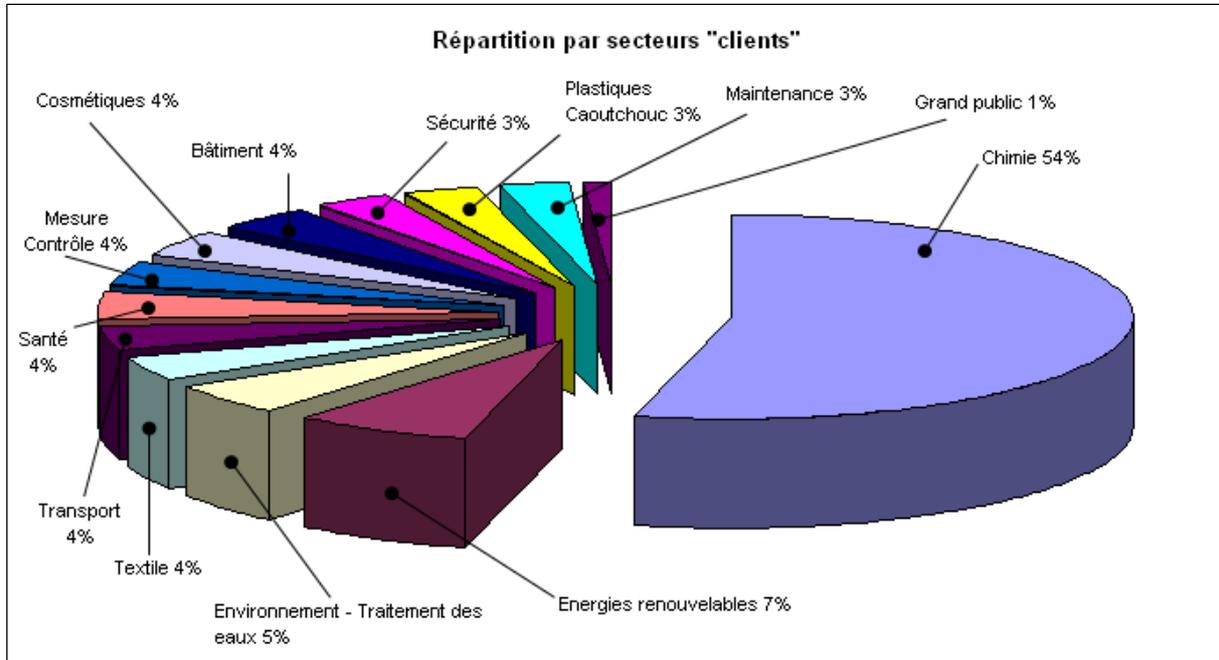
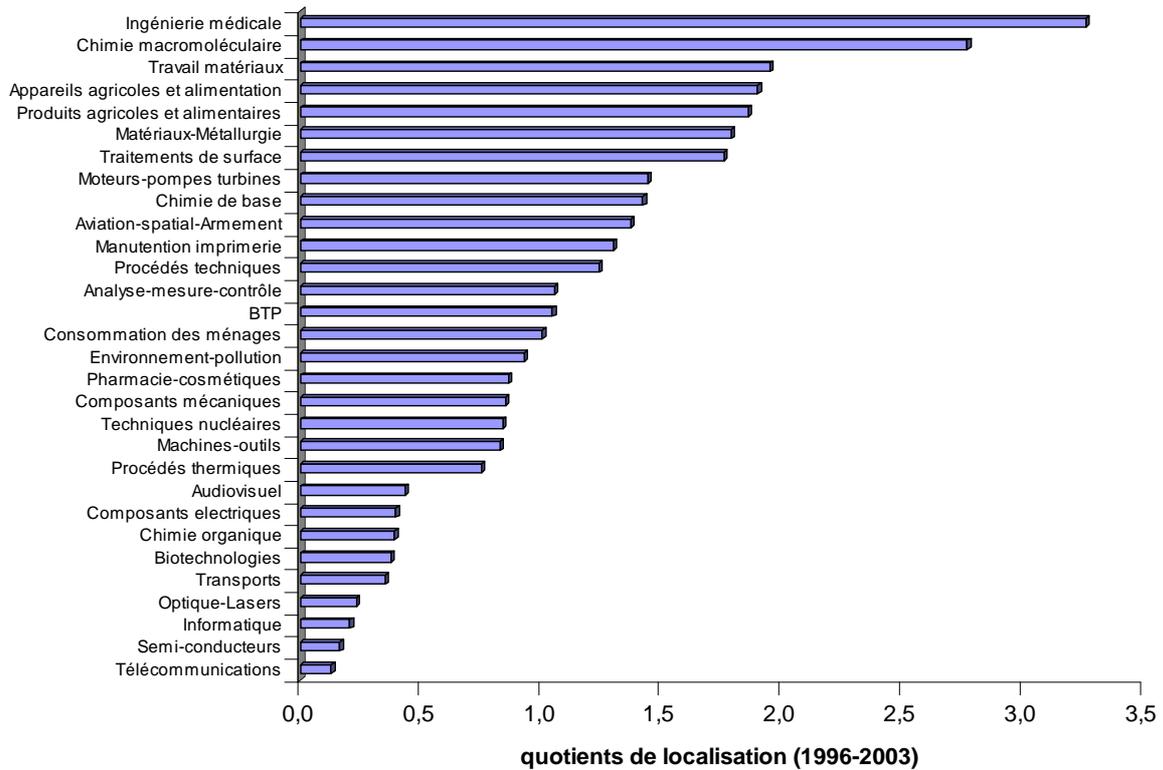


Figure A.3 : Les spécialisations technologiques de l'Aquitaine sur la période (1996-2003)



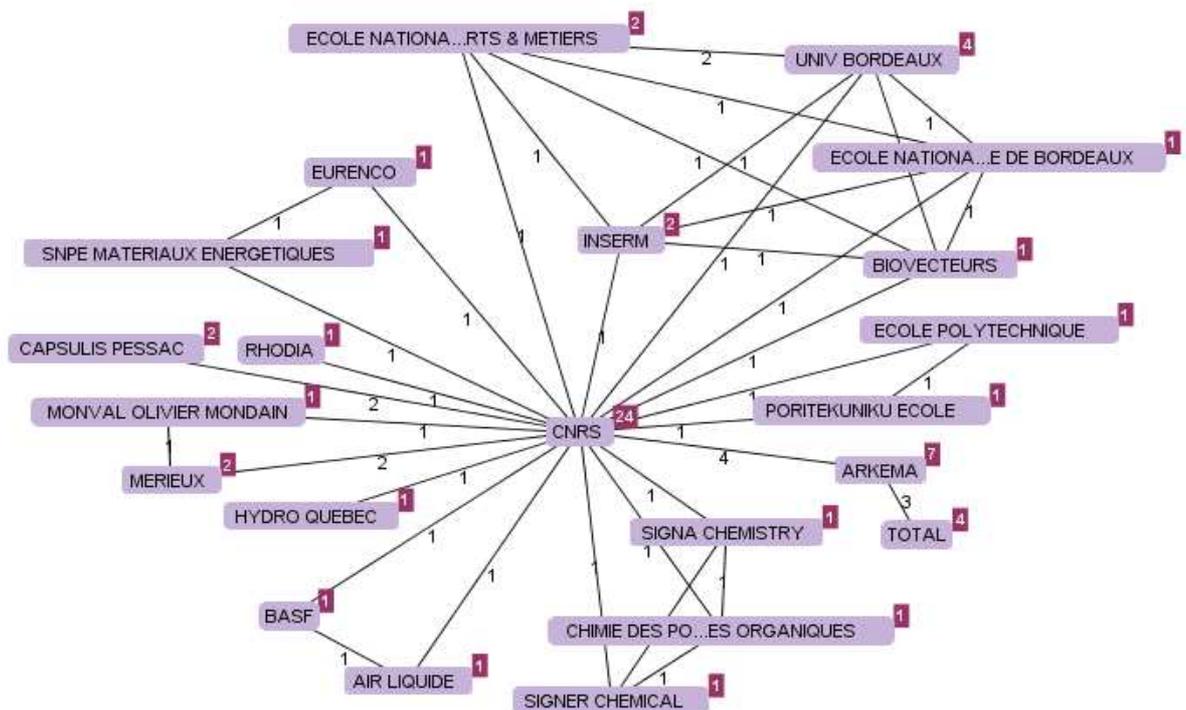
Source : REGPAT, février 2008 & base de données « brevets » OCDE, 2006. Traitement GREThA.

Tableau A.1 : La concentration des déposants au sein des 10 premiers domaines technologiques de spécialisation de l'Aquitaine (1996-2003)*

Part des principaux déposants	Total	Ingénierie médicale	Chimie			IAA		Matériaux		ASD	
			Chimie macromoléculaire	Chimie de base	Traitements de surface	Appareils agricoles et alimentation	Produits agricoles et alimentaires	Matériaux-Métallurgie	Travail matériaux	Moteurs-pompes turbines	Aviation-spatial-Armement
Prem.	15,2%	13,3%	54,1%	34,8%	31,0%	6,7%	9,1%	25,4%	15,3%	47,7%	35,0%
3 prem.	22,3%	25,8%	70,1%	47,0%	51,7%	20,0%	22,7%	67,8%	40,0%	65,9%	70,0%
5 prem.	24,9%	35,3%	79,1%	53,0%	65,5%	30,0%	31,8%	77,1%	52,0%	75,0%	80,0%
10 prem.	34,1%	50,3%	87,7%	68,2%	82,8%	46,7%	54,5%	87,3%	68,0%	86,4%	100,0%

*Déposants des brevets dont un inventeur au moins est résident en aquitaine, déposés auprès de l'OEB entre 1996 et 2003 (source : base REGPAT OCDE, traitement GREThA)

Figure A.4 Le réseau de collaboration du CNRS



Source	Codes CIB	Mots-clés (exemples)	Sous-domaines de la chimie verte	Lieu de recherche
Nameroff et al., 2004	B01 : Procédés ou appareils physiques ou chimiques en général B04 : Appareils ou machines centrifuges utilisés avec les procédés physiques ou chimiques C : Section chimie	Synthèse alternative, économie d'atome, biomimétique, etc.		
Travail sur les publications scientifiques, Equipe GREThA		Liquides ioniques, biocatalyse, biopolymères, photochimie, fluides supercritiques, réaction enzymatique, biocatalyse, biosynthèse, ultrasons, microréacteurs, micro-ondes, synthèse enzymatique, etc.	4 sous-domaines identifiés (cf. §1.2) : matières premières renouvelables, solvants alternatifs, nouveaux modes de réaction et de synthèse chimique, procédés industriels et réacteurs alternatifs	Titre, info clé, revendications, abrégé
Rapport OCDE, 2011	Code CIB : C08F-002/10 (<i>Solvant aqueux</i>) Code CIB : H01M8-16 (<i>Eléments à combustible biochimique, c. à d. éléments dans lesquels des micro-organismes agissent comme catalyseurs</i>) Code CIB : B65D-65/46 (<i>Matériaux d'emballage employant de matériaux désintégrables, solubles ou comestibles</i>) Code CIB : C12P7/00 (<i>Préparation de composés organiques contenant de l'oxygène</i>) Code CIB : D21C9/153 (<i>Post-traitement de la pâte de cellulose, p.ex. de la pâte de bois, ou des linters de coton : blanchissement avec de l'ozone</i>) ou D21C9/16 (<i>Post-traitement de la pâte de cellulose, p.ex. de la pâte de bois, ou des linters de coton : blanchissement avec des per-composés</i>)		Solvant aqueux Eléments à combustibles biochimiques Emballages biodégradables Biotechnologies / catalyses Procédés de blanchissement Plastiques verts	

Tableau A.2 Présentation synthétique du filtre de recherche

References

- ADERA-CRITEC, 2009, Etude sur les composantes globales du système régional d'innovation aquitain, mai.
- Anastas P. et Eghbali N., 2010, Green Chemistry: Principles and Practice, *Chemical Society Reviews*, 39, 301-312.
- Anastas P. et Warner J., 1998, *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxford University Press, Cambridge.
- Arora A. et Gambardella A., 1998, *The evolution of industry structure in the chemical industry*, in A. Arora, R. Landau, et N. Rosenberg (eds), *Chemicals and long term economic growth*, New York John Wiley and Sons.
- Asheim B. et Gertler M., 2005, "Regional Innovation Systems and the Geographical Foundations of Innovation", In: Fagerberg J, Mowery D, Nelson R, *The Oxford Handbook of Innovation* (Oxford, Oxford University Press), 291-317.
- Beach, E. S., Cui, Z. and Anastas, P. T., 2009, Green Chemistry: A design framework for sustainability. *Energy & Environmental Science*, 2, 1038-1049.
- Bitard P. et Doloreux D., 2005, Les systèmes régionaux d'innovation: discussion critique, *Géographie, Economie, Société*, Vol.7, pp.21-36.
- Braczyk H.J., Cooke P. et Heidenreich H., 1998, *Regional innovation systems*, Routledge Editions.
- Breschi S. et Lissoni F., 2001, Knowledge spillovers and local innovation systems: a critical survey, *Industrial and Corporate Change*, Vol.10(4), pp. 975-1006.
- Breschi, S., 2000, The geography of innovation: a cross-sector analysis, *Regional Studies*, Vol.34(3), pp. 213-229.
- Carrincazeaux C. et Gaschet F., 2006, Knowledge and the diversity of innovation systems: a comparative analysis of European regions, *Cahier du GRES*, n°2006-29.
- Clark, J. H., 2009, Chemistry goes green, *Nature Chemistry*, 1, 12-13.
- Cohen W., 1994, Fortune Favors the Prepared Firm, *Management Science*, 40:2:227-251.
- Cohen W.M. et Levinthal D.A., 1989, Innovation and learning: the two faces of R&D, *Economic Journal*, Vol.99, pp.569-596.
- Cohen W.M., Levin R. et Mowery D.C., 1987, Firm size and R&D intensity: a re-examination, *Journal of Industrial Economics*, Vol.35(4), PP.546-565.
- Collins, T., 2001, Papermaking - Green chemistry through the mill, *Nature*, 414, 161.
- Cooke P., 1992, Regional innovation systems: Competitive regulation in the new Europe, *Geoforum*, 23, pp.365-382.

- Cooke P., 2001, Regional innovation systems, clusters and the knowledge economy, *Industrial and Corporate Change*, Vol.10(4), pp.945-974.
- Dosi G., 1982, Technological paradigms and technological trajectories, *Research Policy*, 11, 147-162.
- Edquist C., 1997, *Systems of innovation: technologies, institutions and organizations*, Pinter, London.
- Linthorst, J.A., 2010, An overview: origins and development of green chemistry, *Found Chem*, 12, 55-68.
- Lundvall B.A., 1992, *National systems of innovation: towards a theory of innovation and interactive learning*, Pinter, London.
- Malerba F. et Orsenigo L, 1993, Technological regimes and firm behaviour, *Industrial and Corporate Change*, Vol.2(1), pp.45-71.
- Malerba F. et Orsenigo L, 1996, Schumpeterian patterns of innovation are technology specific, *Research Policy*, Vol.25(3), pp.451-478.
- Malmberg A. et Maskell P., 2002, The elusive concept of localization economies: towards a knowledge-based theory of spatial clustering, *Environment and Planning A*, vol. 34(3), pages 429-449, March.
- Nameroff T.J., Garant R.J. and Albert M.B., 2004, Adoption of Green Chemistry: an Analysis based on US Patents, *Research Policy*, 33, 959-974.
- Nelson, R.R., Winter, S., 1982, *An Evolutionary Theory of Economic Change*, London, The Belknap Press of Harvard University.
- OCDE, 2011, *Sustainable Chemistry: Evidence on Innovation from Patent Data*, ENV/JM/MONO(2011)4.
- Oséo, 2011, *L'innovation dans les entreprises en 2010*. Chimie, Synthèses sectorielles, Mai.
- Poliakoff, M. and Licence, P., 2007, Sustainable technology - Green chemistry, *Nature*, Dec, 450, 810-812.
- Poliakoff, M., Fitzpatrick, J. M., Farren, T. R. and Anastas, P. T., 2002, Green chemistry: Science and politics of change, *Science*, 297, 807-810.
- Rennings K., 2000, Redefining innovation -- eco-innovation research and the contribution from ecological economics, *Ecological Economics*, 32, 319-332.
- Sarrade S., 2008, *Quelles sont les ressources de la chimie verte?*, EDP Sciences.

Cahiers du GREThA ***Working papers of GREThA***

GREThA UMR CNRS 5113

Université Montesquieu Bordeaux IV
Avenue Léon Duguit
33608 PESSAC - FRANCE
Tel : +33 (0)5.56.84.25.75
Fax : +33 (0)5.56.84.86.47

<http://gretha.u-bordeaux4.fr/>

Cahiers du GREThA (derniers numéros – last issues)

- 2012-02 : MOYES Patrick, MAGDALOU Brice, *The Absence of Deprivation as a Measure of Social Well-Being. An Empirical Investigation*
- 2012-03 : MOUYSET Lauriane, DOYEN Luc, JIGUET Frédéric, *How does the economic risk aversion affect biodiversity?*
- 2012-04 : CARRINCAZEAUX Christophe, CORIS Marie, *The Decision-Making Process of Relocations: What, Where, How and Why?*
- 2012-05 : MONTOBBIO Fabio, STERZI Valerio, *The globalization of technology in emerging markets: A gravity model on the determinants of international patent collaborations*
- 2012-06 : CARRINCAZEAUX Christophe, GASCHET Frédéric, *Knowledge and diversity of innovation systems: a comparative analysis of European regions*
- 2012-07 : STERZI Valerio, *Academic patent value and knowledge transfer in the UK: Does patent ownership matter?*
- 2012-08 : FERRARI Sylvie, LAVAUD Sébastien, PEREAU Jean-Christophe, *Critical natural capital, ecological resilience and sustainable wetland management: a French case study.*
- 2012-09 : EPICOCO Marianna, *Knowledge patterns and sources of leadership: mapping the semiconductor miniaturization trajectory*
- 2012-10 : EPICOCO Marianna, OLTRA Vanessa, SAINT JEAN Maïder, *Mapping the scientific knowledge of the Green Chemistry community*
- 2012-11 : LALANNE Aurélie, POUYANNE Guillaume, *10 ans de métropolisation en économie : une approche bibliométrique*
- 2012-12 : BONIN Hubert, *La place lyonnaise et le démarrage de la deuxième révolution bancaire (1848-1870)*
- 2012-13 : BECUWE Stéphane, BLANCHETON Bertrand, *The dispersion of customs tariffs in France between 1850 and 1913: discrimination in trade policy*
- 2012-14 : OLTRA Vanessa, SAINT JEAN Maïder, *Les trajectoires régionales d'innovation dans la chimie verte : une application au cas de l'Aquitaine*

La coordination scientifique des Cahiers du GREThA est assurée par Sylvie FERRARI et Vincent FRIGANT. La mise en page est assurée par Anne-Laure MERLETTE.