

## La présence d'une problématique d'ancrage territorial dans les publications scientifiques en chimie doublement verte

*First Draft Ne pas citer*

CAZALS Clarisse<sup>a</sup>, SERGENT Arnaud<sup>a</sup>, VIVIEN Franck-Dominique<sup>b</sup>, BEFORT Nicolas<sup>b</sup>,  
MARTINO Nieddu<sup>b\*</sup>, RAMBONILAZA Mbolatiana<sup>a</sup> et HAUTDIDIER Baptiste<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Unité ADBX – Irstea Bordeaux

<sup>b</sup>Regards, Université de Reims

### Résumé

La bioraffinerie est présentée maintenant dans les documents de la commission européenne comme concept intermédiaire destiné à structurer la transition vers l'usage des ressources renouvelables (Starcolibri, 2011) ; une des justifications avancées est sa construction en termes d'écologie industrielle (Octave et Thomas, 2009). Or se posent deux problèmes : (1) l'optimisation des sites relevant de l'écologie industrielle ne garantit pas pour autant que l'ensemble des questions de développement durable soient prises en charge, en particulier parce qu'elle ouvre à une division du travail gérée selon des logiques de « nouvelle rente pétrolière », entre lieux de production fondés sur une intensification des pratiques d'agriculture industrielle, et sites de raffineries portuaires reliés par des marchés de commodités internationaux ; (2) il existe une diversité de voies de transformation des ressources végétales explorées dans les sphères scientifiques et technologiques (Nieddu, Garnier, Bliard, 2010, Nieddu 2011, Vivien, Debref & Nieddu, 2012), dont on peut supposer, sans que ce soit significativement documenté aujourd'hui, qu'elles ne sont pas neutres en termes de diversité d'ancrages territoriaux et d'usages des ressources.

L'objet de la présente communication est de s'appuyer sur ce constat de diversité dressé dans un projet ANR en cours, et (1) de chercher à établir s'il existe dans les publications scientifiques, des signes de l'intégration de cette problématique d'ancrage territorial sur des ressources correspondant aux caractéristiques de territoires (2) de se livrer à une première exploration de la possibilité d'associer des voies technologiques spécifiques à des ancres territoriales, avec un focus spécifique sur les ressources lignocellulosiques.

---

\* Auteur/s à qui la correspondance devrait être adressée : [martino.nieddu@wanadoo.fr](mailto:martino.nieddu@wanadoo.fr)

La bioraffinerie est présentée maintenant dans les documents de la Commission européenne comme le concept intermédiaire destiné à structurer la transition vers l'usage des ressources renouvelables (Starcolibri, 2011). Une des justifications avancées est sa construction en termes d'écologie industrielle (Octave et Thomas, 2009). Or, se posent deux problèmes : (1) l'optimisation des sites relevant de l'écologie industrielle ne garantit pas pour autant que l'ensemble des questions de développement durable soient prises en charge, en particulier parce qu'elle ouvre à une division du travail gérée selon des logiques de « nouvelle rente pétrolière », entre lieux de production fondés sur une intensification des pratiques d'agriculture industrielle et sites de raffineries portuaires reliés par des marchés de commodités internationaux ; (2) il existe une diversité de voies de transformation des ressources végétales explorées dans les sphères scientifiques et technologiques (Nieddu, Garnier, Bliard, 2010, Nieddu 2011, Vivien, Debref & Nieddu, 2012), **dont on peut supposer, sans que ce soit significativement documenté aujourd'hui, qu'elles ne sont pas neutres en termes de diversité d'ancrages territoriaux et d'usages des ressources.**

L'objet de la présente communication est de s'appuyer sur ce constat de diversité dressé dans un projet ANR en cours et : (1) de chercher à établir s'il existe, dans les publications scientifiques, des signes de l'intégration de cette problématique d'ancrage territorial sur des ressources correspondant aux caractéristiques de territoires ; (2) de se livrer à une première exploration de la possibilité d'associer des voies technologiques spécifiques à des ancrages territoriaux, avec un focus spécifique sur les enjeux de la valorisation des ressources lignocellulosiques.

En effet, les chercheurs en sciences sociales sont sollicités pour accompagner le développement de modèles économiques de bioraffineries de grande taille qui posent à la fois la question de la disponibilité en ressources et celle de l'adaptation de savoirs technologiques aux spécificités d'écosystèmes et de systèmes sociaux ancrés territorialement. La question qui leur est posée est donc celle d'une alternative entre accompagnement d'un modèle qui serait considéré comme le futur « dominant design » et repérage d'une variété de solutions potentiellement envisageables pour étudier leurs éventuelles confrontations et/ou complémentarités. Les usages alternatifs de la biomasse fondées sur les ressources lignocellulosiques se concurrencent pour l'usage de la ressource et s'opposent par leur vocation (transformation exclusivement énergétique dans des unités de très grande taille correspondant à une grande spécialisation forestière, usages mixtes chimie-énergie dans des unités dominées par les débouchés en termes de biocarburant, « circuits courts » de valorisation dans des filières bois-énergie, routes directes vers une chimie de spécialité).

**La première partie** de ce papier est dédiée au débat sur la variété technologique, à partir d'une investigation des publications scientifiques (le corpus de revues englobe des revues de chimie et d'ingénierie, des revues interdisciplinaires dédiées à des questions de développement durable et des revues de sciences sociales). Il s'agit d'établir si l'on peut retenir, à partir des travaux scientifiques, l'hypothèse d'un « dominant design » fondé sur le modèle économique *bioénergie et carburants-produits chimiques de base*, qui est celle des grands exercices technologiques, en particulier américains, cherchant à mimer et reproduire l'organisation économique de la pétrochimie dans une chimie du végétal.

Rejeter cette hypothèse et dresser un tableau de la diversité devrait pouvoir permettre de dégager un modèle théorique d'association entre les voies technologiques identifiées et les problématiques d'ancrage territorial. Néanmoins, l'articulation dans les systèmes sectoriels ou locaux d'innovation et de production entre les sous-systèmes d'innovation scientifique et technologique et les sous-systèmes socio-économiques n'est pas directe. Elle engage des évaluations sur les grandeurs technico-économiques qui laissent place à des jeux d'acteurs qu'il est nécessaire d'étudier empiriquement. C'est la raison pour laquelle on a souhaité, à la suite de l'investigation de la première partie en termes de *Science Studies* et *veille scientifique et économique*, conduire une investigation spécifique sur les filières lignocellulosiques, pour

réaliser une première exploration, dans une perspective multiniveaux et par une approche pluridisciplinaire, des variables conduisant aux problématiques d'ancrage territorial.

## 1. Discuter l'hypothèse de l'émergence d'un « dominant design »

La littérature sur la transition vers l'usage de ressources renouvelables emprunte à trois grands types de fondements théoriques (Grin *et al.*, 2010) : les "science et technology studies", l'économie évolutionniste néo-schumpeterienne et une sociologie s'inspirant de la théorie de la structuration de Giddens, qui cherche à unifier leurs apports respectifs dans une théorie générale de la transition d'un système socio-technique à un autre. Celle littérature cherche à analyser les transitions dans une perspective multiniveau (Multi Level Perspective = MLP) (Smith, VoB & Grin, 2010, Geels, var. ref. 2002 à 2010) et à proposer un "*paradigm for sustainable innovation policies*" (Nill & Kemp, 2009 : 677) prenant la forme d'un cadre cohérent de propositions pour le management de la transition.

### 1.1. Le modèle du « sustainability transition management »

Le réseau Sustainability Transitions Research Network<sup>1</sup> présente la particularité d'avoir reçu, au cours des années 1990 et au début des années 2000, le soutien du gouvernement néerlandais qui, semble-t-il, s'appuie largement sur son approche pour l'élaboration de politiques publiques et finance des programmes ambitieux de réflexion sur le domaine. Les travaux comprennent beaucoup d'approches de niveau local, tournées vers la planification urbaine (notamment dans l'usage de l'eau ou d'innovations de niveau communal autour de la problématique de villes neutres en CO<sub>2</sub>), ou le développement de productions locales d'énergies en milieu rural, de production locales, plus rarement de schémas nationaux (Danemark et Norvège).

#### 1.1.1. Une représentation évolutionniste de l'innovation environnementale

Ce modèle s'appuie sur une vision élargie aux évolutions sociales du modèle d'économie évolutionniste de représentation des systèmes sectoriels d'innovation et de production délimitées par une base de connaissances scientifiques et technologiques, un ensemble d'institutions intermédiaires et la nature de la demande adressée à l'industrie (Malerba, 2002). Il propose donc logiquement trois clés de changement : les incitations institutionnelles à produire de l'"*innovation environnementale*", la transformation des bases de connaissances scientifiques et technologiques du secteur vers un nouveau paradigme de "chimie verte"<sup>2</sup> et la transformation de la structure de la demande en direction de produits moins polluants (Oltra et Saint Jean, 2009, xx). Il propose également une séquence dans laquelle le changement technologique tend à suivre un cycle composé de deux étapes principales : une étape correspondant à une logique d'exploration du spectre des possibles de création d'une forte variété technologique et une étape de sélection par les marchés d'un « dominant design » (Abernathy & Utterback, 1978 ; Arthur, 1988 ; David, 1985 ; Tushman et Anderson, 1986; Utterback, 1994, Foray, 1996).

---

<sup>1</sup> Voir notre compte rendu à paraître dans la revue Nature, Sciences, Sociétés (Nieddu, 2013) de la 2ème conférence IST 2012 *Navigating Theories and challenging realities* -august 29-31, Copenhagen.

<sup>2</sup> "*Green Chemistry is defined as the design of chemical products and processes to reduce or eliminate the use and generation of hazardous substances.*" (Anastas et Eghbali, 2010 :301). L'émergence du concept de chimie verte réside dans la remarquable mise en forme et diffusion internationale d'une démarche non contraignante mise au point au sein de l'US Environmental Policy Agency -ce qui explique son succès outre atlantique au moment où se met en place la directive Reach en Europe-, et une codification sous la forme de 12 principes que les chimistes sont appelés à respecter, autant que faire ce peut (Linthorst, 2010) . La diffusion à partir de 1996 de ces 12 principes qu'aucun chimiste n'ignore aujourd'hui, la création de revues telles que *Green Chem* (1999), ou *ChemSusChem* (2008) dédiées à l'interface entre la chimie et de la durabilité attestent de l'importance du mouvement. Paul Anastas\* and Nicolas Eghbali, *Green Chemistry: Principles and Practice*, *Chem. Soc. Rev.*, 2010, 39, 301–312

Cette vision pose deux problèmes spécifiques dans le champ de la transition vers les ressources renouvelables. D'une part, elle suppose que le "paradigme" de la chimie verte soit suffisamment unifié pour acquérir une valeur prédictive et qu'on arrive à qualifier *a priori* des technologies et des innovations de "green technologies" ou d'innovations environnementales, un point qui est aujourd'hui très discuté<sup>3</sup>. D'autre part, elle oriente la recherche économique vers l'identification de "technologies victorieuses". La difficulté tient au fait que les effets cumulatifs liés aux rendements croissants ne peuvent tenir lieu d'explication de la sélection des technologies, puisqu'ils sont largement inconnus *ex ante*. La sélection de technologies renvoie donc à des logiques d'acteurs et à leurs propres représentations du futur au moment de leurs prises de décision<sup>4</sup>.

Ces problèmes de l'économie évolutionniste ont donc tout naturellement été transférés au sein du courant du management de la transition si l'on suit les discussions internes de ce courant (Smith *et al.*, 2005, Genus & Coles, 2008). Dans leur réévaluation du modèle de transition technologique, Genus & Coles (2008) considèrent qu'il est crucial, dans ce modèle, de disposer du point de départ et du point d'arrivée de la transition (en tant que variables exogènes) pour établir les stratégies de transition. Or, *"There has been a tendency to focus on 'winning' technologies and methodological issues concerning the functionalism of the MLP, and the poor conduct of historical case studies appear to have been undervalued. Moreover, there is a danger that some of the ideas implicit in this treatment of the MLP can seep into the policy making domain so that the 'reality' of a neat, mechanistic model of transition could become the dominant interpretation of the MLP. Where research has been concerned with transition management, it has been argued that the identity, activities and effect of supposed transition managers need to be treated with greater care in future. In failing to do this, transition management risks overstating the capability of transition managers to make improvements by design, or glossing over the politics of transitions"*. (Genus & Coles, 2008 : 1444).

### 1.1.2. La nécessité d'approches multiniveaux

Le point de vue que l'on souhaite défendre ici est qu'il est nécessaire de documenter *empiriquement* la variété des voies technologiques en formation pour au moins deux raisons.

La première est que l'idée d'un paradigme unique de la chimie verte permettant de déterminer quelles sont les "bonnes" innovations environnementales ne résiste pas à l'étude des comportements des acteurs en chimie verte : ceux-ci, dans les situations spécifiques liées à leur spécialisation, cherchent à assembler des compromis viables entre leurs corps de connaissance et les « 12 principes » de la chimie verte, ne mobilisant que quelques uns de ceux-ci qu'ils sont capables de tenir, en l'état des technologies dont ils disposent ou des types de réactions qu'ils mobilisent<sup>5</sup>.

La seconde est que l'idée de sentier de transition, ou de sélection de la "winning technology" parmi les différentes niches, parce qu'elle serait la solution la plus efficiente pour la transition, ne permet pas de rendre compte des dynamiques de formation de technologies et, par là-même, ne permet pas de documenter correctement les problèmes de choix, que ce soit dans les politiques publiques ou les stratégies des acteurs privés<sup>6</sup> : *"Cohen's article suggests*

---

<sup>3</sup> Cette question a notamment fait l'objet d'un keynote de R. Kemp : "Sustainable innovation do not exist !" à la DIME Conference on "Innovation, Sustainability and Policy", Bordeaux, 11-13, September 2008.

<sup>4</sup> "In the formulation of these programmes, one should not rely altogether on the solutions favoured by established actors who are likely to be locked into old ways of thinking and have an interest in the status quo" (Kemp, 2008, op cit, p. 10).

<sup>5</sup> Voir Lancaster (2002) et nos propres interviews de chimistes dans le cadre du projet ANR.

<sup>6</sup> Notre question de recherche ne porte pas directement sur ces problèmes de choix eux mêmes mais sur la base documentaire permettant de dégager les faits stylisés sur lesquels les délibérations peuvent s'appuyer. Néanmoins on pointera ici qu'un des enjeux est de savoir si l'on va effectivement passer de régimes socio-techniques articulés autour d'un artefact dominant (l'automobile par exemple) à des régimes socio-techniques structurés de même, ou si ceux-ci, dans une problématique de soutenabilité ne seront

*analysis of green niche dynamics consider them not just in the context of the current regime, but also in competition with unsustainable practices in niches more closely aligned with the interests of the regime (see also Geels and Schot, 2007). Others have also argued that sustainability analysis must include the counter-veiling effects of unsustainable transitions in the making (Shove and Walker, this issue). There is a contest between various niches, each positioned differently in relation to regimes (Scoones et al., 2007)."* (Smith & al., 2010:443).

De ce point de vue, trois représentations des transitions structurent les comportements si l'on suit les débats du colloque IST 2012.

La première est une approche partant de la gestion « stratégique » d'innovations émergeant dans des « niches » locales (dite *strategic niche management*). Les problèmes de management de la transition deviennent alors des problèmes d'expérimentation, de « learning » (d'apprentissages locaux ou globaux et de construction des réseaux pertinents pour la diffusion des niches vers le régime socio-économique). Le cœur du problème d'apprentissage cognitif est donc la co-évolution des niches qui se confrontent à la cohérence de ce dernier ; alors que l'on sait que les changements de ce dernier dépendent aussi de la façon dont des pressions d'environnement (macrosociales) peuvent le déstabiliser pour ouvrir la voie à l'expression des potentialités des niches.

La deuxième est une approche plus politique (dite *transition management*), visant à résoudre les contradictions entre les ambitions de long terme et les considérations de court terme. Elle mobilise donc une approche en termes de « backcasting »<sup>7</sup>, de portefeuilles de technologies disponibles et de cycles d'apprentissage/évaluation collective. Les questions-clés deviennent alors la construction des étapes intermédiaires sur le chemin menant à la vision du futur retenue, et des processus d'évaluation des avancées, ce qui suppose que les étapes de délibération et apprentissages suffisent à réussir à dépasser les « lock-ins » et contraindre les structures de pouvoir du régime actuel.

La troisième approche, plus récente, insiste précisément sur le fait que ce dernier point est central : il porte donc une attention spécifique à la façon dont les stratégies de transition sont conçues et encadrées par des acteurs bien établis (d'où l'appellation *endogeneous navigation by entrenched actors*). L'ambivalence des politiques est donc le nœud des problèmes de gouvernance de la transition (terme générique employé par tous les courants qu'on pourrait par ailleurs discuter). La gouvernance ne peut éliminer cette ambivalence et doit au contraire avoir comme prémisses l'existence de représentations conflictuelles. Une telle position cherche donc à échapper à la tendance naturelle de la littérature en management de la transition à mettre l'accent sur la construction de consensus ; elle argumente la nécessité de cartographier la diversité des voies technologiques, des représentations et des tensions afin de démontrer l'existence de solutions alternatives. L'ambition est celle d'une approche critique des représentations et politiques dominantes, destinée à favoriser la formation de coalitions nouvelles dans ce que les auteurs appellent des « arènes de développement ».

## 1.2. La bioraffinerie comme lieu d'observation

L'étude de cas présentée ici sur la bioraffinerie fournit un contexte dans lequel il est possible d'étudier à la fois les questions de variété technologique en relation avec des stratégies d'acteurs, de construction de visions du futur dans des processus de transition et de relations

---

pas nécessairement fondés sur une forme de diversités de tailles et de technologies ( le cas de l'énergie illustrant cela).

<sup>7</sup> Le backcasting, est en littérature de prospective l'enchaînement de causalités *du futur vers le présent*. Les analyses de type backcasting se préoccupent, non pas du futur susceptible d'advenir, mais de la façon dont les futurs souhaitables peuvent être atteints. Elle est donc explicitement normative, et suppose de travailler « à l'envers » : d'une situation particulière future souhaitable vers le présent afin de déterminer la faisabilité physique ou technique de ce futur, ainsi que les décisions politiques ou de pilotage de la recherche qui seraient exigées pour atteindre ce point. Cette méthode est notamment utilisée par la Commission européenne pour l'élaboration des visions pour futur consensuelles de ses plate-formes technologiques, telles que celle de Suschem (voir sur le site de Suschem le document *Vision for the futur*).

entre technologies et développement durable. La formation du concept de bioraffinerie peut être vue comme celle d'un "objet intermédiaire", au sens que Vinck (2009) donne à ce terme : un objet possédant une dimension et des attributs matériels, mais aussi une dimension abstraite et conceptuelle qui en fait un outil de coordination. L'objet « bioraffinerie » a ainsi été travaillé dans des exercices de "technological roadmaps" de l'USDA et dans des projets européens financés non pour produire des avancées scientifiques, mais pour expliciter la vision du futur autour de laquelle pourront s'écrire les programmes scientifiques (Biorefineries Joint Coordination and support action call de 2008, par exemple)<sup>8</sup> : il est donc construit pour penser une issue normative particulière à la transition de nos sociétés vers l'usage de ressources renouvelables.

La percée de ce concept dans la littérature des biochimistes, de la catalyse, de la chimie de spécialité et des sciences de l'ingénieur pour la chimie, atteste de la mise en place de grandes communautés scientifiques dédiées à l'émergence du concept<sup>9</sup>. Cette littérature contient en particulier de vastes "états de l'art", souvent établis par les chercheurs les plus chevronnés. Notre hypothèse est donc qu'ils constituent des "récits" qui ne portent pas seulement sur les questions scientifiques. Ces états de l'art opèrent une remise en contexte des différentes dimensions institutionnelles, sociales, environnementales et économiques, pour positionner une communauté par rapport à celles-ci. Ils déploient également une réflexion, explicite ou non, sur la variété des technologies potentiellement candidates au développement de la bioraffinerie, la compétition entre voies et le périmètre des patrimoines productifs collectifs qu'il est nécessaire de mobiliser pour conduire la transition vers un nouveau régime socio-technique. On a donc souhaité analyser cette littérature, en la confrontant à des sources de nature différente, entretiens avec des scientifiques du domaine et veille sur les produits (encadré 1), en mobilisant une démarche narrative (Dumez et Jeunemaitre 2005, Czarniawska-Joerges, 2004).

### 1.2.1. La bioraffinerie comme objet intermédiaire et patrimoine productif collectif

Si l'on considère la bioraffinerie dans sa dimension abstraite et conceptuelle, elle fonctionne pour porter un *mythe rationnel* au sens que lui donne Hatchuel (1997) : un guide pour l'action qui conduit à assembler des ressources collectives sur un sentier de développement particulier. Elle résume la thèse, selon laquelle le « challenge du développement soutenable » [Clark *et alii*, (2006)] passe par une substitution des process du pétrole finissant par du carbone « bio » (au sens d'issu de matières premières renouvelables), là où d'autres innovations socio-techniques pourraient être envisagées. Les transformations ou remodelages du mythe permettent donc de rendre compte des changements dans le périmètre des patrimoines productifs collectifs envisagés.

Deux dimensions du caractère de patrimoine collectif de la bioraffinerie doivent être soulignées ici. Cet objet vise à organiser « le pont entre l'agriculture et la chimie », pour reprendre le titre d'un article de Sanders *et al.* (2007). Il s'agit donc d'assembler des bases de connaissances dont Malerba (2002) a montré qu'elles structuraient des systèmes productifs et d'innovation sectoriels différents (sciences agronomiques, biotechnologies, pharmacie mais aussi chimie traditionnelle). Par ailleurs, chose que les acteurs avaient peut-être sous-estimée en reprenant le terme de « bio », ils vont devoir doter les produits nouveaux d'une identité spécifique, caractérisée par sa *multifonctionnalité* : porter à la fois les propriétés fonctionnelles usuelles des produits pétroliers pour satisfaire une demande d'industriels ou de consommateurs et des

---

<sup>8</sup> Celui-ci succède à deux projets (Biopol et Biorefinery Euroview) financées par la commission européenne dans le Sixth RTD Framework Programme Specific Support Action FP6-2005-SSP-5-A.

<sup>9</sup> L'intérêt pour la notion a connu une véritable explosion dans les revues de chimie : on recense sur les bases de données (Scopus et Wiley) au mieux un à deux articles par an de 1987 à 2000, et seulement 14 en 2003, au moment où le prix du pétrole connaît le début de son décollage, pour atteindre 234 articles en 2009 sur Science direct (interrogé avec le mot clé biorefinery). Début septembre 2009, on y trouvait une dizaine d'articles 2010 disponibles (publiés sous format électronique). Science Direct donne 399 articles en 2010, et sa consultation le 3 mars 2011, déjà 229 articles sur 2011.

éléments de ce que l'on entend par développement durable (biodégradabilité, caractère « vert » des process, etc.) intéressant la collectivité<sup>10</sup>.

La bioraffinerie est donc à la fois le moteur et le résultat de l'instauration d'un régime d'innovation particulier. Les acteurs qui le portent doivent trouver des arrangements permettant de tenir *en dynamique* une cohésion entre diverses contraintes. C'est pourquoi on a souhaité s'appuyer, pour décrire de tels arrangements, sur la démarche narrative, au sens où l'on cherche à rendre compte : (1) des choix de ces acteurs, en tenant compte de leur univers de connaissances *au moment* où ils font ces choix, et non en réécrivant une cohérence *a posteriori* [Dumez & Jeunemaitre (op.cit., 2005)] ; (2) des variantes dans les récits de la littérature scientifique, en ce qu'elles peuvent conduire à des sentiers d'apprentissages collectifs concurrents par les matières premières ou les process utilisés.<sup>11</sup>

Comment ce modèle technologique du fractionnement, support de création de produits, va-t-il se transformer ? D'une part, une impasse apparaît dès lors que l'alimentation n'est plus conçue du seul point de vue technologique des apports nutritionnels unitaires en carbone ou protéines indifférenciées, mais tient compte des dimensions organoleptiques ou d'acceptabilité sociale. D'autre part, au milieu des années 1980, la saturation des marchés alimentaires et la généralisation des excédents alimentaires conduisent les acteurs du monde agricole et les chercheurs de l'INRA à théoriser deux stratégies : une stratégie de valorisation totale de la biomasse pour pallier à la faiblesse de la valeur ajoutée dans l'agriculture et les agro-industries et une stratégie de « VANA » (valorisations agricoles non alimentaires), dans laquelle s'inscrit le concept de raffinerie végétale. Mais il est important de noter que la seconde est raisonnée à partir de l'existant et donc de la première : c'est la valorisation des produits et des co-produits qui est le moteur de la recherche de VANA. Parallèlement à des tests de fractionnement/cracking à vocation énergétique sur des unités pilotes autonomes, le concept va donc se développer en cherchant à élargir la gamme de produits issus des savoir-faire de l'alimentaire et de l'amidonnerie.<sup>12</sup> L'industrie de la pâte à papier connaît le même mouvement de saturation des marchés et d'émergence d'excédents de capacité de production conduisant aux mêmes raisonnements (Stuart, 2006). On va donc, dans la suite de l'article, insister sur les produits qui, au-delà des agro-carburants, mobilisent la recherche scientifique dans le développement de la bioraffinerie.

La formulation du concept de bioraffinerie est conduite à travers de grands exercices de « feuilles de route technologiques »,<sup>13</sup> que ce soit aux États-Unis ou en Europe, suscités par les acteurs agro-industriels durant la période 1999-2004. Ils vont donner lieu à un groupe de travail

<sup>10</sup> D'où notre usage pour le projet ANR support de cet article, d'un concept de chimie « doublement verte » : à la fois par ses matières premières et par ses procédés. L'usage des ressources agricoles en chimie, que certains ont appelé de ce fait chimie verte (Colonna, 2006) ne garantit pas le respect des 12 principes de chimie verte au sens d'Anastas & Warner (1998). Ce qui est en soi logique : Lancaster (2002) souligne à plusieurs endroits qu'il y a souvent contradiction dans la réalité entre ces principes même, et qu'il revient à l'action collective de fixer un *compromis acceptable* entre eux.

<sup>11</sup> Ces variantes confirment les limites de la notion de communauté de pratique pointées par Hatchuel, Le Masson & Weil (2002), lorsqu'on oublie que celle-ci est aussi construite en fonction d'enjeux concurrentiels, tout autant dans le monde de la science que dans celui de l'économie.

<sup>12</sup> Les résultats présentés par les animateurs du projet européen Biorefinery Euroview (journée de restitution du 30 mars 2009, Bruxelles) vont dans ce sens de la perception par les acteurs d'une continuité historique des patrimoines productifs collectifs avec les activités non liées à l'énergie : Un des facteurs-clés de réussite avancé pour des bioraffineries est son ancrage sur ces activités, que ce soit pour le secteur de la papeterie ou celui de l'alimentaire.

<sup>13</sup> On peut citer ici trois grands documents de référence en la matière : (1) Le document USDA DOE (1999) "Vision" document *Plant/ Crop-Based Renewable Resources 2020: A Vision to Enhance U.S. Economic Security Through Renewable Plant/Crop-Based Resource Use* », <http://www.oit.doe.gov/agriculture/>, DOE/GO-10099-706, February 1999. (2) Le document déterminant les grands intermédiaires d'origine agricole prioritaires (T Todd Werpy and Gene Petersen (ed.) (2004) *Top Value Added Chemicals from Biomass: Volume 1—Results of Screening for Potential Candidates from Sugars and Synthesis Gas*, Report produced for the U.S. Department of Energy (DOE), by the National Renewable Energy Laboratory, a DOE national Laboratory, August 2004, 76p.) (3) L'exercice de synthèse des opportunités technologiques élaboré pour la Commission Européenne par Wolf, O. et alii (2005) *Techno-economic feasibility of large-scale production of bio-based polymers in Europe*, European Commission: Technical Report EUR, 22103 EN 256 p.

entre l'Europe et les Etats-Unis en 2004 et à deux projets européens (Biorefinery Euroview et Biopol (2007). Ces projets supportés par les PCRD et la plate-forme européenne SUSCHEM sont explicitement dédiés à la construction de la « vision » à long terme du développement de la bioraffinerie. Ils rassemblent des scientifiques et des décideurs à statut collectif, dans le cadre de partenariats public/privé (comme la structure EuroPol'Agro en Champagne Ardenne et les pôles de compétitivité). Ils intègrent des travaux visant à s'assurer de l'acceptabilité sociale de la bioraffinerie (Peck *et al.*, 2009).

### 1.2.2. Reformulation du concept en termes de développement durable

Le point de vue « développement durable » est intégré dans une définition de la bioraffinerie apparemment soigneusement pesée et enrichie par les parties prenantes, si l'on en croit l'existence de versions précédentes qui ne comprenaient pas cet aspect<sup>14</sup>. *“Biorefineries are integrated bio-based industries using a variety of technologies to make products such as chemicals, biofuels, food and feed ingredients, biomaterials (including fibers) and heat and power, aiming at maximising the added value along the three pillars of sustainability (Environment, Economy and Society)”*.

Comment les récits produits dans le cadre des publications scientifiques et des projets européens mettent-ils en avant ce point de vue ? La bioraffinerie n'est plus présentée comme une unité industrielle indépendante, mais comme un *site* industriel où des unités juridiquement et économiquement indépendantes cherchent à trouver des synergies. Celui-ci est ancré dans le territoire, en relation à une production locale : céréales et sucre de betterave sur le site de Pomacle en France (voir schéma plus bas), Betterave et prairie permanente en Autriche, Allemagne et Danemark, couple pomme de terre / luzerne aux Pays Bas (Sanders, *et al.*, 2007), lignocelluloses du bois en Suède (Hahn-Hägerdal *et al.*, 2006). Les descriptions de ces complexes industriels organisent la mise en scène d'échanges selon une logique de « symbiose industrielle » (Realf & Abbas, 2004). *« Les déchets et sous-produits de la première pourraient être la matière première pour la seconde et une source d'énergie pour la troisième »* (Octave et Thomas, 2009:663). Elles répondent ainsi aux principes d'écologie industrielle. Ainsi, dans le schéma de présentation du site de Pomacle (France) (voir ci-dessous), considéré aujourd'hui comme exemplaire en Europe, les synergies entre entreprises sont déclinées en termes de récupération de condensats de vapeur, d'énergie, de traitement des effluents et de mise à disposition de co-produits devenant les matières premières du partenaire (dont la récupération de CO<sub>2</sub> pour des usages industriels).

---

<sup>14</sup> On s'appuie sur l'ensemble des matériaux présentés lors de la journée de restitution de ces deux projets à Bruxelles « Biorefuture » le 30 mars 2009, et notamment sur Soetaert W. (2009).



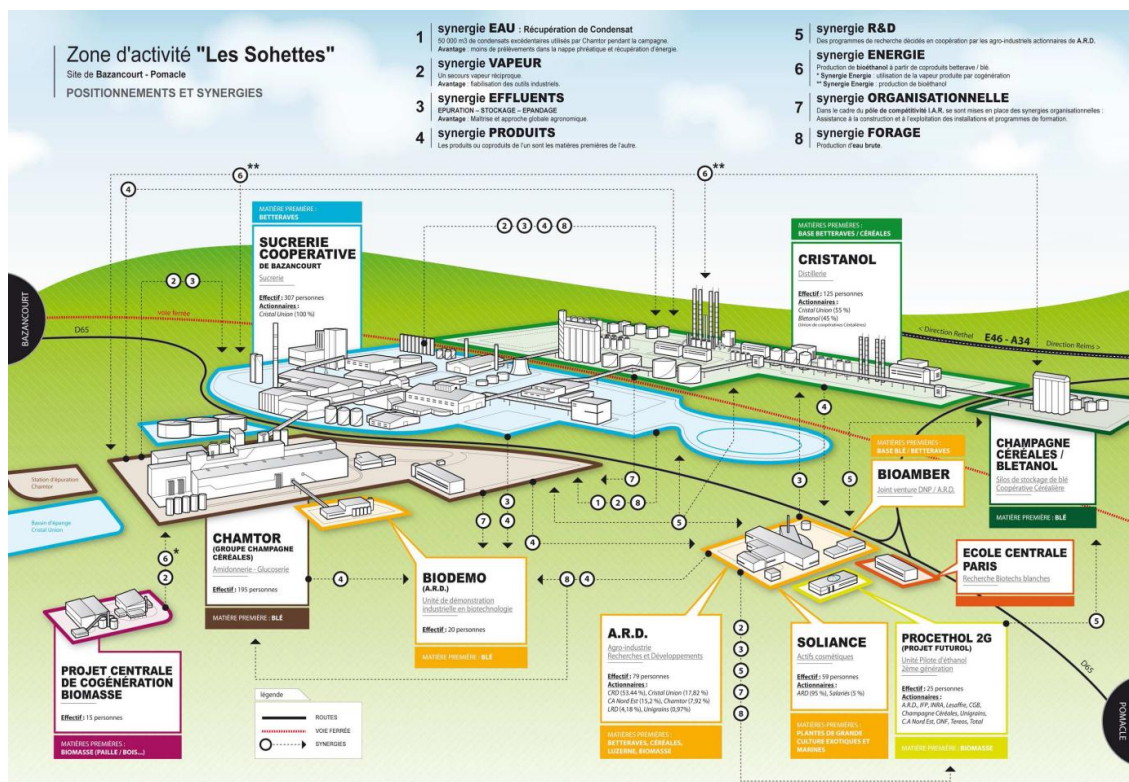


Figure 1. Dépliant de présentation du site de Pomacle, réalisé par ARD

La prudence vis-à-vis des facteurs sociétaux doit être comprise au regard de l'objectif que vont se donner les acteurs-clés : créer au nom du développement durable de nouveaux grands sites de l'industrie chimique. Ils décident de mettre en avant les efforts faits dans le domaine des polymères et des matériaux, mais aussi dans les espérances technologiques d'agrocarburants de 2<sup>ème</sup> génération fondées sur les parties non alimentaires de la plante ou des plantes non alimentaires, à mesure qu'enfle la polémique sur la concurrence entre nourrir les hommes et produire des biocarburants, et qu'il apparaît irréaliste que ces derniers soient un jour capables d'assurer seuls l'équilibre économique de la filière (Bozell, 2008). La « bioraffinerie intégrée » se présente donc comme un objet diversifié, mettant l'accent sur le fait qu'elle est adaptable à des situations de fourniture de produits agricoles ou renouvelables variés.

#### Encadré n°1 : Un concept unificateur, mais une diversité des solutions technologiques

Le consensus, opéré entre les grands acteurs européens de la chimie du végétal, pour construire le concept de bioraffinerie les conduit à proposer de légitimer quatre grands types de bioraffineries (bioraffinerie à base de lignocellulosiques, bioraffinerie utilisant la plante entière, bioraffinerie verte, concept de raffinerie à double plate-forme) (cf. Biorefinery Euroview) selon les ressources utilisées, et deux types de plate-formes de traitement : des plate-formes thermochimiques et des plate-formes biochimiques (utilisation de procédés enzymatiques issus des biotechnologies blanches).

La catégorie de filières lignocellulosiques (à base de paille) permet de répondre aux critiques sur les biocarburants, en insistant sur l'utilisation des matières premières non alimentaires et des parties non valorisées de plantes ; elle permet également d'intégrer dans la même arène stratégique les unités de pâte à papier fondées sur le bois. Les projets « paille » avancent leur plus faible empreinte écologique par rapport aux process « bois » car ils n'utiliseraient pas de compounds à base de sulfures et de chlorure (Kadam *et al.*, 2008) ; mais Clark (2007) recense des efforts importants pour que les capacités de production inemployées en foresterie soient mobilisées dans une « bioraffinerie bois » selon des principes de chimie verte.

La catégorie « plante entière » fusionne les activités liées aux amidons matériaux modifiés avec la production de carburant. Ceci suppose que le complexe agro-industriel « plante

entière » englobe des unités de traitement lignocellulosique *sur le même site* (des contre-exemples existent d'ores et déjà, laissant entendre que le schéma « plante entière » est avant tout théorique). Cette catégorie peut donc être pensée avec une très grande variété d'itinéraires technologiques et de produits finaux, une des solutions étant de maximiser la production d'éthanol en y orientant systématiquement les transformations de chaque substrat issu du fractionnement. Mais elle conduirait à faire l'impasse sur des produits de spécialité à haute valeur ajoutée. Bozell (2008) considère qu'ils sont le seul moyen de rendre viable la partie énergétique des process, laquelle deviendrait alors le sous-produit de la bioraffinerie pour des raisons plus stratégiques qu'économiques<sup>15</sup>.

Le concept de *double plate-forme* vient du laboratoire de l'US Département of Energy (NREL). Deux process, qui ne sont pas réunis sur le même site en Europe, le sont ici. Le prétraitement par fractionnement de la biomasse est suivi selon les substrats d'un traitement dans la « plate-forme sucre » biochimique ou dans la « plate forme gaz » thermochimique. Les opinions, disent Clark & Deswarte (2008:14), « *varient beaucoup quant à la meilleure façon de coordonner ces deux plate-formes* ».

La lecture attentive des documents issus des journées de restitution des projets Biorefinery Euroview et Biopol (ainsi que les discussions qu'elles ont suscitées) et de débats avec des scientifiques responsables de l'animation de communautés de recherche<sup>16</sup> suggèrent que cette vision du futur est elle-même un double compromis. D'une part, ces projets acceptent de décrire la bioraffinerie comme un objet diversifié technologiquement et, d'autre part, ils suggèrent la possibilité d'existence de deux modèles différents par l'ancrage territorial.

### 1.2.3. Des ancrages territoriaux liés à l'organisation des chaînes de valeur ?

L'idée de "bioraffinerie portuaire" rend compte d'une stratégie d'installation dans les grandes zones d'industrie chimique portuaires existantes (comme les ports de Gand ou Rotterdam)<sup>17</sup>, dans un souci de préservation de ces zones industrielles aujourd'hui pétrochimiques, en mobilisant une ressource agricole livrée aux cours mondiaux. Celle-ci reposerait sur la transformation de la matière première agricole en intermédiaires de la chimie : par exemple, produire de l'éthylène "biosourcée" (à base d'éthanol) permettrait de maintenir l'ensemble de la chimie issue de ce grand précurseur qu'est l'éthylène dans son état actuel.

Chez certains animateurs d'une recherche très liée à des développements technologiques en cours (notes prises par nous sur les interventions de Delmas (2009), Buléon (2009)), le fractionnement du végétal apparaît comme raisonné en fonction de trois volontés : (1) celle de l'ancrage de l'activité industrielle sur des ressources existantes dans un périmètre donné (défini par une logique d'optimisation de la logistique), dans le respect des conditions pédologiques et agronomiques de ce périmètre ; (2) celle d'une conduite du fractionnement qui ne soit pas nécessairement orientée vers une chimie du pétrole "bis" : il s'agirait de conduire le fractionnement, non pas jusqu'aux "building blocks" servant pour la chimie traditionnelle, mais de l'adapter aux situations de production, en réalisant des "coupes" plus ou moins importantes sans chercher nécessairement à atteindre un haut degré de décomposition ; (3) celle de ne pas rechercher une substitution terme à terme, mais de basculer dans une économie de la fonctionnalité : on cherche alors, non pas des molécules pétrochimiques devenues biosourcées, mais des molécules ou des méthodes nouvelles capables d'atteindre les *mêmes fonctions* que celles de matériaux issus de la pétrochimie, voire si possible des fonctions enrichies par les caractéristiques de la biomasse.

<sup>15</sup> « Analysis reveals that producing both chemicals and fuels in an integrated biorefinery meets the energy and economic goals simultaneously. In an integrated operation, high value products become an economic driver providing higher margins to support low value fuel, leading to a profitable biorefinery operation that also exhibits an energy impact » (Bozell, 2008: 642).

<sup>16</sup> Lors de l'école-chercheurs du CNRS "Quelle place pour la chimie dans une société durable?" Cargèse 19 / 24 oct 2009.

<sup>17</sup> Ces deux ports ont organisé conjointement un "Biofuel Supply Chain Summit" en septembre 2009.

Ces deux schémas, à la fois par leurs points communs et leurs différences, doivent être rapprochés des difficultés et désappointements rencontrés au cours de la période 1998-2004. Les problèmes liés aux effets systémiques de l'introduction des matériaux issus du végétal dans des filières existantes mettent en relief les avantages d'une stratégie visant à suivre pas à pas le schéma de la pétrochimie, comme le proposent les exercices de prospective technologique américains. Cela revient en fait à pouvoir s'affranchir de la nécessité d'une maîtrise de l'ensemble de la filière : le positionnement en tant que producteur des grands intermédiaires dotés d'ubiquité, livrables à une diversité de clients situés en aval, s'appuie sur le schéma des cinq grands intermédiaires pétroliers (l'éthylène, le propylène, le butadiène, le benzène et le toluène) précurseurs de la chimie. Les exercices de « feuilles de routes technologiques » vont déterminer une trentaine de grands intermédiaires issus de la biomasse, ce qui fait beaucoup si l'on considère les coûts d'apprentissage et le nombre très élevé d'itinéraires qu'il sera nécessaire d'explorer. Les exercices proposent de réduire ce nombre et d'inviter les acteurs publics et privés à focaliser leurs efforts d'apprentissage sur un « top 12 » identifié comme le plus prometteur aux dires d'experts (Werpy & Petersen ed., 2004). Les enjeux industriels et de recherche se déplacent alors vers cette liste limitée de grands précurseurs et leurs usages. Il en émerge plus particulièrement, comme « molécules plate-formes » pour le développement d'activités industrielles, le glycérol (da Silva *et al.*, 2009), l'acide succinique (Budarin *et al.*, 2007), le furfural et les isosorbides (var. doc., journée du furfural, Reims, 19 juin 2009).

Organiser collectivement une substitution des grands intermédiaires pétrochimiques, la plus proche possible du système de la chimie actuelle, plutôt que d'avoir à réinventer un système et des produits finaux entièrement nouveaux et d'avoir à supporter les épreuves d'analyse du cycle de vie sur la totalité du processus de ces produits finaux, présente des avantages réels. L'article qui va le plus énergiquement dans ce sens est un texte néerlandais qui recense les grands intermédiaires produits et consommés par le complexe chimique du port de Rotterdam pour envisager leur fourniture par la biomasse : par exemple, la conversion de bioéthanol en éthylène et propylène ou de glycérol, en un 1,3-propanediol pour produire les mêmes propylènes glycol que la pétrochimie (Van Haveren *et al.*, 2008). La chimie pourrait ainsi rester identique à elle-même, tout en réalisant sa révolution en étant "biosourcée".

Les deux stratégies ne sont pas strictement contradictoires, dans la mesure où elles reposent sur beaucoup d'apprentissages identiques et de mobilisations de compétences communes à l'industrie : elles comportent néanmoins des nuances de taille, à la fois en matière de localisation *in fine*, de mise en forme des processus et de décomposition du système productif, mais aussi du régime d'innovations visant à appliquer les principes de chimie verte. On a donc cherché à retrouver, dans la veille sur les entreprises et dans la littérature, les témoins de l'existence d'une variété de solutions technologiques, au-delà du schéma de la simple substitution des grands intermédiaires précurseurs de la pétrochimie par des précurseurs d'origine végétale.

### 1.3. Discussion d'un maintien de la diversité technologique à partir de la littérature scientifique

Au-delà de la variété des appellations (intermédiaires « biosourcés », « chimie du végétal », « carbone bio ») utilisées dans la communication des réseaux de firmes engagées dans cette aventure industrielle, c'est bien autour des intermédiaires identifiés dans les exercices collectifs que des entreprises leaders comme Roquette ou Champagne Céréales cherchent à s'accorder pour structurer le champ de la concurrence et à conduire l'intense jeu d'alliances nécessaires pour assembler les bases de connaissance nécessaires à la conception de processus auquel on assiste aujourd'hui.<sup>18</sup>

---

<sup>18</sup> Voir par exemple la convergence des stratégies de deux grands voisins, sur l'acide succinique. Roquette noue des collaborations avec d'autres entreprises susceptibles d'apporter un portefeuille de

### 1.3.1. Un passage par building-blocks ou molécules plate-formes qui n'est pas inévitable

Néanmoins, il est nécessaire de revenir un instant sur les différentes branches des stratégies de transformation de la fin des années 1990 et du début des années 2000, car on aurait pu penser que certaines s'éteindraient à mesure que le mimétisme avec la voie pétrochimique se mettait en place. De fait, on assiste depuis 2007 à un retour à ces technologies et à des sollicitations en direction des scientifiques pour les développer. Par exemple, la voie ouverte par Végemat en France, voie « basse technologie » ne peut pas être considérée ni comme le seul apanage de petites entreprises, ni comme dépassée : par exemple, Dupont communique en 2008 sur un produit du même type, le « Biomax® TPS Renewably Sourced™ » repris à la société australienne Plantic pour compléter son portefeuille de produits, tandis que Roquette ouvre une communication sur des produits du même type avec son programme Gaiahub (pour tous ces exemples, voir les sites internet des entreprises citées dans l'article).

Tout se passe donc comme si les stratégies des firmes pouvaient être mieux appréhendées par un modèle de recherche de maintien des options réelles (Avadikyan & Llerena, 2009) que par un modèle de transition vers une solution unique de renouvellement de la pétrochimie. Ceci nous semble corroboré par la façon dont les publications scientifiques - dont on va présenter ci-dessous quelques exemples - se livrent à un travail de justification de positionnements économiques particuliers.

Il faut enfin considérer la référence à la chimie verte. Ainsi Gallezot (2007) présente les deux grands systèmes thermochimique et biochimique (voir schéma ci-dessous) : les systèmes dits « *via degraded molecules* » (transformation de la matière première en syngas et huiles, pour reformer des molécules) et « *via plate-forms molecules* » (hydrolyse par fermentation) comme deux systèmes qui nécessitent une décomposition en « building blocks » dont les usages peuvent ensuite être déclinés dans l'industrie auxquels il oppose un système dit « *one pot cascade catalysis* ». Ce système (littéralement, qui permet de « tout faire dans un seul pot ») permettrait de livrer une « mixture de produits » directement utilisables en cosmétique et en peinture notamment, car cette mixture a été dotée des fonctionnalités recherchées.

Ce système « one pot » est donc présenté comme une rupture technologique par sa capacité à réduire drastiquement les coûts des process. Par ailleurs, il est considéré aujourd'hui comme une des stratégies « green chemistry » les plus prometteuses (Inca, 2004). On peut, bien sûr, concevoir des apprentissages menant à la découverte de combinaisons de toutes les options. Néanmoins, la reconnaissance de la troisième implique bien que les acteurs doivent s'interroger sur le périmètre des solutions qu'ils conservent en patrimoines. Leur existence renvoie d'ailleurs à un dilemme permanent du chimiste en matière de traitement de la biomasse<sup>19</sup> : faut-il privilégier le *cracking* pour atteindre des plate-formes de matériaux maîtrisés par une chimie traditionnelle ou faut-il chercher à jouer des propriétés d'auto-organisation des structures des produits naturels, que le carbone fossile ne possède pas ? D'où la permanence de l'exploration, pour certaines plantes, de technologies de fractionnement autres que le *cracking*, tels que des procédés à dominante mécanique, comme le traitement de la plante entière en extrudeuse (par exemple, Evon, 2008).

---

technologies, et des universités américaines propriétaires de brevets sur les enzymes utilisables en catalyse de cet acide. ARD, l'entreprise de RD portée par le consortium de coopératives céréalières et sucrières champardennaises monte la société Bioamber en joint-venture avec un apporteur de technologies détenant des licences de brevets d'autres enzymes, la société DNP Green Technology. On retrouve une stratégie d'alliance aux déterminants probablement différents entre Total et la société belge Galactec sur les dérivés de l'acide lactique, mais toujours avec un porteur de portefeuilles de brevets.

<sup>19</sup> Comme le rappelait le président honoraire de la fédération française pour les sciences de la chimie, Armand Lattes en réponse à une présentation de ces trois voies que nous avons faite à l'école chercheurs CNRS de Cargèse (oct. 2009).

### 1.3.2. Des unités raisonnées en fonction de conditions locales ?

Le fait qu'il existe une variété des process, qui doivent être vus comme « *ayant chacun ses atouts et ses faiblesses* » (Hayes, 2009:148), est attesté par plusieurs autres grandes synthèses (voir, par exemple, Gallezot (2007) dans *Green Chemistry*, Octave et Thomas (2009) dans *Biochimie*). Dans cet article de *Catalysis Today*, Hayes insiste sur le fait que, selon les échelles de temps utilisées, les évaluations des espérances technologiques seront différentes. Par exemple, il considère que les voies d'hydrolyse acide vers une plate-forme sucre sont les mieux documentées aujourd'hui, alors que les routes d'hydrolyse enzymatique fournissent des espérances technologiques nettement plus importantes. Il revendique à la fois le caractère immédiatement opérationnel du process Biofine, le fait qu'il puisse être adapté contrairement à d'autres process à plusieurs matières premières (dont les déchets solides municipaux) et l'idée qu'il est peu probable qu'on entre un jour dans une situation « one winner ». Il existe en effet, selon lui, « *de nombreux exemples de cas où l'avantage concurrentiel entre les technologies varie en fonction de la spécificité des conditions et des matières premières ; d'où il est nécessaire de conduire un examen holistique pour déterminer le régime de bioraffinerie le plus approprié pour l'emplacement auquel il doit être traité* » (Hayes 2009:149).

On va retrouver cette variété dans la réflexion sur les modes de gestion de la biomasse : on sait que transporter celle-ci présente un faible intérêt compte tenu du fait qu'elle ne constitue pas, comme le pétrole ou le charbon fossile, un concentré de carbone. Pour Sanders *et al.* (2007), de nouveaux process offrent la possibilité de faire un prétraitement de la matière afin de "concentrer" le substrat agricole pour lui donner une plus forte valeur énergétique ou chimique par unité. Ceci donnerait des opportunités de création de petites entreprises pour des agriculteurs locaux, placés en amont de la bioraffinerie et permettrait d'augmenter le rayon de la collecte du substrat entrant dans celle-ci. D'autres systèmes - en France, en collecte de paille pour un usage industriel dans le procédé Delmas d'extraction du furfural (Delmas, 2009) ou sur le continent nord-américain (Altman *et al.*, 2007) - cherchent à s'orienter sur un chemin différent : tirer atout de l'efficacité logistique de l'outil de collecte coopératif sur un périmètre pertinent, qui doit être optimisé - en général, un rayon de 30 à 50 km. Ceci déterminerait donc la taille du site de transformation.

### Conclusion de la première partie

Le mythe rationnel de la bioraffinerie désigne un idéal de « *bioraffinerie, intégrée, diversifiée et zéro déchet* »<sup>20</sup>. La recherche scientifique y est profondément engagée à tous les niveaux. En effet, la clef de la réalisation des « feuilles de routes » du mythe rationnel réside dans l'espoir qu'elle sera capable, au fil de l'eau, de répondre, notamment grâce aux avancées des biotechnologies, à tous les problèmes de développement d'une « chimie doublement verte », c'est-à-dire à la fois biosourcée et acceptable du point de vue de l'ensemble des principes de chimie verte. D'où, chez les différents partenaires industriels de la plate-forme européenne SUSCHEM, l'idée que « *le concept clé est celui de Knowledge-Based Bio-Economy* » (KKBE) et de son potentiel pour révolutionner les sentiers de production en chimie et énergie.

Dans leur réévaluation du modèle de « sustainability transition », Genus & Coles (2008) considèrent qu'il est crucial, pour ce modèle, de bien identifier le point de départ et le point d'arrivée de la transition<sup>21</sup>. Dans notre étude du cas, on a souhaité discuter une vision réductrice de la bioraffinerie de ces deux points de vue. (1) La logique de substitution terme à

<sup>20</sup> <http://www.suschem.org/content.php?pageld=3603>

<sup>21</sup> "There has been a tendency to focus on 'winning' technologies and methodological issues concerning the functionalism of the MLP, and the poor conduct of historical case studies appear to have been undervalued. Moreover, there is a danger that some of the ideas implicit in this treatment of the MLP can seep into the policy making domain so that the 'reality' of a neat, mechanistic model of transition could become the dominant interpretation of the MLP. Where research has been concerned with transition management, it has been argued that the identity, activities and effect of supposed transition managers need to be treated with greater care in future. In failing to do this, transition management risks overstating the capability of transition managers to make improvements by design, or glossing over the politics of transitions". (Genus & Coles, 2008 : 1444).

terme d'une chimie du carbone fossile par du carbone biosourcé s'appuie sur l'élégance d'un schéma dans lequel il est possible de ramener la variété de matières premières à un petit nombre d'intermédiaires-clés qui ouvriraient à une variété d'applications dans une chimie renouvelée. Mais diverses stratégies de fractionnement peuvent exister et le produit agro-industriel intermédiaire livré à l'industrie peut être un produit semi-fini fonctionnalisé pour des besoins spécifiques plutôt qu'une "molécule plate-forme" déjà connue et maîtrisée par le monde pétrochimique. (2) Les bases de connaissance nécessaires à chacune des solutions dessinent des périmètres différents pour les patrimoines productifs collectifs correspondant à chacune de ces voies. La variété réside tout autant dans la possibilité de construire des produits agricoles intermédiaires différents que dans la co-existence bien connue de deux process de production (plate-forme thermochimique vs. plate-forme biochimique) pour les "molécules plate-formes". Ces deux process sont eux-mêmes à la recherche de leur pertinence en fonction de situations spécifiques tandis que certains scientifiques indiquent une sorte de chemin idéal où les voies thermochimiques et biochimiques se succéderaient le long du sentier de transition, les premières étant plus mûres que les secondes et mieux adaptées à certaines conditions locales<sup>22</sup>.

Une condition est, bien sûr, que toutes ces options soient reconnues à hauteur des engagements nécessaires pour les explorer. En effet, la recherche finalisée en KKBE l'est d'abord par *des acteurs situés*. Leurs apprentissages apparaissent comme fortement orientés par leurs conditions locales, autour desquelles s'organisent des cycles d'exploration des espérances technologiques et se nouent des communautés entre scientifiques et entreprises pour résoudre les problèmes productifs et enrichir la base de connaissances des activités nouvelles. C'est ainsi qu'il faut comprendre le maintien de la variété des choix technologiques et des sentiers de transformations de substrats et le fait que le concept de bioraffinerie vise à unifier un ensemble de solutions dans un objet symbolique, plus qu'à représenter un artefact unique autour duquel le nouveau régime socio-technique va s'organiser. D'où l'intérêt de développer, comme le suggèrent les théoriciens de la « sustainability transition », de mener des études de cas suffisamment exhaustives pour comprendre ces jeux d'acteurs, ce que nous faisons ici sur le cas de la filière lignocellulosique, tout en renvoyant pour une vue plus générale, mais nécessairement moins précise, à Nieddu, Garnier et Bliard (2010).

## **2. Deuxième partie : quels apports d'une approche pluridisciplinaire de la valorisation industrielle des ressources ligno-cellulosiques forestières ?**

Les composés identifiés sous le terme de lignocellulose (lignine, cellulose, hémicellulose) représentent le premier constituant de la matière végétale. Le terme de biomasse lignocellulosique recouvre des réalités aussi diverses que la matière végétale provenant des déchets agricoles (pailles de céréales, tiges de maïs, bagasses de cannes à sucre...), les déchets d'exploitation forestière (branches, rameaux, troncs...), les déchets de l'industrie du bois (sciures, rebuts, liqueurs noires...) ou les produits de peuplements dédiés à fort rendement.

Dans la mesure où l'écologie industrielle territoriale est brandie comme un des modèles de durabilité et que les ressources lignocellulosiques semblent sous-utilisées, la valorisation de ces ressources récupérables est un sujet porteur d'enjeux écotechnologiques et sociaux importants, notamment pour la filière forêt/bois/papier qui produit et utilise une grande part de ces ressources. Nous nous concentrons dans le cadre de ce travail exploratoire sur la question de

---

<sup>22</sup> On a volontairement mis de côté dans l'étude de cas les solutions liées aux algues qui correspondent à un autre cycle d'espérances technologiques, et qui pour certains pourrait constituer "la fin de l'histoire" en devenant la technologie dominante. Néanmoins, beaucoup de problèmes restent à résoudre pour que les algues, qui pourraient s'intégrer dans un cycle de valorisation du CO<sub>2</sub>, lequel leur servirait d'aliment, soient opérationnelles. L'annonce de la faillite en mai 2009 d'une des premières sociétés du domaine, liée au MIT, la société Greenfuel TC est une illustration de déceptions sur de tels cycles.

la valorisation des ressources lignocellulosiques forestières en présentant une relecture de l'ancrage territorial de la filière forêt-bois-papier au croisement d'approches spatiales, économiques et institutionnelles.

## **2.1. Les filières de valorisation de la ressource lignocellulosique forestière**

Le développement d'activités de valorisation des ressources lignocellulosiques forestières (RLF) est ancré dans le contexte d'une filière forêt-bois-papier, dont l'hétérogénéité participe à la diversité des modes de valorisation actuels et potentiels. Les opportunités de développement d'une filière énergétique basée sur la valorisation de ces RLF sont donc nombreuses mais leur transformation en activité économique concrète se heurte également à de nombreux freins.

### **2.1.1. Une filière hétérogène reposant sur une importante ressource en bois**

D'après le Service des Études et des Statistiques Industrielles (SESSI) du Ministère de l'Économie, la filière bois comprend les activités de l'exploitation forestière, des scieries, de l'industrie papetière (fabrication de pâte à papier, de papier et carton, d'articles en papier carton), du travail du bois (imprégnation du bois, panneaux, charpentes et menuiseries, emballages, articles en bois) et de l'ameublement en bois. Pour le SESSI, la filière bois, aussi appelée xylo-industrie dans l'édition de 2000, constitue un ensemble hétérogène et éclaté au regard des différents métiers qu'elle recouvre, de la nature des approvisionnements, des différentes propriétés physiques recherchées dans le matériau, de la dimension des entreprises qui la composent, des rythmes des intervenants et du marché final (SESSI – Le bois en chiffres – édition 2000). Néanmoins, la filière est présentée dans sa cohérence à travers l'identification des différents produits issus du bois et des flux qui composent les différentes étapes de leur transformation (Cf. Figure 1). Au plan national, la filière bois représente un ensemble d'activités économiques dont le poids est important avec un chiffre d'affaires de près de 40 milliards d'euros et 231 000 salariés majoritairement employés dans des entreprises de 20 salariés ou plus. Ainsi, « en termes d'emploi, cette filière, hors artisanat, représente autant que l'industrie automobile. En revanche, son chiffre d'affaires est trois fois moins important » (SESSI, 2008). Néanmoins, la présentation des données statistiques relatives à la filière bois repose sur différentes logiques d'agrégation qui s'appuient principalement sur une approche technique de la filière. En effet, même si on retrouve différents niveaux de regroupement dans ces synthèses statistiques (l'industrie du bois et l'industrie papetière ; les industries du travail du bois, l'industrie du meuble et l'industrie papetière ; les entreprises de l'exploitation forestière et les scieries, les entreprises du bois construction, les entreprises du bois emballage, les entreprises du bois papier, les entreprises du bois meuble), le découpage de la filière est principalement établi sur la base d'une logique de sous-filières, correspondant aux étapes de transformation d'une catégorie de produit donné sans référence à la valorisation de la biomasse.

La filière bois (SESSI – Chiffres Clés – 2000)

En amont de la filière, la surface des forêts françaises<sup>23</sup> est de 15,5 millions d'hectares, ce qui correspond à un volume de  $2,44 \pm 0,037$  milliards de m<sup>3</sup> en forêt de production en 2010, et elle regroupe une palette d'essences très variée. C'est une forêt majoritairement privée, les forêts privées représentant près des ¾ de la surface forestière sur le territoire et près de 70% du volume de bois sur pied.

La ressource forestière potentiellement disponible pour l'industrie du bois en France est estimée en 2010 à 102 Mm<sup>3</sup> (pour un volume sur pied total de 2 426 Mm<sup>3</sup>). Cette valeur correspond à la production biologique annuelle, elle est censée pouvoir être prélevée sans compromettre les conditions de renouvellement du capital forestier. La récolte commercialisée en 2009 correspondait à un total de 38,6 Mm<sup>3</sup> (12,4 Mm<sup>3</sup> de bois de trituration ; 22,4 Mm<sup>3</sup> de bois

---

<sup>23</sup> Les données présentées dans ce paragraphe sont issues du site de l'Institut Forestier National.



d'œuvre et 3,8 Mm<sup>3</sup> de bois énergie), auquel il faut ajouter environ 21 Mm<sup>3</sup> de récolte de bois de feu et 10 % de pertes liées à l'exploitation pour obtenir un taux de prélèvement estimé à un peu plus de 60 %. Depuis le début des années 1980, la récolte commercialisée a augmenté (30 Mm<sup>3</sup> en 1980) mais elle reste relativement stable depuis le début des années 1990 (exception faite du pic de la tempête de 1999) et le déficit de mobilisation de la ressource forestière demeure un obstacle jugé très important au développement de la filière. Sur la totalité des volumes prélevés, la forêt domaniale contribue à 6,2 Mm<sup>3</sup>, la forêt communale à 8,1 Mm<sup>3</sup> et la forêt privée à 43,9 Mm<sup>3</sup>. Néanmoins, alors que la quasi-totalité de la récolte en forêt domaniale est commercialisée, une part importante de la récolte en forêt privée échappe aux circuits économiques. Une enquête menée en 1999 révélait ainsi que 17 % seulement des propriétaires avaient vendu une coupe de bois au cours des cinq dernières années. Une autre étude conduite en 2010 est venue confirmer que, pour 20 % des propriétaires seulement, l'activité forestière rapporte de l'argent<sup>24</sup>. En dépit de ce contexte marqué par de nombreux freins institutionnels, cette ressource nourrit une industrie de première transformation dont le poids économique n'est pas à négliger à l'échelle nationale.

### **2.1.2. Industrie de transformation du bois : diversité des modes de valorisation des RLF**

Les activités économiques mobilisant et transformant les RLF dans l'objectif de proposer des produits semi-finis ou finis sont multiples. Si les activités de transformation des produits issus de l'exploitation forestière sont traditionnellement divisées en deux catégories (première et deuxième transformation), cette forme de distinction n'est pas totalement pertinente dans le contexte du développement actuel de la filière bois pour saisir la diversité des enjeux industriels. Concernant la question de la valorisation, il nous semble aussi pertinent de dépasser cette distinction traditionnelle. Ainsi, à partir de l'approche proposée par les principaux produits des filières lignocellulosiques développé par l'ADEME (2010), il nous apparaît que la valorisation des RLF se structure autour de la filière papetière - dont la maturité permet d'en étudier régulièrement les contours et les enjeux environnementaux et économiques - et une filière énergétique qui en est encore à ses balbutiements, même si les nouvelles technologies sont assez bien maîtrisées.

La filière papetière valorise les RLF en produisant des pâtes de cellulose mais aussi en développant, sous la pression de la concurrence, des coproduits classiques et innovants à base de la chimie de la cellulose notamment. Cette filière regroupe effectivement des entreprises de la fabrication de pâtes, de papier et carton qui produisent des pâtes chimiques ou mécaniques. Les différents papiers et cartons constituent quatre catégories principales de produits : les papiers à usage graphique, ceux d'emballage, les papiers domestiques et sanitaires et les papiers industriels et spéciaux. Cet ensemble industriel, qui représente 10 % des entreprises de la filière bois en 2006, pour 40 % des effectifs et plus de 50 % du chiffre d'affaire, se caractérise donc par une importante concentration de l'activité productive et par son organisation en groupe. Les fabricants de pâte à papier, de papier et de carton réalisent à eux seuls plus de 15 % du chiffre d'affaires du secteur, ils dépendent presque essentiellement de groupes contrôlés par des capitaux étrangers (85 % du chiffre d'affaires). Cette industrie a vu sa production diminuer et la réduction des effectifs a été très importante (près de 40 %) au cours des dix dernières années. L'ajustement relève d'une logique de transformation structurelle du tissu industriel par les grands groupes papetiers européens et internationaux qui, dans un contexte d'évolution des conditions de compétitivité, procèdent à des fermetures de sites et réalisent des investissements pour accroître la productivité des unités qu'ils maintiennent. Sur la période, les effectifs par entreprise ont été réduits mais le chiffre d'affaires par salarié a largement augmenté. Dans ce contexte et pour faire face à des contraintes de compétitivité et environnementales qui sont de plus en plus prégnantes, cette industrie se caractérise par un relatif dynamisme en termes d'innovations environnementales et de process, en dépit d'une

---

<sup>24</sup> Source : Crédoc - Consommation et Modes de Vie n° 228 - Avril 2010 réalisée par B. Maresca - R. Picard suite à une enquête menée auprès d'un échantillon de propriétaires de plus d'un hectare à la demande de la Fédération Forestiers privés de France.



certaine faiblesse des activités de R&D (Bélis-Bergouignan, Lévy *et al.*, 2012). Etant fortement consommatrice d'énergie, cette filière est également impliquée dans la production d'énergie à partir de la valorisation des sous-produits de process et par des procédés spécifiques comme la cogénération, ce qui permet d'accroître la part de la biomasse dans la consommation énergétique. Ainsi, la filière papetière n'est pas étrangère aux enjeux de bioénergie et peut devenir un acteur majeur de la production de biocarburants 2<sup>e</sup> génération grâce à ses acquis et aux potentialités de la chimie du bois.

## **2.2. Quelles perspectives pour la valorisation des ressources lignocellulosiques par les biocarburants ?**

Depuis la fin des années 1990, de nombreuses directives européennes et politiques nationales encouragent le développement des biocarburants. Si les biocarburants dits de première génération, issus de ressources agricoles conventionnelles, font désormais partie du paysage énergétique français, le mode de production intensif qu'ils supposent et la concurrence avec l'usage alimentaire des ressources agricoles révèlent les limites de cette filière. Dès lors, le développement des biocarburants de 2<sup>e</sup> génération, issus d'une valorisation de la biomasse cellulosique, sera nécessaire pour espérer atteindre les objectifs politiques très ambitieux (8% de la consommation de carburant en 2020). Ainsi, les ressources lignocellulosiques forestières peuvent être transformées en biocarburants grâce à deux principales voies, biochimique (hydrolyse puis fermentation) ou thermochimique (gazéification, pyrolyse, torréfaction). Si les produits finaux visés peuvent être gazeux, ce sont principalement les procédés permettant la production de combustibles liquides à partir de biomasse (BtL, pour *Biomass to Liquids*) qui représentent la majorité des efforts de R&D. Ces procédés suscitent un vif intérêt car ils ne présentent pas les mêmes inconvénients que les biocarburants de la 1<sup>re</sup> génération, mais ils restent coûteux et difficiles à déployer à grande échelle. Selon le rapport de STARCOLIBRI, la production de biocarburants ou de cogénération de chaleur à base de ressource lignocellulosique est pourtant considérée comme envisageable en Europe, à l'horizon 2030. Le scénario impliquerait des installations de bioraffineries de grande envergure, basées sur l'utilisation de bois et de procédés thermochimiques. En parallèle, des installations décentralisées de petite et moyenne taille seraient destinées à alimenter en électricité et en chaleur les réseaux de bâtiments publics, collectifs et industriels. Le développement des unités de grande taille nécessite l'existence d'économies d'échelle pour une distribution de l'énergie (carburant) à l'échelle nationale. Ces différentes unités de bioraffineries s'appuieraient d'abord sur l'adaptation des procédés industriels et sur les savoir-faire industriels et logistiques de l'industrie papetière.

Il s'agit toutefois de rappeler que le champ des possibles reste considérable pour ces filières en voie d'expérimentation : considérant toutes les voies d'amélioration des procédés BtL, Seiler *et al.* (2010) identifient pas moins de 100 *process* testables. L'amélioration du rendement massique – notamment via l'adjonction d'hydrogène lors des phases de gazéification et de purification du syngaz, option suivie par le CEA (Imbach, 2011; Seiler *et al.*, 2010) – reste toutefois la priorité des recherches actuelles sur cette filière : en l'état, elle n'est en effet pas suffisamment compétitive avec les carburants fossiles. La faiblesse des rendements semble être une limitation si récurrente qu'elle pousse certains auteurs, tels Clift *et al.* (2007), à questionner la pertinence même de la voie BtL.<sup>25</sup> Dans ce contexte d'incertitude, la faiblesse récurrente de la compétitivité et de la R&D de cette industrie conduit à s'interroger sur les perspectives de développement d'une filière française biocarburant de deuxième génération.

En amont, les conditions socioéconomiques et politiques d'exploitation de ces ressources à des fins énergétiques demeurent, en effet, problématiques pour plusieurs raisons : la forêt est morcelée, les contextes socio-économiques locaux pour l'ensemble de la filière bois et industrie du bois sont très hétérogènes, les impacts environnementaux locaux incertains. Cet état de fait n'est pas propre à la France. McComick et Kåberger (2007), à partir des études de cas menées dans plusieurs pays européens, ont pu constater que les barrières institutionnelles semblent

---

<sup>25</sup> Et à Shell de se désengager de Choren, principale entreprise allemande expérimentant cette voie.

être plus importantes que les verrous technologiques pour la diffusion des bioénergies. Les aspects institutionnels ne sont bien évidemment pas dissociés des aspects techniques. Ainsi, l'organisation des chaînes d'approvisionnement tient le premier rang en matière de préoccupations de recherches au regard des enjeux en termes de dimensionnement des unités de production, des choix des procédés et du principe de fonctionnement du système productif (Gold et Suring, 2010). En France, actuellement, les chaufferies de moyenne et grande dimensions font appel aux mêmes matières premières ligneuses que les futures unités de fabrication de biodiesel. L'installation d'une nouvelle filière d'élaboration de biocarburant pourrait donc bénéficier de l'effort de mobilisation du bois et de l'organisation en cours de la chaîne d'approvisionnement à des fins de valorisation énergétique. En effet, selon Amblard *et al.* (2012), au-delà de la simple valorisation d'un sous-produit de l'exploitation forestière ou de la transformation industrielle du bois par les entités industrielles concernées, on observe des dynamiques de structuration des activités de production de combustible bois-énergie et des services associés.

Ainsi, la création d'une filière « bois-carburant » va générer une demande supplémentaire de bois sur les marchés. Cette demande viendra concurrencer directement ou indirectement les autres demandes de bois. L'intensification de l'exploitation des ressources forestières consécutive à l'émergence et au développement de la filière biocarburant ne peut laisser indifférents les acteurs de la filière bois/papier quant à ses conséquences économiques pour la filière bois/énergie, d'une part, et pour la filière bois/papier, d'autre part. Au premier abord, ces conséquences économiques sont de deux ordres : la réallocation des volumes entre les filières et l'évolution des prix du marché de bois brut, dans un contexte marqué à la fois par l'importance et la prévisibilité de l'évolution de la demande (Projet ECOBIOM, 2009). Cependant, le raisonnement autour du développement d'une filière biocarburant de seconde génération et donc l'implantation de bioraffineries ne peut occulter les spécificités des systèmes productifs de la valorisation des ressources ligneuses, à savoir la forte dépendance à la ressource. Cette forte dépendance configure les rapports entre les différents systèmes d'acteurs de la filière (de l'exploitation du bois à la transformation) et conditionne les orientations et les contenus des projets d'innovation (Belis-Bergougnan et Levy, 2011). Par ailleurs, le territoire (avec ses acteurs, ses ressources, ses frontières physiques et symboliques) peut être le support de formes d'organisation spécifique pour soutenir les dynamiques productives (Ditter et Bobulescu, 2010). Même si cette dimension territoriale a été pendant longtemps occultée par les orientations successives des politiques forestières françaises (Sergent, 2010), l'émergence et le développement de la filière énergétique nécessitent de nouvelles formes de régulation de la filière forestière et de renouveler la manière dont l'action publique aborde son articulation avec celles des autres secteurs.

Ainsi, face aux incertitudes qui entourent encore l'émergence de la filière bioraffinerie en France, nous considérons que sa diffusion s'appuiera, d'une part, sur le maintien d'une diversité de voies technologiques permettant d'assurer leur adéquation à la diversité des contextes socio-économiques et institutionnels des territoires d'implantation et, d'autre part, sur la mise en place de dispositifs institutionnels qui facilitent l'articulation des différentes échelles de la régulation des filières chimie/bois/énergie, et bois/papier.

### **2.3. Mutations des modes de valorisation industrielle des ressources ligno-cellulosique et ancrage territorial**

De prime abord, la valorisation des RLF par de nouveaux procédés de bioraffinerie peut être pensée et construite en termes d'écologie industrielle. L'allocation spatiale des sites d'exploitation serait alors guidée par la minimisation des impacts de l'industrie sur l'environnement (en termes de déchets mesurés en flux de matières et d'énergie). Cette approche en termes d'écologie industrielle ne garantit pas pour autant la prise en charge, à l'échelles des territoires, de l'ensemble des questions relatives au développement durable (dans sa dimension sociale et environnementale) (Vivien *et al.*, 2012). Elle ouvre en effet à une division du travail gérée selon des logiques de déconnexion entre les lieux de production des ressources et des matières premières et les sites de raffineries (Nieddu et Vivien, 2012). Notre

objectif dans ce projet est donc de pouvoir renouveler la compréhension de l'encastrement social et institutionnel des innovations technologiques (Geels, 2007) qui sera initiée par la bioraffinerie, en mobilisant les apports de l'économie, la science politique et la géographie et ainsi mettre l'accent sur l'articulation entre ces innovations technologiques et les spécificités de leur territoire d'implantation.

### **2.3.1. De la disponibilité des ressources aux impacts socio-écologiques de l'expansion des usages énergétiques de la biomasse forestière**

Si l'avènement probable des biocarburants de 2e génération tend dorénavant à faciliter un relatif découplage entre alimentation et énergie, il ne rend pas caduques ces interrogations pour autant. Un point particulier réside dans les nombreuses incertitudes qui persistent sur la viabilité et de l'efficacité de ces nouvelles filières. Ce sont les multiples rôles joués par ces incertitudes, du procédé (les contraintes associées aux procédés et les choix portés par les industriels) à la ressource (la façon dont propriétaires et gestionnaires se représentent et s'approprient ces logiques industrielles, ainsi que les potentiels enjeux écologiques sur les espaces de récolte) que nous souhaitons ici explorer.

Réalisant une méta-analyse des ACV de la filière BtL, Sunde *et al.* (2011) considèrent néanmoins les différents approvisionnements (*feedstocks*) forestiers possibles pour la voie BtL, distinguant ainsi une option « bois de peuplements dédiés ». Bien qu'ils puissent impliquer des recours accrus à l'irrigation et aux intrants, de tels itinéraires intensifs restent jugés positivement dans une optique ACV. En termes de biodiversité et de fonctionnement des écosystèmes, l'impact de l'établissement de peuplements dédiés est encore assez largement débattu mais dépend de la matrice dans laquelle ceux-ci s'inscrivent (agricole ou forestière), ainsi que de leur insertion spatiale dans le paysage (par exemple, rôle de zone tampon entre parcelles agricoles et ripisylves) (Dale *et al.*, 2011; Riffell *et al.*, 2011; Robertson *et al.*, 2011). Sur le plan des procédés BtL, il semble par contre avéré que le bois issu de TCR et TTCR - caractérisé par une proportion importante de bois juvénile (Berthelot *et al.*, 2009) et un rapport écorce/bois élevé - conduit à une production accrue de cendres et de mâchefer lors de la phase de gazification (Sunde *et al.*, 2011), ce qui peut être, du point de vue des industriels, un aspect rédhibitoire. Ce questionnement peut être étendu à un éventail d'itinéraires sylvicoles, pour lesquels un croisement avec le point de vue industriel pourra être mené. Comme nous l'avons mentionné plus haut, un autre élément important du débat concerne la taille optimale des raffineries et leur modèle de développement. Pour les procédés BtL, il semblerait en effet que les économies d'échelles soient faibles en deçà de 500MW (ce qui correspond tout de même à une consommation proche d'1Mt/an de biomasse humide). Boerrigter (2006), cité par Sunde *et al.*, (2011), considère que la taille optimale d'une bioraffinerie BtL se situerait entre 1000 et 5000 MW. Imbach (2009) remet en cause l'évidence de ce modèle « procédé ». Un modèle « ressource » organisé autour d'unités de petite taille implique effectivement un rendement plus faible et une valorisation moindre du bois sur pied. Mais il aurait par ailleurs des avantages potentiels intéressants en termes de réduction d'émissions due au transport et de développement local - dont l'évaluation suppose d'élargir le champ de la simple ACV. Les logiques de justification du dimensionnement de ces possibles bioraffineries mobilisent des arguments de plusieurs natures. L'efficacité environnementale peut ainsi être convoquée, telles les possibilités de cogénération, de couplage avec un réseau de chaleur ou d'extraction/stockage du CO<sub>2</sub>. Mais par ailleurs, des niveaux d'investissement élevés imposent généralement à une unité de grande taille de fonctionner en continu, ce qui peut avoir des conséquences importantes en termes d'approvisionnement : la tentation peut alors être de concevoir un procédé versatile, à même de mobiliser une proportion plus ou moins importante de carburant fossile (lignite, notamment). C'est ainsi le cas des démonstrateurs prévus dans le cadre du projet BioTFuel, dit *Biomass/X-to-Liquids* (BXTL). La problématique du dimensionnement des unités de bioraffinerie croise fortement les résultats des travaux portant sur les conséquences socio-écologiques d'un basculement de la demande urbaine du bois de feu vers le charbon de bois au Mali (Hautdidier *et al.*, 2010). À l'aide de données spatialisées d'inventaire forestier, ils ont pu mettre en évidence des indices forts de la raréfaction d'un

ensemble d'espèces « charbon » sur les sites de récolte et discuter des impacts différenciés de cette dynamique écologique sur les acteurs impliqués dans la gestion des « brousses » villageoises. Cette évolution vers le charbon avait été favorisée par la réorientation de la politique forestière malienne – elle-même sous influence de l'expertise internationale - car elle devait conduire à une professionnalisation et une responsabilisation accrues. La sous-estimation de ces impacts par les promoteurs des charbons de bois conduit les auteurs à conclure sur la persistance d'un biais urbain dans la formulation des problématiques de l'approvisionnement en bois-énergie dans le contexte malien.

Le travail proposé ici croise deux lectures. Une analyse spatiale qui explore les impacts des différentes options technologiques sur la disponibilité des ressources comme critère de durabilité environnementale en s'appuyant sur la simulation d'évolution des usages du sol intégrant des indicateurs de structure foncière et de typologie des peuplements, voire des structures d'âge (Dwivedi *et al.*, 2012) et une analyse des interrelations possibles entre procédés, dimensionnement des unités et évolution de la ressource, basée sur une revue de la littérature technique et des entretiens qualitatifs. Cette approche se positionnera par rapport à une littérature récente d'inspiration *political ecology*, qui s'intéresse aux conflits et arbitrages associés à l'expansion des usages énergétique de la biomasse. Les travaux de Dan van der Horst (2010) traitant du rôle des incertitudes entourant l'écologie des espèces à usage biomasse sur leur adoption seront une source d'inspiration notable (voir également van der Horst *et al.*, 2011).

### **2.3.2. Du bassin d'approvisionnement des entreprises à la modélisation des déterminants de l'installation d'une unité de bioraffinerie**

Dans une approche d'écologie industrielle, l'allocation spatiale des sites d'exploitation serait ainsi guidée par la minimisation des impacts de l'industrie sur l'environnement et celle de la taille optimale de l'unité production par la minimisation des coûts, en référence à un bassin de ressource (Cameron *et al.*, 2007 : Gan et Smith, 2010, 2011). La problématique de l'organisation de l'approvisionnement reste donc centrale à la fois pour des raisons environnementales et industrielles. Cependant, ce pilotage de l'allocation spatiale des sites relevant de l'approche en termes d'écologie industrielle laisse de côté l'articulation de cette filière avec les secteurs d'activités économiques existantes et son intégration à l'économie de son territoire d'implantation. Elle ouvre en effet un développement industriel basé sur une allocation spatiale gérée selon des logiques de dissociation entre les lieux de production des ressources et des matières premières et les sites de raffinerie. Or, cette question n'est pas secondaire sachant que l'industrie papetière comme l'industrie pétrolière peuvent être des acteurs majeurs du développement de la production de biocarburants de 2ème génération. Ainsi, A la différence des travaux cités ci-dessus, notre réflexion sur la taille et la localisation optimale d'unités de production de biocarburants de seconde génération de grande taille et de très grande taille souhaite intégrer :

- la trajectoire de croissance des entreprises de valorisation énergétique (cogénération de chaleur, etc.),
- l'impact environnemental (taille du rayon d'approvisionnement) par la nature des ressources qu'ils exploitent,
- de l'intérêt économique même de l'exploitation de ressources dédiées comme les taillis à courte rotation (TCR) et les taillis à très courte rotation.

Pour alimenter cette réflexion, la compréhension des facteurs économiques et spatiaux des localisations des entreprises de production énergétique (cogénération et chaudière collective) serait une étape préalable. Actuellement, les entreprises productrices d'énergie par cogénération se multiplient suite à des programmes publics de soutien. L'enjeu ici serait de déterminer de manière endogène le bassin d'approvisionnement étant donné la structure productive et organisationnelle de l'industrie de valorisation énergétique de la biomasse lignocellulosique. La démarche se compose de deux étapes.

La première étape est une approche théorique en recourant à la modélisation de l'organisation spatiale de l'industrie. On traite successivement :

- de la taille optimale de l'entreprise au regard des économies d'échelle (Griliches et Ringstad, 1971) et des économies de gamme (Gronberg, 1984). Ce deuxième aspect est d'autant plus important que la viabilité économique des unités de production de plus petite taille s'appuie sur la valorisation des coproduits qu'il s'agit de filière biocarburant ou de la filière de cogénération.
- du nombre d'entreprises à l'échelle d'une industrie au regard de la problématique de la structure du marché d'approvisionnement (qui, selon la présence ou non de filière concurrente, peut être un oligopsonne ou un oligopole) ;
- Ensuite, sera abordée la question de la stratégie organisationnelle de l'industrie à l'échelle spatiale de l'enjeu de l'approvisionnement : l'intégration verticale pour sécuriser l'accès aux ressources (Perry, 1988) ou pour limiter les coûts de transaction (Joskow, 2005) versus effet d'agglomération (Ellison et Glaeser, 1999).

Cette formalisation théorique aura pour vocation d'être confrontée à l'analyse empirique des facteurs explicatifs de la structuration spatiale actuelle des implantations d'entreprises à vocation énergétique (en utilisant des données à l'échelle nationale).

Cette analyse empirique réalisée à partir d'un travail économétrique sur les déterminants de ces implantations permet d'identifier la part jouée par la structuration spatiale de l'offre de ressources, ou plus précisément les facteurs locaux qui contribuent à l'exploitabilité des ressources et à la régularité de l'approvisionnement. La capacité d'organisation de la filière amont - en l'occurrence, le rôle des coopératives de propriétaires - ou les disponibilités individuelles des propriétaires pour la mobilisation du bois - feront l'objet d'une attention particulière. Elles conditionnent en effet la réussite de tout projet de valorisation économique de la ressource forestière (Chabet-Ferret et Sergent, 2012). Par la suite le développement d'une maquette de simulation numérique sera mise en place. Elle s'appuie sur la paramétrisation des effets des coûts du modèle théorique tenant compte des enseignements des analyses empiriques et des avis experts. Cette maquette permet d'inférer l'impact de l'installation d'une unité de bioraffinerie (de taille plus ou moins importante) sur la situation de référence.

### **3. Discussion et conclusion : des politiques « bois énergie » aux actions individuelles et collectives marquées par des dynamiques patrimoniales**

La politique européenne de l'énergie a pour objectif de réduire la forte dépendance à l'énergie fossile et les émissions des gaz à effet de serre. La production de biomasse énergie est donc une de ces priorités parmi lesquelles le bois serait une ressource privilégiée étant donné l'importance de celle-ci à l'échelle européenne. Ces objectifs génériques sont déclinés dans *le paquet énergie climat* adopté par le parlement européen en objectif 3X20 où il est prévu d'atteindre 20% de la consommation énergétique en termes d'énergies renouvelables. Comme tout plan stratégique européen, ce dispositif fait l'objet de différentes déclinaisons nationales et territoriales. Dans le cadre du Grenelle de l'environnement en France, l'objectif relatif aux énergies renouvelables est d'atteindre 23% dans la consommation d'énergie finale en 2020. A l'échelle territoriale, cela se traduit par la mise en place de Plans Climat-Energie territorial (PCET) (source : <http://www.pcet-ademe.fr/>).

Avec les perspectives de développement de la bioraffinerie, la filière bois/énergie s'inscrit également dans le vaste domaine de la chimie verte qui s'est développé et affirmé aux Etats-Unis à la fin les années 1990 à partir du concept et des principes définis par Anastas et Warner (1998). Les deux auteurs regroupent sous le vocable « chimie verte » l'ensemble des produits et procédés attestant d'une amélioration des performances environnementales et sanitaires, 12 principes en définissent les frontières, le septième recommandant l'utilisation de matières premières renouvelables au lieu des matières fossiles (Anastas & Warner, 1998 ; Manley, Anastas *et al.*, 2008). Ces éléments, qui tentent de structurer l'impératif de mutation de l'industrie chimique, ouvrent la porte à de nombreuses voies que reflète la dynamique des

brevets qui, pour le contexte européen, se traduit par la directive Reach, une directive plus contraignante que les principes américains (Oltra & Saint Jean 2012). Outre le contexte réglementaire et politique qui est indéniablement porteur pour le développement des activités économiques autour du bois énergie, ces dernières constituent également une opportunité importante pour les régions forestières traditionnelles qui doivent faire face à la concurrence accrue des pays d'Amérique latine ou d'Asie. En effet, même si les grandes unités présentent un atout majeur en termes de rentabilité économique, certaines études de cas spécifiques à des territoires européens insistent sur les potentialités économiques des activités de bioraffinerie en termes de création d'emplois à une échelle locale et dans des petites et moyennes structures (Krajnc et Domac 2007 ; Hämäläinen, Näyhä *et al.*, 2011). Ainsi, actuellement il est possible de trouver dans la littérature économique, d'une part, des travaux sur les conditions de performances économiques et environnementales à court terme des activités de bioraffinerie à l'échelle microéconomique et, d'autre part, sur les effets macroéconomiques et mésoéconomiques de ce type d'activité (Pătări 2010 ; Cherubini, Strømman *et al.*, 2011; Kangas, Lintunen *et al.*, 2011).

Nous inscrivons nos recherches dans les courants de travaux interdisciplinaires qui font des analyses des interactions économiques et sociales et de la genèse des institutions. On fait notamment l'hypothèse que, face aux enjeux énergétiques, le gouvernement des industries d'énergie/bois/forêt évolue dans ses composantes tant sectorielles que territoriales. Cette évolution est la résultante des changements institutionnels coproduits par les contextes économiques locaux et la nature de leurs interdépendances avec d'autres échelles (sectorielles ou spatiales) et *le travail politique* (Julien et Smith, 2011, 2012) des acteurs pris individuellement (les entreprises privées) ou collectivement (les groupes d'intérêts) et les pouvoirs politiques (les administrations et les élus).

L'évolution de ce rapport secteur-territoire (européen, national, local), dans ses dimensions cognitives et institutionnelles (en termes de normes, de règles, ou attentes stabilisées), pourra être analysée en deux temps :

- à travers les acteurs, les problèmes publics et les instruments associés au développement des unités de production d'énergie mobilisant de la biomasse lignocellulosique,
- à partir d'une analyse mésoéconomique en termes de patrimoine des conditions d'émergence d'une potentielle filière de bioraffinerie à vocation énergétique qui est relativement absente de la littérature.

On doit donc s'intéresser dans un premier temps aux effets réels des politiques incitatives (dispositif CRE) sur la restructuration du système d'acteurs pour l'émergence et le développement de la filière biomasse. On doit ainsi combiner une lecture économique avec une lecture politiste, notamment du fait de l'importance des opérations de *backcasting* évoquées plus haut. L'objectif final est la constitution d'une grille explicative de l'engagement des différents types d'acteurs et de formaliser les modes de coordination des acteurs (les alliances ou les concurrences) au regard des technologies choisies, les acteurs impliqués, les contraintes en termes d'accès aux ressources (financières, connaissances, matières premières...).

Dans un deuxième temps, si le développement d'une telle approche mésoéconomique doit s'appuyer sur la diversité de voies de transformation des ressources végétales explorées dans les sphères scientifiques et technologiques (Nieddu 2011, Vivien, Debref & Nieddu, 2012), elle se doit d'intégrer également le renouvellement du rapport à la technologie, à la nature et à l'innovation dont est porteuse la transition énergétique. Ainsi, comme le montre Raineau (2011), les énergies renouvelables revendiquent une continuité entre le passé et l'avenir, entre la tradition et la modernité.

Dans ce contexte et face à une activité économique dont les contours productifs et les potentialités de développement local sont très incertains, nous proposons de mobiliser la notion de patrimoine développée dans le champ de l'économie institutionnelle pour réaliser notre projet (Barrère, Barthelemy *et al.*, 2005; Nieddu, 2007; Rivaud and Cazals, 2012). En effet, dans cette approche, le patrimoine résultant d'un compromis institutionnalisé entre différentes logiques (individuelles/collectives et usage/conservation), tout objet matériel ou non peut faire

l'objet d'un processus de patrimonialisation. Ainsi, à partir d'une analyse du cadre dans lequel s'inscrivent les actions individuelles et collectives et s'appuyant sur une étude des institutions constitutives et interprétatives, cette analyse en termes de patrimoine permet d'envisager la diversité des mondes de production possibles dont est porteur notre questionnement (Postel, 2007). En outre, cet opérateur analytique permet d'intégrer les questions d'articulation entre, d'une part, les différentes échelles spatiales et temporelles et, d'autre part, le niveau collectif et individuel en proposant d'articuler un cadre unifié les trois approches de la « sustainability transition » présentées dans la première partie.

## Références

- ADEME, 2010, Dossier de presse fonds chaleur et biomasse, 18 p.
- Åkerman M et al. (2010), Institutional change from the margins of natural resource use: The emergence of small-scale bioenergy production within industrial forestry in Finland, *Forest Policy and Economics*, Volume 12, Issue 3, March, 181-188.
- Amblard L., Taverne M., Guerra F., Calentier B., Garsault A., Chazal M-P., 2012, La filière bois-énergie en Auvergne : une typologie des chaînes d'approvisionnement, *Revue d'Auvergne à paraître*, 8 p.
- Amblard L., Taverne M., Valenzi M., Fuhr M., Tabourdeau A., Chauvin C., 2012, Valorisation d'une ressource territoriale : le bois énergie en Auvergne, *Revue d'Auvergne à paraître*, 16 p.
- Anastas, P. and J. Warner (1998). *Green Chemistry: Theory and practice*. Cambridge.
- BERTHELOT A. ; DASILVAPERES D. ; CHANTRE G. ; NGUYEN-THE N. ; FRAYSSE J.-Y. (2009), Cultures énergétiques dédiées : contexte, enjeux et perspectives. In: SIPHEM, le 11 Décembre 2009, La Réole.
- Barrère, C., D. Barthelemy, et al. (2005). *Réinventer le Patrimoine : De la culture à l'économie, une nouvelle pensée du patrimoine ?* Paris, Harmattan (Editions I').
- Belis-Bergouignan, M.-C., V. Oltra, et al. (2004). "Trajectories towards clean technology: example of volatile organic compound emission reductions." *Ecological Economics* 48(2): 201-220.
- Bélis-Bergouignan, M. C., R. Lévy, et al. (2012). "L'articulation des objectifs technico-économiques et environnementaux au sein des projets d'éco-innovations." *Revue d'économie industrielle* **138**: 9-38.
- Betancourt and Edwards, 1987, Economies of scale and the load factor in electricity generation, *The Review of Economics and Statistics*, 69 (no. 3).
- BOERRIGTER H. (2006) *Economy of Biomass-to-Liquids (BTL) plants. An engineering assessment*. ECN Biomass, Coal and Environmental Research, The Netherlands.
- Boschet, C., Rambonilaza, T. - 2010. Les mécanismes de coordination dans les réseaux sociaux : un cadre analytique de la dynamique territoriale. *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, n° 3, p. 569-593.
- Cameron J, Kumar A, Flynn P (2007). The impact of feedstock cost on technology selection and optimum size. *Biomass Bioenergy*, 31(2,3):137-44. CGDD : Commissariat général au développement durable, 2011, Chiffres clés de l'énergie,
- Service de l'observation et des statistiques, 36 p.
- Chabe-Ferret S., A. Sergent (2012), Evaluation de la contribution des Plans de Développement de Massifs Forestiers aux objectifs et enjeux de la politique forestière nationale, Rapport final.
- G. Ellison, E. Glaeser, The geographic concentration of an industry. Does natural advantage explain agglomeration, *American Economic Association Papers and Proceedings*, 89 (1999), pp. 311–316.
- DALE V.H. ; KLINE K.L. ; WRIGHT L.L. ; PERLACK R.D. ; DOWNING M. ; GRAHAM R.L. (2011) Interactions among bioenergy feedstock choices, landscape dynamics, and land use. *Ecological Applications*, vol. 21, n° 4, p. 1039-1054.
- Dicken, P., Malmberg, A. (2001) "Firms in territories: a relational perspective" *Economic Geography* 77 (4), 345–363.
- Ditter J.-G.; Bobulescu R., 2010. Les systèmes productifs locaux dans les industries du bois: trois études de cas, *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, 2: 269-293.
- DWIVEDI P. ; BAILIS R. ; CARTER D.R. ; SHARMA A. (2012) A landscape-based approach for assessing spatiotemporal impacts of forest biomass-based electricity generation on the age structure of surrounding forest plantations in the Southern United States. *GCB Bioenergy*, vol. 4, n° 3, p. 342-357.
- Gan, J., and C.T. Smith (2011). Optimal plant size and feedstock supply radius: A modeling approach to minimize bioenergy production costs. *Biomass and Bioenergy* 35:3350-9.

- Gan, J., and C.T. Smith (2010). Coupling life-cycle analysis with supply chain optimization in determining biofuel plant size. *Silva Fennica* 44(3):497-10.
- Geels, F. W., J. Schot (2007). Typology of Sociotechnical Transition Pathways, *Research Policy*. No. 36: 399-417.
- Gibbs, D. (2006) "Prospects for an environmental economic geography: Linking ecological modernization and regulationist approaches" *Economic Geography* 82(2).
- Gold S., S. Seuring (2011), Supply chain and logistics issues of bio-energy production, *Journal of Cleaner Production*, Volume 19, Issue 1 : 32-42.
- Griliches et Ringstad, 1971, Economies of scale and the form of the production function.
- Gronberg (1984) Economies of scope and economies of agglomeration, *Journal of Urban Economics*, 16 pp. 91–104.
- Hämäläinen, S., A. Näyhä, et al. (2011). "Forest biorefineries – A business opportunity for the Finnish forest cluster." *Journal of Cleaner Production* 19(16): 1884-1891.
- HAUTDIDIER B. ; GAUTIER D. (2010) Empowered woodcutters in an impoverished forest? Local struggles around the management and the ecology of Malian mesic savannas. In: *Annual Meeting of the Association of American Geographers, 14/04/2010 - 18/04/2010*, Washington, USA, p. 37.
- HAUTDIDIER B. ; GAUTIER D. ; GAZULL L. (2005) Charcoal is used AND made by people.
- Published *e-letter response* (20th october 05) to: Robert Bailis, Majid Ezzati, and Daniel M. Kammen "Mortality and Greenhouse Gas Impacts of Biomass and Petroleum Energy Futures in Africa". In: *Science*, 98-103.
- Hillman, K., Suurs, R., Hekkert, M. and Sanden, B (2008) 'Cumulative causation in biofuels development: a critical comparison of the Netherlands and Sweden' *Technology Analysis and Strategic Management* 20(5) 592-612
- IMBACH J. (2009) Effet d'échelle : la panacée pour le déploiement de la filière de biodiesel de deuxième génération en France ? *Lettre de l'I-tésé*, vol. 7.
- IMBACH J. (2011) Analyse de la compétitivité d'une filière technologique innovante : le cas de la filière biomass-to-liquid. In: *Journée I-tésé du 14 Juin 2011*.
- Jänicke, M. (2008) "Ecological modernisation: new perspectives" *Journal of Cleaner Production* 16(5) 557-565
- Jacobsson, S. and Lauber, V. (2006): The politics and policy of energy system transformation – explaining the German diffusion of renewable energy technology, *Energy Policy*, Vol 34, No. 3 pp 256-276.
- Joskow, P.L. (2005). Vertical Integration. in *Handbook of New Institutional Economics*, ed. Menard, C. & Shirley, M. Springer.
- Jullien B., Smith A. (2011) "Conceptualizing the role of politics in the economy: Industries and their institutionalizations", *Review of International Political Economy*, 18(3), p. 358- 383.
- Jullien B., Smith A. (2012) "Le gouvernement d'une industrie : vers une économie institutionnaliste renouvelée", à paraître dans *Gouvernement et action publique*, 1(1).
- Kangas, H.-L., J. Lintunen, et al. (2011). "Investments into forest biorefineries under different price and policy structures." *Energy Economics* 33(6): 1165-1176.
- Krajnc, N. and J. Domac (2007). "How to model different socio-economic and environmental aspects of biomass utilisation: Case study in selected regions in Slovenia and Croatia." *Energy Policy* 35(12): 6010-6020.
- Langhelle, O. (2000) "Why ecological modernization and sustainable development should not be conflated" *Journal of Environmental Policy and Planning* 2(4) 303-322.
- Manley, J. B., P. T. Anastas, et al. (2008). "Frontiers in Green Chemistry: meeting the grand challenges for sustainability in R&D and manufacturing." *Journal of Cleaner Production* 16(6): 743-750.
- K. McCormick, T. Kåberger : Key barriers for bioenergy in Europe: economic conditions, know-how and institutional capacity, and supply chain co-ordination : *Biomass and Bioenergy*, 31 (7) (2007), pp. 443–452.
- MULUGETTA Y. (2007) A Plea for Common Sense (and Biomass). *The Chemical Engineer*, n° October, p. 24-26.
- Nelson, R. R. and W. S. (1982). *An evolutionary Theory of Economic Change* London, The Belknap Press of Harvard University.
- Nieddu, M. (2007). "Le patrimoine comme relation économique." *Economie Appliquée* tome LX(n°3): 31-57.



- Nieddu, M., E. Garnier, et al. (2010). "L'émergence d'une chimie doublement verte." *Revue d'économie industrielle* 132 (4ème trimestre, 2010) .
- Nieddu M., Vivien F.-D. (2012), « La "chimie verte" : vers un ancrage sectoriel des questions de développement durable ? », *Economie appliquée*, (à paraître).
- Octave S, Thomas D. (2009) Biorefinery: Toward an industrial metabolism. *Biochimie* 91(6): 659-64.G.
- Oltra, V. and M. Saint Jean (2012). "Les trajectoires régionales d'innovation dans la chimie verte: une application au cas de l'Aquitaine." *Cahiers du GRETha* n°2012-14.
- Pătări, S. (2010). "Industry- and company-level factors influencing the development of the forest energy business — insights from a Delphi Study." *Technological Forecasting and Social Change* 77(1): 94-109.
- Perry, M.K. (1988). Vertical Integration. In *Handbook of Industrial Organisation*, Vo. 1, eds. R. Schmalensee and R.D. Willig. Elsevier Science.
- Postel, N. (2007). "Hétérodoxie et institution " *Revue du MAUSS* n°30(2): 83-116.
- Raineau, L. (2011). "Vers une transition énergétique?" *Natures Sciences Sociétés* Vol.19(2): 133-143.
- RIFFELL S.A.M. ; VERSCHUYL J. ; MILLER D. ; WIGLEY T.B. (2011) A meta-analysis of bird and mammal response to short-rotation woody crops. *GCB Bioenergy*, vol. 3, n° 4, p. 313-321.
- Rivaud, A. and C. Cazals (2012). "Pour une vision élargie des performances de la filière ostréicole à partir d'une approche en termes de patrimoine " *Développement durable et territoires* [En ligne] Vol. 3(n°1 ).
- ROBERTSON B.A. ; DORAN P.J. ; LOOMIS L.R. ; ROBERTSON J.R. ; SCHEMSKE D.W. (2011) Perennial biomass feedstocks enhance avian diversity. *GCB Bioenergy*, vol. 3, n° 3, p. 235-246.
- SEILER J.-M. ; HOHWILLER C. ; IMBACH J. ; LUCIANI J.-F. (2010) Technical and economical evaluation of enhanced biomass to liquid fuel processes. *Energy*, vol. 35, n° 9, p. 3587-3592.
- Sergent A. (2010) « Régulation politique du secteur forestier en France et changement d'échelle de l'action publique », *Économie rurale*, août , 318-319.
- Smith, A., Voß, J.-P.; Grin, J. (eds.) (2010): Innovation studies and sustainability transitions. *Research Policy* 39/4: *Special Section on Innovation and Sustainability Transitions*.
- SUNDE K. ; BREKKE A. ; SOLBERG B. (2011) Environmental impacts and costs of woody Biomass-to-Liquid (BTL) production and use — A review. *Forest Policy and Economics*, vol.13, n° 8, p. 591-602.
- VAN DER HORST D. ; EVANS J. (2010) Carbon Claims and Energy Landscapes: Exploring the Political Ecology of Biomass. *Landscape Research*, vol. 35, n° 2, p. 173-193.
- VAN DER HORST D. ; VERMEYLEN S. (2011) Spatial scale and social impacts of biofuel production. *Biomass and Bioenergy*, vol. 35, n° 6, p. 2435-2443.
- Vivien F.D., Nieddu M., Debref R. (2012) L'innovation technique : un nouveau paradigme pour le développement soutenable ? In Hamaide B. (dir.) *L'analyse du développement durable et ses applications à des problématiques régionales*, pp.37-61, à paraître.

### **Bibliographie spécifique bioraffinerie**

- Amesse F., AVADIKYAN A., COHENDET P., Ressources, compétences et stratégie de la firme : Une discussion de l'opposition entre la vision Porterienne et la vision fondée sur les compétences, Working Paper BETA n°2006-05.
- Avadikyan A., Llerana, (2009) Transitions technologiques, stratégies d'investissement et options réelles: le cas des véhicules hybrides (Rapport PREDIT-ADEME, Mars 2009)
- Anastas P.T., Warner J.C. (1998), *Green Chemistry – Theory and practice*, Oxford [England]; New York: Oxford University Press, 135p
- Altman, I., Boessen, C.-R., Sanders Dwight R., (2007), Contracting for Biomass: Supply Chain Strategies for Renewable Energy, Selected paper for presentation at the *Southern Agricultural Economics Association*, Annual Meetings, Mobile, Alabama, Feb. 3rd-6th, 2007, 19p.
- Avérous L., Halley P.J. (2009) « Biocomposites based on plasticized starch. » *Biofuels, Bioproducts & Biorefining*. Vol. 3 (3) : 329-343.
- Bozell J. (2008), Feedstocks for the Future -Biorefinery Production of Chemical from Renewable Carbon, *Clean*, 2008-36(8): 641-647
- Borup, M. et alii (2006) The sociology of expectations in science and technology, *Technology Analysis and Strategic Management*, V. 18, (3-4), 2006 : 285-298

- Brusoni S., Marengo L., Prencipe A., and Marco Valente (2004) The Value and Costs of Modularity: A Cognitive Perspective, SPRU Electronic Working Paper Series, Paper No. 123, 23p.
- Christian D. *et alii* (2007) La bioraffinerie : un concept qui fait son chemin, *Biofutur*, no282 : 20-23.
- Clark, J.H. & Deswarte F.E. (2008), *Introduction to Chemicals from Biomass*, Wiley (ch1 : The biorefinery concept-an integrated approach).
- Clark, J.H. (2007) Green chemistry for the second generation biorefinery - Sustainable chemical manufacturing based on biomass, *Journal of Chem. Techn. and Biotechnology*, 82 (7), pp. 603-609
- Colonna P. (ed.) (2006)- *La chimie verte*, Lavoisier, Tec & Doc, 532p.
- Czarniawska-Joerges Barbara (2004) *Narratives in social science research*, Sage, Collection Introducing Qualitative Methods series, 157p.
- da Silva G P., Mack M., Contiero J. (2009) Glycerol: A promising and abundant carbon source for industrial microbiology *Biotechnology Advances*, V.27(1): 30-39.
- Dumez H., Jeunemaitre A. (2005), "La démarche narrative en économie", *Rev. Eco.*, V. 56(4) : 983-1005
- Evon P. (2008) Nouveau procédé de bioraffinage du tournesol plante entière par fractionnement thermo-mécano-chimique en extrudeur, Université de Toulouse, dir. L. Rigal, 388p.
- Fauconneau G. (1991) Stratégies de mise en oeuvre des biotechnologies, dans le secteur agro-industriel le cas de la France, *Options Méditerranéennes - Série Séminaires* - no 14 - 1991: 141-154
- Gallezot, P. (2007), Process option for converting renewable feedstocks to bioproducts *Green Chem.*, 9, 295-302
- Genus A. Coles A.M. (2008) Rethinking the multi-level perspective of technological transitions, *Research Policy*, 37 (2008) 1436–1445
- Garnier E., Nieddu M., Barbier M., Kurek B. (2007)- The dynamics of the French hemp system and its stakeholders, in *Journal of Industrial Hemp*, p.67-88.
- Hatchuel A., Molet H. (1986) Rational modelling in understanding and aiding human decision-making: About two case studies, *European Journal of Operational Research* Volume 24, Issue 1, January 1986, Pages 178-186
- Hatchuel A., Le Masson P., Weil B. (2002), From knowledge management to design oriented organisations, in *Intern. Social Science Journal*, 171 : 25-37.
- Hatchuel, A. (1997), Comment penser l'action collective ? Théorie des Mythes rationnels. In. Tosel, A. et Damien, R. (Eds.), *L'action collective*. Presses Univ. de Franche-Comte, p.177-202
- Hatti-Kaul R., *et alii* (2007), Industrial biotechnology for the production of bio-based chemicals – a cradle-to-grave perspective, *TRENDS in Biotechnology* Vol.25 (3) : 119-124.
- Hayes D.J. (2009), An examination of biorefining processes, catalysts and challenges, *Catalyst Today*, V. 145 (1-2), july 2009.
- Inca (2004) *Green Chemistry Series n° 1*, <http://helios.unive.it/inca>, 390p.
- Jianmin Fang and Fowler P. (2003) The use of starch and its derivatives as biopolymer sources of packaging materials" *Food, Agriculture & Environment* Vol.1(3&4) : 82-84.
- Joshi, Satish V. (2008) "Can Nanotechnology Improve the Sustainability of Biobased Products? The Case of Layered Silicate Biopolymer Nanocomposites." *J. of Industrial Ecology* 12, no. 3 p 474-489
- Kadam K. L. *et alii* (2008) Flexible biorefinery for producing fermentation sugars, lignin and pulp from corn stover. *J. of indus. microbiology & biotech.* :35(5):331-41.
- Kamm B., *et alii*, (2006) *Biorefineries, – Biobased Industrial Processes and Products. Status Quo and Future Directions*, Vol. 1 et 2, Wiley-VCH, Weinheim.
- Kromus S. *et alii*, (2004) The green biorefinery Austria -Development of an integrated system for green biomass utilization, *Chem. Biochem. Eng. Quarterly*, 18(11) : 7-12.
- Lancaster, M.(2002) *Green chemistry, an Introductory text*, Royal society of chemistry, 310p.
- Lecoq B (1993) Dynamique industrielle et localisation : Alfred Marshall revisité, *Revue Française d'Economie*, vol. 8, 1993, n°8-4 : 195-234.
- Lunt, J. (1998) - Large-scale production, properties and commercial applications of polylactic acid polymers, *Polymer Degradation and Stability* V. 59 :145-152.
- Mecking, S. (2004) Nature or petrochemistry? – biologically degradable materials, *Angew. Chem. Int. Ed.* 43 : 1078–1085
- Mohanty A. K., Misra M., Drza L.T. (2002) - Sustainable Bio-Composites from Renewable Resources : Opportunities and Challenges in the Green Materials World, *J. of Polymers and Env.*, V.10 (½):

- Malerba F. (2002) "New Challenges For Sectoral Systems of Innovation in Europe", *DRUID Summer Conference 2002* on Industrial, Copenhagen, Denmark, June 6-8, 2002.
- Murzin D.Y., Leino R. (2008) Sustainable chemical technology through catalytic multistep reactions, *Chemical Engin. Res. and Design*, 86(2008) : 1002-1010.
- Nieddu M., Garnier E., (2008) - Evaluation et changement technologique dans le développement soutenable, le cas des agromatériaux, Ecole Chercheurs de Cargèse, CNRS, 19-25 oct. 2008, [http://www.cnrs.fr/edd/recherche/fichiers/ET\\_EvalDur\\_Oct08/MNieddu.pdf](http://www.cnrs.fr/edd/recherche/fichiers/ET_EvalDur_Oct08/MNieddu.pdf)
- Nieddu M. (2002) Science et dynamiques économiques, le cas des biopolymères, *Sciences de la Société*, n°49 : 87-104.
- Nieddu M. *et alii* (1999) Biopolymères et agromatériaux : les entreprises prennent position, *Industries Alimentaires et Agricoles*, n°11/12 : 52-59.
- Peck P. *et alii* (2009) Examining understanding, acceptance, and support for the biorefinery concept among EU policy-makers, *Biofuels, Bioprod. Bioref.*, Volume 3 Issue 3 Pages 361 - 383.
- Octave S., Thomas D. (2009) Biorefinery .. Toward an industrial metabolism *Biochimie* 91 (2009) : 659–664
- Realff M. J., Abbas C., (2004) Industrial Symbiosis : Refining the Biorefinery, *J. of Indus. Ecology*, 7 (3–4).
- Ruef A., Markard J. (2006) What happens after a hype? Changing expectations and their effect on innovation activities, *EASST Conference 2006*, August 23-26, University of Lausanne.
- Sammons N. E.Jr., *et alii* (2008) A systematic framework for biorefinery production optimization *Comp. Aided Chem. Engineering*, V. 25 :1077-1082
- Sanders J. *et al.* (2008) Biorefinery, the bridge between agriculture and chemistry, *5ths european biorefinerye symposium*, 26p.
- Schwark F. (2009) Influence factors for scenario analysis for new environmental technologies – the case for biopolymer technology, *J. of Cleaner Prod.*, 17 : 644–652
- Soetaert W. (2009) Defining biorefinery and different concepts, journée *Biorefutur*, 30 mars 2009, Bruxelles.
- Stuart P. (2006) The forest biorefinery : Survival strategy for canada's pulp and paper sector? *Pulp & paper Canada*, V. 107 (6) : 13-16
- Van Haveren, J., Scott E.L., Sanders J. (2008) Bulk chemicals from biomass, *Biofuels, Bioprod. Bioref.* N°2 :41–57
- Vert M., (2002) Polymères de fermentation : Les poly(acide lactique)s et leurs précurseurs, les acides lactiques, *L' Actualité chimique*, n°11-12 : 79-82.
- Vinck D. (2009) De l'objet intermédiaire à l'objet-frontière. Vers la prise en compte du travail d'équipement, *Revue d'anthropologie des connaissances*, 2009/1 - Vol. 3, n° 1,51-72