



COLEIT 2014

UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE TROYES - 9 ET 10 OCTOBRE 2014

## **Capture et stockage du CO<sub>2</sub> issu des bioénergies : Opportunité ou leurre de la transition énergétique ?**

LAUDE Audrey

Laboratoire REGARDS, Université de Reims  
57 bis rue Taittinger 51096 cedex Reims, France

### **Résumé**

La technologie BECCS (Bioenergy and Carbon Capture & Storage) consiste à capturer le CO<sub>2</sub> émis par des usines produisant des bioénergies afin de le stocker dans des formations géologiques. Ce procédé est de plus en plus intégré dans les modèles de simulation et d'optimisation du système énergétique mondial. Le message principal de ces travaux est que le BECCS pourrait être employé après 2050 et est - avec le CCS - quasiment incontournable pour limiter la hausse de la température à 2°C d'ici 2100, en particulier si les négociations internationales prennent du retard. Pour autant, le BECCS n'est pas encore une technologie dont l'efficacité est pleinement démontrée. La valorisation du CO<sub>2</sub> apparaît à la fois comme une alternative au stockage du carbone et une voie d'accès au BECCS sur le long terme. Ainsi, l'écologie industrielle est une théorie pertinente pour appréhender l'intérêt économique et technologique du BECCS. Cet article montre que cette théorie ainsi que le thème de la valorisation sont quasiment absents du discours BECCS, à travers l'analyse du réseau des co-auteurs. Comblar ces lacunes permettrait une meilleure compréhension du rôle du BECCS dans la transition écologique de la société.

Mots-clés : Bioénergie ; Stockage du Carbone ; BECCS ; Ecologie Industrielle ; Valorisation du CO<sub>2</sub>

### **1. Introduction**

Les technologies de Capture et Stockage du Carbone (CSC) ou Carbon Capture and Storage (CCS), consistent à récupérer le dioxyde de carbone émis par une usine, puis à le transporter par pipelines et à l'enfouir dans une formation géologique profonde. Ce processus peut être installé en « bout de chaîne », par exemple sur des centrales électriques au gaz ou au charbon, mais aussi des installations produisant des bioénergies. C'est ce dernier cas qui nous intéresse ici et que nous appellerons par la suite BECCS pour Bioenergy and Carbon Capture & Storage.

Le BECCS possède une caractéristique fondamentalement différente des autres moyens de production des bioénergies: il permet d'obtenir des « émissions négatives ». Ce terme signifie que le système permet de stocker davantage de CO<sub>2</sub> qu'il n'en émet durant son cycle de vie. En effet, la plante capte le dioxyde de carbone atmosphérique par photosynthèse, puis lors de la transformation de la biomasse (par exemple sa combustion pour obtenir de l'électricité), le CO<sub>2</sub> n'est pas relâché dans l'atmosphère, mais récupéré pour être conservé définitivement sous terre. Le système agit donc comme une sorte de « pompe » à carbone. Les principales applications envisagées aujourd'hui sont la production d'électricité et la production de bioéthanol à partir de betteraves ou de cannes à sucre.

Cette technologie est considérée comme une option clé pour parvenir à des objectifs climatiques stricts, compatibles avec une augmentation inférieure à 2°C de la température d'ici 2100 (Azar et al., 2006 ; Van Vuuren et al., 2011). La mise en œuvre interviendrait

essentiellement après 2050. En termes de transition écologique et sociale, le BECCS apparaît comme une mesure corrective de la trajectoire des émissions. En effet, s'il y a dépassement des plafonds de concentration en CO<sub>2</sub> souhaités, il existe peu de méthodes pour retirer du CO<sub>2</sub> déjà émis (la reforestation principalement). Le BECCS permettrait ainsi - selon le point de vue choisi - soit de donner davantage de souplesse et de temps aux acteurs pour s'organiser, soit de viser des objectifs climatiques plus contraignants, soit de limiter les actions à court terme.

L'objectif de cet article est de réaliser une analyse bibliométrique des travaux académiques sur le BECCS, via une analyse du réseau des co-auteurs. Cette analyse montre que certaines thématiques comme la valorisation industrielle du CO<sub>2</sub> sont quasiment absentes du discours sur le BECCS. Pourtant, plutôt que de considérer le dioxyde de carbone comme un déchet à éliminer, ce dernier peut être perçu comme une matière première pour d'autres industries. Ces possibilités de valorisation sont donc évincées des modèles des chercheurs qui ne peuvent donc évaluer l'intérêt de ces alternatives à l'enfouissement du carbone. Une des conséquences probables est une méconnaissance des technologies qui permettraient de réduire les émissions de carbone à court terme, mais aussi de développer des connaissances utiles en termes de capture et transport du stockage du carbone, nécessaires au développement ultérieur du BECCS.

La section suivante (section 2) présente la méthodologie permettant l'analyse bibliographique, les résultats sont ensuite discutés (section 3).

## **2. Méthode du réseau de co-auteurs**

La démarche d'obtention d'une cartographie du réseau des co-auteurs est la suivante : 1) Recherche et extraction des données ; 2) Tracé et visualisation du réseau.

### **2.1 Extraction des données**

L'acronyme BECCS est loin de faire l'unanimité parmi les chercheurs. Bien qu'il soit le plus fréquent, de nombreux autres termes sont employés comme : BECS ; BE-CCS ; Bio-CCS ; BCCS ; bioenergy and CCS ; biomass and CCS ; biotic CCS, etc. De plus, certains auteurs ne se réfèrent pas au concept général de BECCS mais uniquement à l'une des applications possibles, par exemple la cogénération de chaleur et d'énergie avec gazéification de la biomasse avant le stockage géologique (Uddin et Barreto 2007). C'est pourquoi la recherche des articles sur la base éditeur Scopus a nécessité la combinaison de requêtes spécifiques (« BECCS » ; « BECS ») et de requêtes plus larges (« Bioenergy + Carbon Capture » ; « Bioenergy + CCS » ; « Biomass + CCS »). Les documents sélectionnés ont ensuite fait l'objet d'une relecture pour vérifier qu'ils traitaient bien du BECCS. Les articles inappropriés et les doublons ont été exclus. Finalement, 134 articles publiés ont ainsi pu être conservés dans la base de données finale, pour une période allant de 2001 à juin 2014. Avec cette méthode de sélection, l'oubli d'un article approprié est possible, mais en revanche la sélection manuelle permet de s'assurer que tous les documents traitent bien du thème voulu. Le BECCS y est, soit le sujet principal, soit l'un des sujets traités, mais il n'est pas simplement évoqué dans le texte. Par ailleurs, les références de rapports institutionnels et documents de travail ont été ajoutés après des recherches sur Google Scholar, pour un total de 155 documents.

### **2.2 Traitement des données**

Le réseau de co-auteurs peut être visualisé sous la forme d'un graphe non-orienté dont les auteurs sont les nœuds et la collaboration à un article, un lien. Plus deux auteurs ont co-écrits ensemble plus le poids du lien entre eux augmente : leur relation scientifique est supposée être plus forte. La visualisation a été réalisée via le logiciel Gephi en appliquant les algorithmes de spatialisation « Yiphan Hue proportionnel » et « Force Atlas 2 ». Les communautés ont été obtenues en utilisant les classes de modularité.

### 3. Résultats

#### 3.1 Origine des documents

Sur l'ensemble des documents (articles publiés mais aussi documents de travail et rapports), le terme BECCS désigne la technologie dans 45% des cas et le terme « BECS » (BioEnergy with Carbon Storage) dans 18%. Néanmoins ce dernier apparaît dès 2001 (Obersteiner et al., 2001) tandis que « BECCS » n'est employé qu'à partir de 2010. L'usage de « BECCS » souligne davantage que ce processus est une variante du CCS et en possède les caractéristiques techniques. Les autres appellations restent beaucoup plus marginales. Bien que le nombre de textes soit limité, on constate une augmentation nette de la littérature dédiée, ce qui témoigne d'un intérêt croissant pour la thématique.

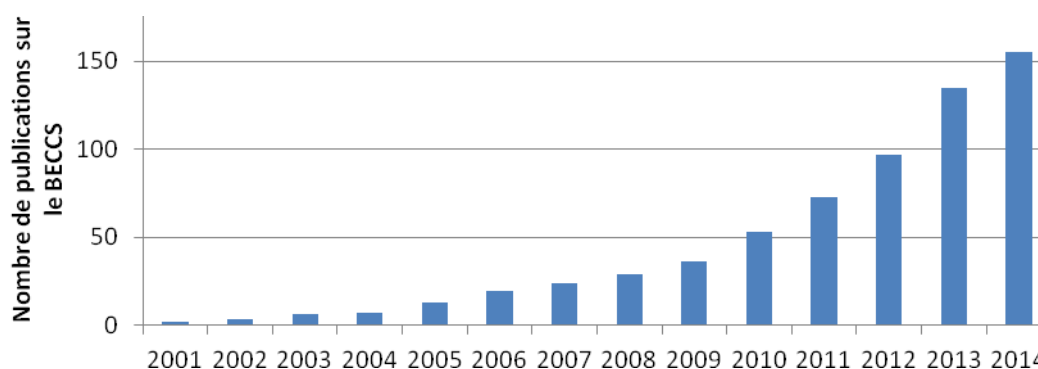


Figure 1: Publications cumulées sur le BECCS

Les principales revues où sont publiés les travaux sont listés au Tableau 1. *Climatic Change* regroupe 23,88% des travaux académiques. Les premiers articles y sont publiés en 2008, mais l'année 2013 constitue un record avec 18 articles. En effet, la revue fait paraître une édition spéciale intitulée "*Carbon Dioxide Removal from the Atmosphere: Complementary Insights from Science and Modeling*". En troisième position, *Energy Procedia* est une revue consacrée au CCS dans laquelle paraissent exclusivement les actes du colloque GHGT (Greenhouse Gas Control Technologies). *International Journal of Greenhouse Gas Control* n'accepte également que des articles liés à la technologie CCS. La présence de ces deux revues laisse supposer que les chercheurs sur le BECCS sont plutôt liés à la technologie CCS qu'aux bioénergies sur le plan épistémologique.

Tableau 1: Distribution des articles dans les cinq premières revues (source Scopus)

Titre de la revue	% de 134
Climatic Change	23,88
Energy Policy	8,96
Energy Procedia	7,46
Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change	5,97
International Journal of Greenhouse Gas Control	4,48
<b>Total des 5 premières revues</b>	<b>50.75</b>

Les dix articles les plus cités sont présentés au Tableau 2. Parmi eux, cinq recourent ou présentent des modèles mondiaux énergétiques qui incorporent la technologie BECCS (Azar et

al., 2003 ; Azar et al., 2006 ; Azar et al., 2010 ; van Vuuren et al., 2011 ; Luderer et al., 2011). Faaij (2006) réalise une revue de littérature sur les techniques de conversion de la biomasse en énergie, avec ou sans capture et stockage du carbone. Möllersten et al. (2003) décrivent deux marchés de niche potentiel pour le BECCS, à savoir le bioéthanol à partir de canne à sucre et la récupération du CO<sub>2</sub> de papeteries. Mathews (2008) s'intéresse à la manière de produire des biocarburants à bilan carbone négatif et propose plusieurs pistes dont le biocharbon et l'usage d'algues. Rhodes et Keith (2005) et Carpentieri et al. (2005) s'intéressent à la production d'électricité par gazéification de la biomasse, mais le premier article présente aussi d'autres variantes possibles du BECCS et tente d'estimer le surcoût et donc le prix du CO<sub>2</sub> évité qu'il faudrait atteindre.

*Tableau 2 : Les 10 articles de recherche les plus cités d'après Google Scholar*

Auteurs	Nombre de citations
Azar et al. (2003)	251
Azar et al. (2006)	222
Faaij (2006)	198
Möllersten et al. (2003)	141
Van Vuuren et al. (2011)	139
Mathews (2008)	136
Rhodes et Keith (2005)	111
Azar et al. (2010)	91
Carpentieri et al. (2005)	82
Luderer et al. (2011)	78

### 3.2 Réseau de co-auteurs

Le réseau des co-auteurs est représenté à la Figure 2. La taille des noms des auteurs et celle des nœuds associés sont proportionnelles au nombre d'articles publiés dans le domaine d'étude. Lorsque les co-auteurs d'un article n'ont pas eu de collaboration avec d'autres auteurs de la base de données, ils ont été supprimés du graphe. La visibilité du graphe est alors améliorée par la suppression d'auteurs isolés, n'ayant rédigé qu'un seul article. Le nombre d'auteurs en réseau est limité à 179, dont 162 dans le réseau principal. Ce réseau est divisé en six communautés et son auteur le plus prolifique est van Vuuren avec 21 publications. Il s'agit aussi de l'auteur ayant le plus co-écrit.

Les communautés au centre du graphique sont particulièrement interconnectées. Leurs auteurs travaillent sur des modèles intégrés (IAM pour Integrated Assessment Models) qui couplent l'évolution des systèmes économiques, climatiques et énergétiques d'aujourd'hui à 2100. Ils s'interrogent sur l'évolution du parc énergétique et de l'affectation des terres sous la contrainte d'une limitation des émissions de gaz à effet de serre. Ces modèles sont notamment utilisés pour les exercices prospectifs du GIEC et forment ainsi une base scientifique pour la prise des décisions politiques. Les institutions les plus représentées dans le graphique appartiennent d'ailleurs à l'IAM consortium. Fondé en 2007, son objectif est de développer de nouveaux scénarii, appelé Representative Concentration Pathway (RCP) destinés à l'ensemble des modélisateurs climatiques. La communauté s'est organisée autour de l'équipe des modélisateurs du modèle IMAGE développé par le PBL<sup>1</sup> aux Pays-Bas. Ils construisent le RCP 2.6 W.m<sup>2</sup> qui est le scénario le plus contraignant, correspondant à 400ppm et à une limitation de la température de 2°C. La plupart des articles intègre le BECCS dans une large réflexion sur

<sup>1</sup> Netherlands Environmental Assessment Agency

l'importance des politiques climatiques à court terme (accords de Copenhague, cibles européennes, relation avec les pays émergents) et sur la disponibilité des technologies (par exemple les incertitudes sur le développement du CCS).

Un peu plus haut à droite, la communauté s'est édifiée autour d'auteurs ayant participé à des exercices de comparaison des modèles IAM et à la synthèse de ces résultats. Juste en-dessous, une autre communauté s'établit autour du modèle GCAM développé au PNNL<sup>2</sup> par une équipe principalement américaine. Bien que le RCP dévolu à cette équipe soit le RCP 4,5W/m<sup>2</sup> pour une concentration atmosphérique de 525ppmv, donc un peu moins restrictif, ces travaux interrogent aussi des cibles à 2.6W.m<sup>2</sup> et certains articles comparent des résultats avec des cibles moins contraignantes. Un peu en-dessous, une autre communauté, dominée par l'équipe du PIK<sup>3</sup> en Allemagne, s'est bâtie autour du modèle MagPie et privilégie l'étude de la production de biomasse en réponse à une demande en nourriture et bioénergies.

Tout en haut du réseau principal, la communauté est dominée par trois auteurs, Obersteiner M., Azar C. et Möllersten K. issus des institutions IIASA<sup>4</sup> (Autriche) et de l'université de Chalmers (Suède). Ces chercheurs font partie des premiers à avoir imaginé le processus BECCS, ses diverses applications et son potentiel. Il s'agit donc d'une communauté constituée autour des initiateurs. Les méthodes d'analyse ne sont pas uniquement des modèles IAM (par exemple recours aux options réelles ou modélisation de la production forestière). Tout en bas de la figure 2, se trouve une autre communauté issus majoritairement de l'université d'Utrecht (Pays-Bas) et de NTNU<sup>5</sup> (Norvège). Leurs travaux sont davantage tournés sur les aspects technico-économiques des modes de conversion de la biomasse en énergie.

Il existe également deux petites communautés de co-auteurs non reliées au réseau principal. La première communauté (9 auteurs) possède deux thématiques distinctes, d'une part la perte en biodiversité qu'entraînerait l'utilisation massive du BECCS (Powell et Lenton, 2012 ; Powell et Lenton, 2013), d'autre part la géo-ingénierie ou ingénierie climatique (Boucher et al., 2014). La géo-ingénierie vise à intervenir sur le climat via un ensemble de méthodes comme la gestion du rayonnement solaire ou le retrait du CO<sub>2</sub> de l'atmosphère. L'autre petite communauté (8 auteurs) est principalement française et apparaît à la suite d'un projet de recherche initié par le BRGM<sup>6</sup>, sur l'évaluation économique d'un pilote de CCS sur une usine produisant du bioéthanol à partir de betteraves sucrières (Laude et al., 2011).

### 3.3 Analyse thématique

A la section précédente, il a pu être constaté que la majorité des auteurs du réseau central traitent de l'évolution du parc énergétique sur le long terme au moyen de modèles climatiques intégrés, au niveau mondial. Si l'objectif principal est de simuler ou d'optimiser ce parc sous différentes contraintes carbone, d'autres thématiques plus précises apparaissent : conséquences d'un retard de l'action (par exemple, participation limitée des pays émergents, risque de dépassement temporaire du seuil fixé), disponibilité de la biomasse (potentiel de production et changement d'affectation des terres), impacts environnementaux (pertes en biodiversité), disponibilité technologique (maturité technologique du BECCS et du CCS)... A côté de ces modèles mondiaux, apparaissent d'autres modèles qui s'interrogent sur le potentiel de la technologie sur un pays déterminé tel que le Brésil, l'Autriche, le Royaume Uni, la Corée du Sud, ou sur une région du monde comme l'Asie ou l'Afrique. Les modèles régionaux et mondiaux recouvrent 60,45% de l'ensemble des documents.

Les travaux se préoccupant des caractéristiques techniques (conception des procédés, empreinte carbone) représentent 24,63% des articles, hors revues de littérature. Les principales

---

<sup>2</sup> Pacific Northwest National Laboratory

<sup>3</sup> Potsdam Institute for Climate Impact Research

<sup>4</sup> International Institute for Applied Systems Analysis

<sup>5</sup> Norwegian University of Science and Technology

<sup>6</sup> Bureau des Ressources Géologiques et Minières

technologies sondées concernent la production de bioéthanol, les papeteries, la cogénération de charbon et de biomasse ainsi que la gazéification de la biomasse pour produire de l'électricité.

Un autre ensemble d'auteurs privilégie le thème de la géo-ingénierie (10,44% des articles). L'un des débats est de savoir si le BECCS appartient aux pratiques de géo-ingénierie, dont les limites ne sont pas bien fixées. La réflexion s'oriente sur la comparaison des risques entre les pratiques relevant de la géo-ingénierie et donc les conditions de son éventuelle utilisation. En termes de transition énergétique, la géo-ingénierie apparaît comme un ensemble de solutions de la « dernière chance », visant non plus à limiter les gaz à effet de serre, mais à réduire les symptômes associés à ces derniers. Dans cette perspective, le stockage géologique du carbone n'agit pas sur la cause des émissions, mais permettrait de réguler la quantité de CO<sub>2</sub> atmosphérique et donc la température globale.



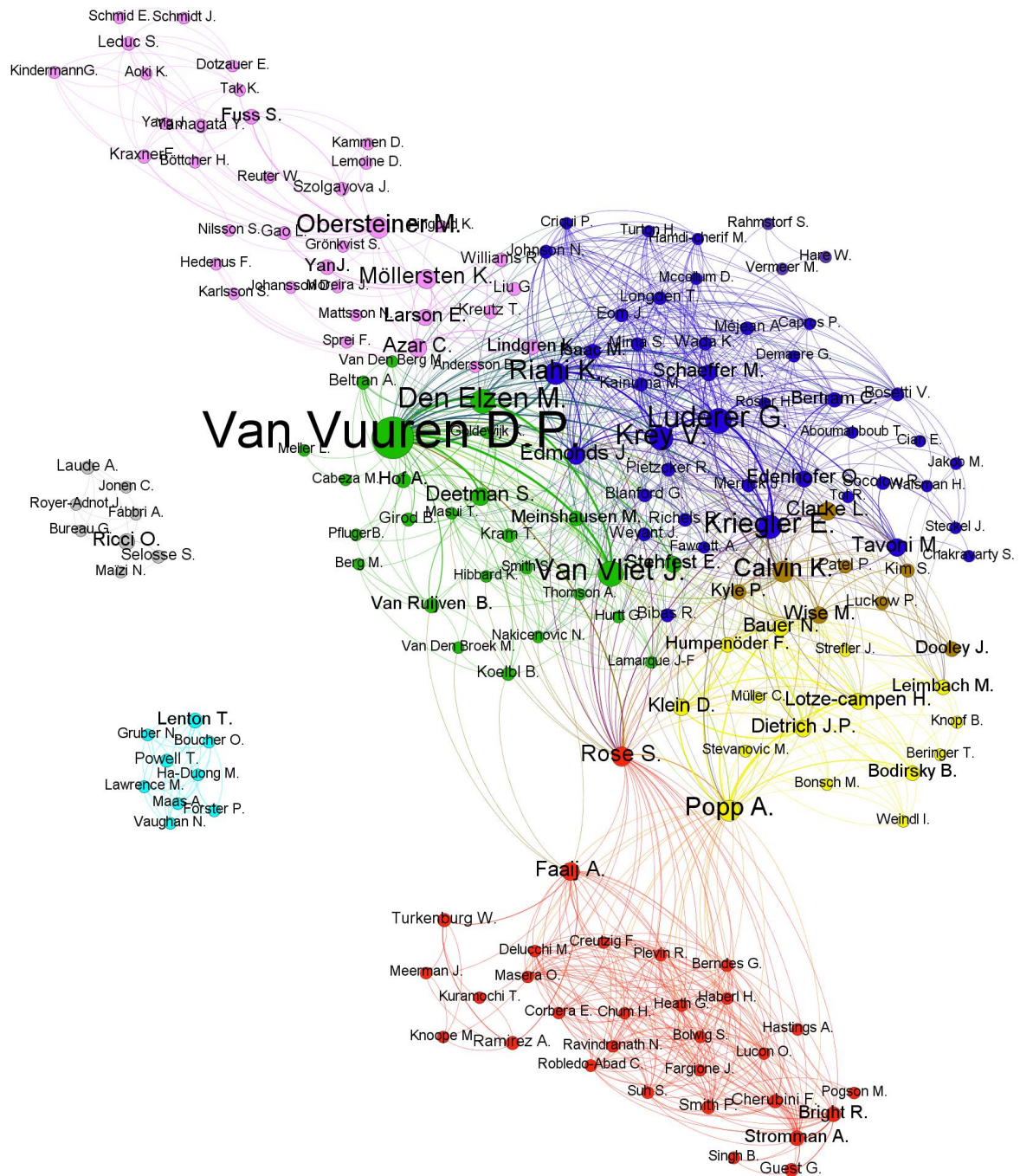


Figure 2: Réseau de co-auteurs sur le thème du BECCS

Les autres thématiques et méthodes sont plus marginales. Un seul article (Singh et al., 2014) emploie le terme d'écologie industrielle parmi ses mots-clés. Il est d'ailleurs publié dans le « *Journal of Industrial Ecology* ». L'article consiste en une analyse du cycle de vie (ACV) des voitures électriques et des voitures avec piles à combustible, pour lesquelles l'électricité et l'hydrogène (respectivement) proviennent de biomasse (ici du bois). Trois articles mobilisent le concept de bioraffinerie. Xu et al. (2010) réalisent une revue de littérature sur l'emploi du CO<sub>2</sub> issu de la fermentation de la biomasse pour l'obtention du bioéthanol. Bien que soulignant l'hypothèse de stockage géologique, ils présentent davantage les possibilités de valorisations industrielles suivantes : les boissons gazeuses, la réfrigération, la fabrication de composés

organiques (comme la synthèse d'urée), la carbonatation minérale, la production d'hydrogène et celle d'algues. Yue et al. (2014) proposent une étude de la chaîne de valeur des biocarburants à différentes échelles spatiales, tout en évoquant les technologies de capture et stockage du carbone. Néanmoins, la partie concernant le BECCS est limitée et consiste en une courte revue de littérature. Haro et al. (2013) se concentrent sur le cas du bio-éthylène. Ils comparent plusieurs procédés de fabrication et réalisent une analyse technico-économique, comportant une évaluation des flux de matières et d'énergie, mais aussi du coût des investissements et finalement du prix de la tonne de CO<sub>2</sub> évité. Haro et al. (2014) analysent l'intérêt du BECCS dans le cas d'une bioraffinerie multi-produits sur le modèle des raffineries traditionnelles.

La perspective d'une évolution à long terme domine donc les travaux sur le BECCS (que ce soit pour les modèles mondiaux, régionaux ou la géo-ingénierie). En ce sens, ces auteurs se placent dans une perspective de transition. Le terme est d'ailleurs présent dans 46 documents. Cependant, peu d'entre eux font référence au courant du management de la transition. Celui-ci désigne le passage d'un régime socio-technologique à un autre, en réponse d'une part à une modification du contexte économique, technique et social (le paysage) qui englobe le régime, et, d'autre part, sous l'impulsion d'innovations apparaissant dans des niches. Deux articles seulement évoquent explicitement le management de la transition. Les travaux de Vergragt et al. (2011) s'interrogent sur le risque de verrouillage technologique dans les technologies fossiles et sur le rôle du BECCS à cet égard. Ils étudient alors le système d'innovation qui entoure la technologie. Meadowcroft (2013) mobilise le concept de transition pour comparer le rôle des technologies permettant les émissions négatives, dont le BECCS.

#### 4. Conclusions et Recommandations

La technologie BECCS (Bioenergy and Carbon Capture and Storage) fait l'objet d'un intérêt croissant de la communauté scientifique. L'analyse des co-auteurs montre que les chercheurs travaillant en réseau abordent essentiellement la question de la modélisation du parc énergétique à long terme se plaçant *de facto* dans une réflexion sur la transition écologique. Les deux autres thèmes privilégiés sont l'analyse technico-économique de chaque variante possible et la géo-ingénierie. A l'inverse, les travaux se référant au corpus théorique de l'écologie industrielle (EI) demeurent très marginaux.

Pourtant, aborder le BECCS sous l'angle de l'EI paraît pertinent, de par sa critique des technologies de bout de chaîne (end-of-pipe), son intérêt pour le réemploi des déchets et ses analyses des questions d'implémentations territoriales. Ainsi dans notre contexte, il pourrait être opportun de comparer les atouts et les défauts du BECCS avec ceux de la valorisation du CO<sub>2</sub>, d'autant qu'ils partagent tous les deux l'étape de capture du CO<sub>2</sub>. De plus, se pose la question de la localisation de ces industries qui doivent faire coïncider la ressource biomasse, le site de production et un site géologique adapté, ce qui pose des problèmes de mise-en-œuvre. La place dans la transition de chacun pourrait ainsi être mieux appréhendée.

Cet article demeure exploratoire et présente nécessairement des limites. Les chercheurs travaillant sur la thématique BECCS connaissent également la littérature CCS. Ainsi, il serait intéressant de vérifier que le concept d'EI n'a pas été davantage mobilisé dans ce cadre. Enfin, une analyse des citations permettrait de déterminer quels sont les articles les plus lus par les chercheurs travaillant sur le BECCS.

#### Références

- Azar, C., K. Lindgren et B. Andersson, 2003, Global Energy Scenarios Meeting Stringent CO2 Constraints—cost-Effective Fuel Choices in the Transportation Sector, *Energy Policy* 31, 10: 961–76.
- Azar, C., K. Lindgren, E.D. Larson et K. Möllersten, 2006, Carbon Capture and Storage From Fossil Fuels and Biomass – Costs and Potential Role in Stabilizing the Atmosphere, *Climatic Change* 74: 47–79.
- Azar, C., K. Lindgren, M. Obersteiner, K. Riahi, D.P. van Vuuren, M.G.J. den Elzen, K. Möllersten et E.D. Larson, 2010, The Feasibility of Low CO2 Concentration Targets and the Role of Bio-Energy with Carbon Capture and Storage ( BECCS ), *Climatic Change* 100: 195–202.



- Boucher, O., P.M. Forster, N. Gruber, M. Ha-Duong, M.G. Lawrence, T. M. Lenton, A. Maas et N.E. Vaughan, 2014, Rethinking Climate Engineering Categorization in the Context of Climate Change Mitigation and Adaptation., Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change 5, 1: 23–35.
- Carpentieri, M., A. Corti et L. Lombardi, 2005, Life Cycle Assessment ( LCA ) of an Integrated Biomass Gasification Combined Cycle ( IBGCC ) with CO<sub>2</sub> Removal, Energy Conversion and Management 46: 1790–1808.
- Faaij, A.P.C., 2006, Modern Biomass Conversion Technologies.” Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 11, 2: 335–67.
- Haro, P., P. Ollero et F. Trippe, 2013, Technoeconomic Assessment of Potential Processes for Bio-Ethylene Production, Fuel Processing Technology 114: 35–48.
- Haro, P., Á.L.V. Perales, R. Arjona et P. Ollero, 2014, Thermochemical Biorefineries with Multiproduction Using a Platform Chemical., Biofuels, Bioproducts and Biorefining 8, 2.
- Kriegler, E., O. Edenhofer, L. Reuster, G. Luderer et D. Klein, 2013, Is Atmospheric Carbon Dioxide Removal a Game Changer for Climate Change Mitigation?, Climatic Change 118, 1: 45–57.
- Laude, A., O. Ricci, G. Bureau, J. Royer-Adnot, et A. Fabbri, 2011, CO<sub>2</sub> Capture and Storage from a Bioethanol Plant: Carbon and Energy Footprint and Economic Assessment, International Journal of Greenhouse Gas Control 5, 5: 1220–31.
- Luderer, G., V. Bosetti, M. Jakob, M. Leimbach, J.C. Steckel, H. Waisman et O. Edenhofer, 2011, The Economics of Decarbonizing the Energy System—results and Insights from the RECIPE Model Intercomparison., Climatic Change 114, 1: 9–37.
- Mathews, J., 2008, Carbon-Negative Biofuels, Energy Policy 36, 3: 940–45.
- Meadowcroft, J., 2013, Exploring Negative Territory Carbon Dioxide Removal and Climate Policy Initiatives, Climatic Change 118, 1: 137–49.
- Möllersten, K., J. Yan et J. Moreira, 2003, Potential Market Niches for Biomass Energy with CO<sub>2</sub> Capture and storage—Opportunities for Energy Supply with Negative CO<sub>2</sub> Emissions, Biomass and Bioenergy 25, 3: 273–85.
- Obersteiner M., C. Azar, S. Kossmeier, R. Mechler, K. Möllersten, S. Nilsson, P. Read, Y. Yamagata et J. Yan, 2001, Managing Climate Risk, Interim Report IR-01-051.
- Powell, T. W., et T.M. Lenton, 2013, Scenarios for Future Biodiversity Loss due to Multiple Drivers Reveal Conflict between Mitigating Climate Change and Preserving Biodiversity, Environmental Research Letters 8, 2.
- Powell, T.W. et T.M. Lenton, 2012, Future Carbon Dioxide Removal via Biomass Energy Constrained by Agricultural Efficiency and Dietary Trends, Energy & Environmental Science 5, 8: 8116.
- Rhodes, J.S. et D.W. Keith, 2005, Engineering Economic Analysis of Biomass IGCC with Carbon Capture and Storage, Biomass and Bioenergy 29, 6: 440–50.
- Singh, B., G.Guest, R.M. Bright et A.H. Strømman, 2014, Life Cycle Assessment of Electric and Fuel Cell Vehicle Transport Based on Forest Biomass, Journal of Industrial Ecology 18, 2: 176–86.
- Uddin, S.N. et L. Barreto, 2007, Biomass-Fired Cogeneration Systems with CO<sub>2</sub> Capture and Storage, Renewable Energy 32, 6: 1006–19.
- Van Vuuren, D.P., E. Stehfest, M.G.J. den Elzen, T. Kram, J. van Vliet, S. Deetman, M. Isaac et K.K. Goldewijk, 2011, RCP2 . 6 : Exploring the Possibility to Keep Global Mean Temperature Increase below 2 ° C, Climatic Change, 109:95–116.
- Vergragt, P.J., N. Markusson et H. Karlsson, 2011, Carbon Capture and Storage, Bio-Energy with Carbon Capture and Storage, and the Escape from the Fossil-Fuel Lock-In, Global Environmental Change 21, 2: 282–92.
- Xu, Y., L. Isom et M. Hanna, 2010, Adding Value to Carbon Dioxide from Ethanol Fermentations, Bioresource Technology 101, 10.
- Yue, D., F. You et S.W. Snyder, 2014, Biomass-to-Bioenergy and Biofuel Supply Chain Optimization: Overview, Key Issues and Challenges, Computers & Chemical Engineering 66.