

RAPPORT DE RECHERCHE DE L'IREC



**La symbiose industrielle : une voie de développement
économique régional**

Vers un Pôle des technologies propres

Noël Fagoaga

Robert Laplante

MAI 2018

Notices biographiques

Chargé de projets à l'IRÉC, **Noël Fagoaga** possède une maîtrise en génie des bioprocédés de l'EBI (École de biologie industrielle) en France et une maîtrise en environnement et développement durable de l'Université de Montréal. Il travaille sur les enjeux liés à l'énergie, l'environnement et le développement bioindustriel, notamment sur les filières de valorisation de la biomasse et traitement des matières résiduelles.

Directeur général de l'IRÉC, **Robert Laplante** détient un doctorat en sciences sociales (sociologie) à l'École normale supérieure de Cachan (Paris). Il a publié de nombreux travaux scientifiques, en particulier dans le domaine des études coopératives. Il s'intéresse plus particulièrement à l'économie politique de l'exploitation forestière et aux questions relatives au développement régional. Robert Laplante a publié plusieurs livres dont *L'expérience coopérative de Guyenne*.

Ce rapport de recherche a été réalisé pour le compte du Comité de maximisation des retombées économiques de Port-Daniel-Gascons.

© Institut de recherche en économie contemporaine

ISBN 978-2-923203-95-9 (version imprimée)

ISBN 978-2-923203-96-6 (PDF)

Dépôt légal — Bibliothèque nationale du Québec, 2018

Dépôt légal — Bibliothèque nationale du Canada, 2018

IRÉC, 10555, avenue de Bois-de-Boulogne, CP 2006, Montréal (Québec) H4N1L4

FAITS SAILLANTS

- L'établissement d'une cimenterie à Port-Daniel-Gascons représente une occasion de développement non seulement pour la collectivité immédiate, mais bien pour l'ensemble de la région et en particulier pour la MRC du Rocher-Percé et celle de Bonaventure. En misant sur la création d'une chaîne de valeur reposant sur la valorisation du CO₂ émis par la cimenterie McInnis, il est possible de transformer un passif environnemental en avantage stratégique. C'est en misant sur une approche d'écologie industrielle, bénéfique au développement industriel du territoire, que le milieu sera capable d'attirer des acteurs clés du développement. Cela doit se réaliser sur les principes suivants :
 1. L'investissement dans des technologies fiables, éprouvées et commercialisables;
 2. L'identification des marchés les plus propices au développement;
 3. Le développement de filières d'approvisionnement fiables.
- Des exemples de parcs éco-industriels démontrent la nécessité de réaliser une démarche de long terme pour favoriser la mise en œuvre d'un développement fiable et résilient. Une telle approche n'a de chance de succès que si elle permet également de répondre à des enjeux de développement à court terme.
- Une approche intégrée est proposée pour la mise en œuvre d'une symbiose industrielle à Port-Daniel-Gascons axée sur deux avenues de développement :
 1. La production de commodités capables de répondre à la demande locale ;
 2. Le déploiement de capacités de produire dans des secteurs et des produits à forte valeur ajoutée, tels les bioproduits.

On peut aussi identifier une filière de valorisation de la biomasse et de « chimie verte » portée par un approvisionnement local, tout comme une filière de commodités industrielles portée par la technologie du « Power To Gas ».

- La mise en œuvre d'une réelle approche d'approvisionnement en biomasse sur le territoire est un élément important du développement local. Cette approche ne doit pas seulement se baser sur la vente de biocombustibles à la cimenterie, mais

sur une démarche plus globale capable de soutenir le développement d'une réelle filière de valorisation de la biomasse qui soit en mesure de répondre aussi bien à une demande en biocombustibles qu'à une demande en « chimie verte ».

- Le développement d'un centre de conditionnement est un élément incontournable de la filière biomasse dans la région. Ce centre doit tout d'abord être un lieu de mutualisation des ressources technologiques capable de toucher une grande variété de débouchés. Pour pouvoir viser les produits à plus forte valeur ajoutée et fiabiliser les filières de valorisation, il doit aussi devenir une instance de coordination capable de développer de nouveaux marchés bénéfiques pour les acteurs du territoire.
- Une fois le centre de conditionnement mis en œuvre, il sera plus facile d'attirer des acteurs bioindustriels capables de valoriser les différentes molécules d'intérêt de la biomasse produite. En intégrant la biomasse halieutique dans cette réflexion, on peut identifier les extractibles, les sucres cellulosiques, les huiles, les protéines ou la lignine comme produits valorisables sur les marchés matures ou émergents.
- L'approvisionnement fiabilisé en méthane par la transformation de l'hydrogène qui prendrait appui sur les réseaux de chaleur et sur le réseau électrique représenterait un atout indéniable pour le développement d'un projet industriel et ce, non seulement pour Port-Daniel-Gascons, mais aussi, plus globalement pour l'ensemble des territoires de la MRC du Rocher-Percé et de la MRC de Bonaventure. La fiabilisation d'un approvisionnement peut créer un environnement d'affaires propice à la venue de nouveaux entrants. Pour y parvenir, la voie du « Power To Gas » (électrolyse et méthanation) est une réelle opportunité pour la production de commodités à usage local. En effet, d'autres produits issus de l'électrolyse, comme l'ammoniaque ou l'hydrogène, entrent dans les chaînes de transformation de certaines industries.
- Pour y parvenir, une séquence de développement est privilégiée :
 1. Les étapes clés de la stratégie sont la captation de CO₂ et le centre de conditionnement de la biomasse. Il faut donc créer les conditions idoines pour attirer des industries innovantes dans la valorisation du CO₂ et dans celle des produits de la biomasse.
 2. Développer les technologies de valorisation (« chimie verte », « Power to Gas »). L'abondance de CO₂ et de biomasse disponibles industriellement permet

d'espérer attirer une grande diversité d'acteurs assurant des débouchés complémentaires pour le futur territoire éco-industriel.

3. Développer des axes de commercialisation des débouchés au niveau local, régional ou international. Cela attirera des acteurs recherchant la capacité d'innovation, de commercialisation et d'approvisionnement du territoire en prenant appui sur les complémentarités et les synergies envisageables avec les acteurs déjà présents.
- Pour opérationnaliser cette approche, la collectivité doit pouvoir compter sur une structure d'excellence qui sera appelée à enclencher la nouvelle démarche de symbiose industrielle. Elle devra être composée de deux cellules :
 1. Une cellule de développement chargée de mener à bien les éléments structurants de la symbiose industrielle : la captation du CO₂, le centre de conditionnement de la biomasse, une table de concertation, un financement approprié et des infrastructures logistiques adaptées.
 2. Une cellule d'innovation et de commercialisation capable de soutenir les initiatives innovantes proposées par les acteurs du territoire ou d'attirer des entreprises de pointe pour qui Port-Daniel-Gascons peut devenir un site attractif et le centre de gravité et de rattachement d'une boucle industrielle se déployant sur les territoires adjacents des MRC de Rocher-Percé et Bonaventure. Cette cellule doit permettre de donner aux entreprises les moyens de passer d'une démarche innovante à une application commerciale.
 - Enfin, le soutien des gouvernements du Québec et du Canada devra être à la hauteur des défis qui se posent au milieu, mais également à la hauteur des responsabilités qui découlent des cibles de réduction de gaz à effet de serre (GES) qu'ils ont fixées.

TABLE DES MATIÈRES

1. Introduction	1
2. Les concepts de base	3
2.1 La symbiose industrielle	3
2.2 De la captation à la valorisation du CO ₂	4
3. Des exemples inspirants d'écosystèmes industriels	5
4. Les bases d'un modèle d'affaires	7
5. Une symbiose industrielle pour Port-Daniel-Gascons	9
5.1 Une approche intégrée	9
5.2 L'approvisionnement en biomasse	10
5.3 La valorisation de la biomasse	13
5.4 La captation du CO ₂	14
5.5 La valorisation du CO ₂	15
5.6 Débouchés à court terme	20
5.7 Séquence de mise en œuvre	22
6. Les paramètres d'un modèle d'opérationnalisation	23
6.1 Une structure d'excellence	23
6.2 Les commodités industrielles	25
6.3 Les débouchés de spécialité	28
Conclusion - Pour la suite des choses	31
Annexe 1 - Les acteurs du marché	33
A1.1 Biocombustibles	33
A1.2 Captation du CO ₂	34
A1.3 Électrolyse et méthanation	35
A1.4 Valorisation du CO ₂	35

A1.5 Algues	36
A1.6 Électrolyse du Co2	36
Annexe 2 - Des exemples inspirants	37
A2.1 Kalundborg, Danemark	37
A2.2 Sarnia, Ontario	38
A2.3 Varennes, Québec	40
Annexe 3 - Électrolyse et production de méthane.	43

1. INTRODUCTION

L'établissement d'une cimenterie à Port-Daniel-Gascons représente une occasion de développement non seulement pour la collectivité immédiate, mais bien pour l'ensemble de la région et en particulier pour les MRC du Rocher-Percé et de Bonaventure. Un tel investissement procure déjà des retombées en emplois et un impact économique non négligeables. Cette implantation ne va cependant pas sans dresser des défis majeurs pour la région et pour le Québec tout entier. La cimenterie deviendra le plus gros producteur de gaz à effet de serre (GES) du Québec, ce qui, d'ores et déjà, pose le défi de concevoir et mettre en place une stratégie de mitigation essentielle pour la qualité de l'environnement et indispensable pour que le Québec atteigne ses objectifs de réduction d'émissions. À ce défi d'envergure s'ajoute celui, plus classique, de l'impact d'un grand projet sur la structure économique et sur le modèle de développement local et régional. Les réponses à ces défis peuvent représenter autant d'occasions de développement et d'innovation, à condition d'être abordées et inscrites dans une perspective intégrée. Pour la collectivité, pour le Québec, l'enjeu est tout entier résumé dans une formule : transformer un passif environnemental en avantage stratégique.

Dans un rapport de recherche intitulé *Transition énergétique - Amorcer une rupture*, l'Institut de recherche en économie contemporaine (IRÉC) a pointé une avenue qui pourrait s'avérer porteuse aussi bien pour le développement local que pour la lutte aux GES. Cette approche participerait à une stratégie d'atténuation du bilan carbone de l'entreprise de cimenterie et viserait à en faire une avenue de développement local misant sur l'innovation et la création éventuelle d'une filière industrielle porteuse. Il existe des procédés technologiques capables de répondre à la captation du CO₂ produit par le procédé industriel de la cimenterie. Le choix de ces procédés dépend des positionnements retenus pour le produit final visé. Parmi ceux-là, la technologie dite « Power To Gas » permet, par méthanation, de produire du méthane biogénique et peut s'avérer particulièrement intéressante dans le contexte gaspésien. Par ailleurs, le CO₂ capté pourrait aussi être utilisé par de multiples procédés innovants allant de la production d'algues à des molécules chimiques biosourcées.

Des échanges avec le coordonnateur du comité de maximisation des retombées économiques de Port-Daniel-Gascons ont permis d'établir la pertinence d'approfondir la connaissance de ce potentiel technologique et des possibilités qu'il offre pour le développement local et régional afin d'inscrire le projet de cimenterie dans une économie plus sobre en carbone.

Visant à déterminer les orientations à privilégier pour intégrer un projet de valorisation du CO₂ de la cimenterie McInnis dans un cadre de développement industriel, le présent rapport entend jeter les bases conceptuelles d'une approche économique intégrée pour entreprendre la création à moyen terme d'une véritable filière verte pour Port Daniel-Gascons. Les scénarios à privilégier suivant les procédés identifiés et le niveau d'avancement

technologique de chacune des technologies seront brièvement exposés. Le rapport présente certains des principaux paramètres d'opérationnalisation en plus d'identifier quelques-uns des acteurs et compagnies susceptibles d'avoir de l'intérêt pour une telle approche.

En parallèle, une démarche a été enclenchée visant le développement d'une filière de valorisation de la biomasse. Un premier travail a été réalisé par les responsables de la cimenterie afin d'explorer le potentiel d'approvisionnement en biomasse résiduelle pour ses opérations. Cette étude n'a pas été rendue publique, mais elle a permis de poser quelques jalons utiles à une réflexion sur une approche régionale de la valorisation de la biomasse. Plusieurs des acteurs de l'industrie forestière régionale ont entrepris une réflexion et amorcé des discussions avec la cimenterie McInnis afin d'explorer les voies d'élaboration d'un modèle économique de valorisation de la biomasse résiduelle.

Dans l'état actuel de la réflexion, il apparaît assez clairement qu'une initiative concertée de valorisation de la biomasse résiduelle disponible dans la région pourrait devenir une voie complémentaire pour le développement d'une symbiose industrielle rayonnant autour de Port-Daniel-Gascons. Une approche de développement de filière locale est donc ici évoquée, proposant d'inscrire une telle approche de valorisation de la biomasse disponible dans le cadre global de l'approche ici proposée. Une telle filière complémentaire peut répondre aux besoins locaux en commodités et aux marchés émergents du secteur bio-industriel en plus de servir de levier pour faire émerger des initiatives visant la production à plus haute valeur ajoutée.

Il est entendu que la mise en place d'une filière industrielle – et à plus forte raison d'une filière industrielle à fort contenu d'innovation – est un projet de moyen et long terme. Aussi importe-t-il de rappeler que la mise en route des premières initiatives doit être envisagée au terme d'une réflexion stratégique rigoureuse. En ces matières, la clarté des intentions, la rigueur des démarches et la constance dans le maintien de la cohérence globale de la vision de long terme sont des conditions de réussite essentielles. Il faut donc considérer le présent rapport comme un premier effort exploratoire et non comme une feuille de route définitive. Du travail reste à faire aussi bien au sujet de l'élaboration de la vision que de la concertation des acteurs. L'occasion de développement est à saisir.

2. LES CONCEPTS DE BASE

La création d'une chaîne de valeur reposant sur la valorisation du CO₂ émis par la cimenterie McInnis peut se prêter particulièrement bien au déploiement d'une approche d'écologie industrielle. La disponibilité du CO₂ peut favoriser le développement d'une symbiose industrielle reposant sur la diversification des ressources et la création de débouchés susceptibles de favoriser l'arrivée ou l'émergence de plusieurs industries à Port Daniel-Gascons et dans la région. La filière de valorisation du CO₂, vue et conçue à moyen et long terme peut fournir non seulement des occasions d'affaires, mais encore et surtout des possibilités de renforcer la structure économique locale en mettant les acteurs industriels dans des rapports d'échange et de complémentarité. Le type de complémentarité recherché est généralement désigné par le concept de symbiose industrielle. L'originalité de l'approche ici proposée est d'inscrire cette recherche de complémentarité dans un espace de référence plus large que le territoire local où sont généralement inscrites les initiatives de symbiose industrielle. En effet, en intégrant une filière de valorisation de la biomasse en produits à forte valeur ajoutée ou en commodités industrielles telles que les biocombustibles, nous proposons une approche intégrée qui place la création de la symbiose industrielle au cœur d'une dynamique de développement régional.

2.1 La symbiose industrielle

La symbiose ou l'écologie industrielle peut être définie comme « l'écologie des sociétés industrielles, c'est-à-dire des activités humaines productrices et/ou consommatrices de biens et de services ». Dans une telle approche, la société industrielle est considérée comme un système défini par l'ensemble des transactions régissant les flux et stocks de matières premières, d'énergie et d'informations dans un ensemble économique et territorial clairement délimité.

Ce modèle combine deux dynamiques principales. La première concerne la recherche de réduction des consommations individuelles de chaque entité, avec par exemple la mise en œuvre de procédés moins gourmands en matières et en énergie. La seconde vise à organiser les complémentarités par formation de boucles des flux résiduels. Une telle approche vise à faire des déchets d'une entreprise la matière première d'une autre et à récupérer et distribuer les surplus d'énergie (vapeurs, gaz d'échappement, effluents liquides chauds), entre les entreprises d'un même ensemble pour remplacer les combustibles fossiles. Les consommations de matières et d'énergie sont ainsi maîtrisées.

L'originalité de l'approche proposée par l'écologie industrielle est de chercher à systématiser ces boucles de matières et d'énergie au sein d'un périmètre donné. Les solutions proposées, lorsqu'elles sont économiquement intéressantes, dépassent le cadre de l'entreprise.

Leurs effets sont concrètement mesurables à l'échelle du système : lorsqu'il est bouclé, son fonctionnement consomme moins de ressources fossiles et optimise l'utilisation des autres ressources requises pour la production. Chaque unité de croissance consomme donc moins de matières et d'énergie et les boucles ainsi constituées contribuent à façonner la structure de l'économie locale et régionale, lui conférant une plus grande densité et lui fournissant un plus grand potentiel de diversification.

2.2 De la captation à la valorisation du CO₂

Le captage du CO₂ est une technique connue qui existe déjà au niveau industriel. Elle permet de transformer le CO₂ en commodité et de fournir un approvisionnement stable et utile à divers acteurs industriels. Elle se fait en phase de post combustion et permet la valorisation d'un flux continu de CO₂. C'est le procédé le plus courant actuellement. La captation est considérée comme la solution la plus aboutie sur le plan industriel ; elle désigne l'ensemble des opérations d'extraction du CO₂ dilué dans les fumées produites par la combustion à l'air d'un combustible fossile ou de biomasse.

Cette ressource ainsi captée rendra possible la création des circuits de valorisation charpentant des filières spécifiques et qui pourront se développer grâce à leur proximité avec un grand émetteur. Valorisé avec la bonne technologie positionnée dans les bons créneaux de marché et abordée avec une vision claire des boucles industrielles à créer, le carbone capté peut devenir le point d'appui pour faire naître un nouveau type de symbiose industrielle. Elle pourra être l'élément central de la diversification d'un site industriel.

3. DES EXEMPLES INSPIRANTS D'ÉCOSYSTÈMES INDUSTRIELS

Pour pouvoir développer une proposition originale d'écosystème industriel, nous avons pu nous inspirer d'exemples marquants de symbiose industrielle, des exemples inscrits dans trois contextes différents au plan international, régional et local. On pourrait également les désigner comme le précurseur (Kalundborg), l'innovant (Sarnia) et le local (Varenes). Ces trois écosystèmes possèdent chacun des particularités liées à l'innovation et aux opportunités de marché. Une description complète en est faite dans l'annexe 1. Une brève présentation de chacun suffira ici à faire comprendre la logique de développement qui les porte.

- **Kalundborg**, ville danoise de 20 000 habitants qui fait office de référence en matière d'écologie industrielle, a été particulièrement observée durant les vingt dernières années. Son écosystème s'est construit graduellement à partir des années 1970, autour d'une poignée d'entreprises proches géographiquement et de la municipalité en cherchant des réponses à trois enjeux : optimiser l'utilisation de l'eau, économiser de l'énergie et réutiliser les déchets. Ces réponses ont d'abord été dictées par le pragmatisme. La dimension « écosystémique » de ces échanges ou « synergies » n'a été remarquée par les théoriciens du développement industriel qu'à partir de 1989, soit au bout d'une vingtaine d'années. Au début les partenaires s'intéressaient surtout aux aspects techniques, mais ils ont rapidement réalisé les avantages économiques à tirer de la coopération et d'un fonctionnement en réseau. Chaque coopération génère automatiquement d'autres idées pour de nouvelles coopérations. Avec le temps, ils ont échangé de manière plus structurée afin de trouver de nouveaux échanges. C'est ainsi que s'est progressivement élaboré un véritable modèle de développement.
- Le comté ontarien de **Sarnia-Lambton** est reconnu comme le centre canadien de l'industrie pétrochimique avec une vingtaine de grandes entreprises, parmi les « majors » de l'industrie (BP, DuPont, Exxon Mobil, Royal Dutch, Shell, Suncor). En 2003 le « Sarnia-Lambton Economic Partnership » est créé avec pour mission de faire la promotion d'une nouvelle vision de développement, visant à faire de Sarnia-Lambton le centre canadien des énergies propres et des bio-industries. Les acteurs veulent s'appuyer à la fois sur les forces locales – énergie et chimie – et sur les nouveaux secteurs en émergence. Quelques années plus tard, un nouvel organisme de promotion et un incubateur d'entreprise formeront les deux appuis institutionnels d'une démarche d'élaboration d'une véritable grappe industrielle. L'ambition est d'allier l'innovation et la commercialisation sur le territoire eu égard aux diverses avenues de développement de la chimie verte et des carburants alternatifs. Outre les efforts d'échanges d'extrants entre entreprises la grappe de Sarnia a mis en place une formule de garantie d'approvisionnement, mais – matière première de la chaîne - qui mobilise les producteurs de toute la région.

- Le déclin de l'industrie pétrochimique et la perte de plusieurs de ses industries majeures ont obligé la municipalité de **Varenes** à repenser la vocation de ses parcs industriels et à lancer l'initiative du Novoparc. Cet équipement représente au départ quelque 30 millions de pieds carrés de terrains industriels laissés vacants par la fermeture des usines pétrochimiques. Éthanol Greenfield est le premier acteur d'envergure à s'y installer et depuis 2007 produit 150 millions de litres d'éthanol par année à partir de 300 000 tonnes de maïs. Pour diversifier ses approvisionnements et respecter les choix du Québec de ne plus soutenir la production d'éthanol à partir de céréales faisant concurrence à l'alimentation, Éthanol Greenfield a choisi de sortir des biocarburants de première génération. Il s'allie à Enerkem pour former VANERCO qui construira et exploitera une usine d'éthanol cellulosique intégrée à l'actuelle usine d'éthanol de Greenfield, à Varenes. Un projet de production de biométhane d'origine municipale est aussi développé pour l'approvisionnement en gaz de la centrale d'éthanol.

Chaque exemple d'écosystème industriel possède ses propres caractéristiques et prend sa force dans sa capacité à transformer des passifs en actifs en les inscrivant dans une chaîne de valeur industrielle. Des éléments importants peuvent tout de même être retenus tels que l'importance de la coopération industrielle (Kalundborg), l'importance de l'innovation et de la commercialisation (Sarnia) et l'atout d'un approvisionnement captif et local en commodité industrielle (Varenes). Ces exemples de réussite peuvent servir d'inspiration pour une symbiose industrielle propre à Port-Daniel-Gascons et rendue possible par les émissions de CO₂ de la cimenterie McInnis. Ces trois exemples permettent de comprendre que la « disponibilité » d'une aussi grande quantité de carbone peut servir de point d'appui à une initiative industrielle structurante. Les émissions de carbone ne doivent plus être considérées comme un rejet, mais bien plutôt comme formant un véritable gisement de matière première.

4. LES BASES D'UN MODÈLE D'AFFAIRES

La mise en œuvre d'une symbiose industrielle nécessite la présence d'acteurs d'envergure pour produire des flux énergétiques et de matières en volume suffisant pour attirer de nouveaux acteurs. Au moins deux acteurs d'importance doivent pouvoir entretenir une activité viable pour favoriser l'amorce d'un processus de mise en relation circulaire et favoriser l'éclosion d'un climat et d'une logique industriels évolutifs. Il faut également que la valorisation des flux serve l'intérêt mutuel en permettant à chacun de tirer des bénéfices commerciaux de leur relation de coopération et de complémentarité. Cela nécessite donc la mise en œuvre d'une voie de communication entre les différents acteurs du territoire, une voie dont une instance prend la responsabilité. L'animation et la concertation peuvent prendre différentes formes, mais elles sont nécessaires. C'est par elles que s'instaure le climat industriel qui, à la longue, donne son caractère et sa force d'attraction à une zone de « symbiose industrielle » et la font percevoir par les entreprises sur place et celles que cette approche attire comme une zone d'opportunités propice au développement.

Les synergies que la formule permet et encourage peuvent être de plusieurs types. On peut néanmoins les regrouper en deux grandes catégories : les synergies dites de mutualisation et celles de substitution. Selon les cas, ces synergies contribuent de diverses manières à améliorer la performance des usines reliées, mais c'est en particulier parce qu'elles contribuent à simplifier et assurer des approvisionnements fiables qu'elles s'imposent d'abord. C'est d'ailleurs ce qui ressort et ce que nous apprend l'expérience de Sarnia-Lambton : les entreprises qui s'y regroupent trouvent un avantage concurrentiel à fonctionner dans une zone industrielle qui a un plan long terme de développement industriel reposant sur un approvisionnement fiable et à bon prix. Il en est de même avec la mise en œuvre de débouchés fiables. On peut résumer les éléments clés pour l'implantation d'une nouvelle industrie par :

1. L'investissement dans des technologies fiables, éprouvées et commercialisables.
2. L'identification des marchés les plus propices au développement.
3. Le développement de filières d'approvisionnement fiables.

Il est à noter que tous les exemples de développement de parcs industriels basés sur une synergie d'approvisionnement sont le résultat d'une démarche de long terme qui a permis la mise en œuvre d'un développement industriel fiable et résilient. Si la vision et la stratégie de mise en œuvre à long terme sont essentielles, les moyens d'opérationnalisation qu'elles permettent de déployer doivent d'abord répondre à des enjeux de développement à court terme.

Le cas de Kalundborg repose sur une grande diversité d'acteurs, allant de la grande entreprise énergétique productrice d'énergie à la petite entreprise valorisant la chaleur. Ce cas-là est essentiellement le fruit d'une collaboration entre tous les acteurs du territoire pour la valorisation économique de leurs actifs. C'est ce qu'on appelle une approche « Over the Fence » qui permet aux différents acteurs du territoire industriel de mettre en œuvre une approche collaborative. L'avantage de Port Daniel-Gascons et des MRC du Rocher-Percé et Bonaventure est de pouvoir envisager la mise en place d'une structure de coopération afin d'en faire le cadre d'accueil et d'intéressement des entreprises à recruter. À la condition, évidemment que Ciment McInnis trouve un avantage d'affaires à valoriser ses extrants (CO₂) et à sécuriser ses intrants (l'énergie).

Le cas de Varennes met en avant l'intérêt pour un acteur industriel de fiabiliser son approvisionnement en commodités nécessaires à des fins de procédés industriels à même des ressources produites localement, en particulier des effluents industriels et agricoles. Dans le cas de Port Daniel-Gascons, la possibilité d'en produire en abondance représente assurément une voie à privilégier pour attirer une diversité d'acteurs sur son territoire. À la condition d'être valorisé, le CO₂ produit en abondance par la cimenterie peut devenir un atout pour approvisionner de futurs acteurs industriels.

5. UNE SYMBIOSE INDUSTRIELLE POUR PORT-DANIEL-GASCONS

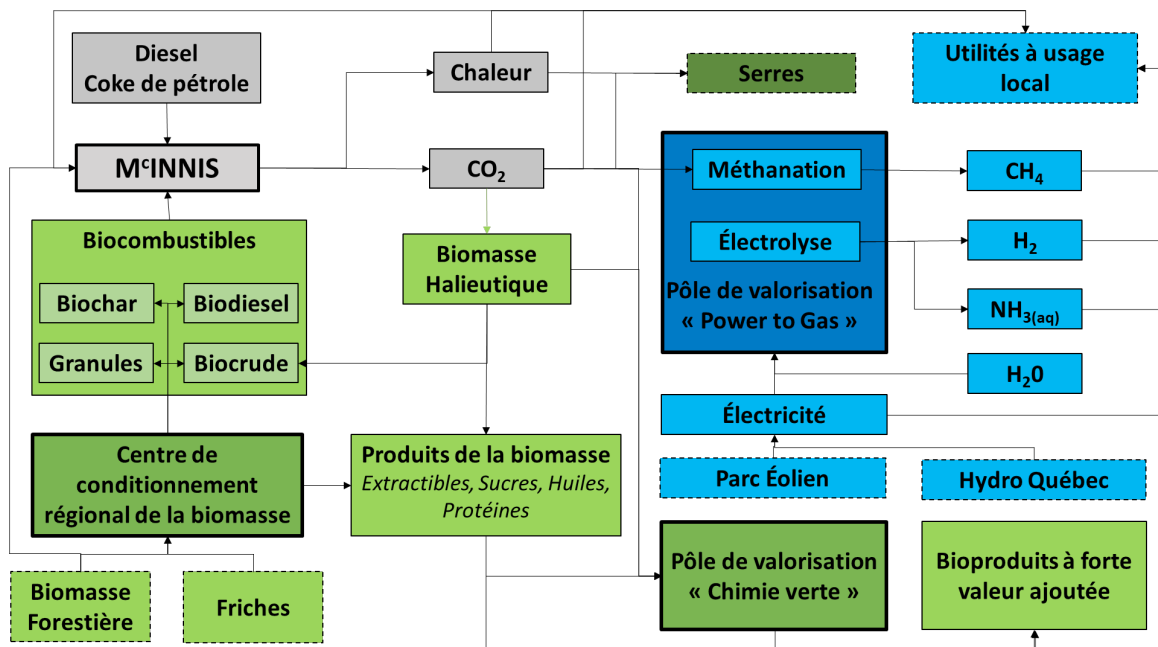
5.1 Une approche intégrée

Ces différents exemples d'écologie industrielle laissent bien voir sur quoi peut reposer la création d'un parc industriel et d'une stratégie de développement local dans un cas comme celui de Port Daniel-Gascons. La valorisation du CO₂ peut permettre deux voies de développement :

1. La première vise **la production de commodités** capables de répondre à une demande pour les industries se déployant localement ou remplaçant les combustibles dérivés du pétrole par la production de biocombustibles;
2. La seconde s'oriente vers le **développement de débouchés à forte valeur ajoutée** tels que des bioproduits de spécialité issus du CO₂ ou de la biomasse.

On peut ainsi identifier deux avenues distinctes : celle de la construction d'une filière de commodités industrielles ou utilités, à usage local et celle d'une filière de bioproduits à forte valeur ajoutée reposant sur les ressources en biomasse du territoire, définie sur des productions de spécialité.

Schéma 1. Une symbiose industrielle à Port-Daniel-Gascons



5.2 L'approvisionnement en biomasse

Les débats entourant la création d'une filière de valorisation de la biomasse sont généralement dominés par des préoccupations touchant des enjeux d'approvisionnement, enjeux abordés sous l'angle du prix de revient ou encore des contraintes logistiques d'acheminement de la matière. Ces questions sont certes très importantes, mais elles ne peuvent trouver de réponses utiles au développement que si elles sont traitées en lien avec des approches industrielles et de marché permettant de satisfaire aux marchés matures et émergents avec des produits adaptés s'inscrivant dans une gamme diversifiée d'usages et de créneaux. Pour pouvoir fiabiliser une filière locale, il importe, en effet, d'aborder et traiter les questions d'approvisionnement et de logistique dans une perspective centrée sur la polyvalence et la diversité plutôt que sur l'usage monoindustriel. En considérant un modèle construit sur la logique des boucles de symbiose, la construction d'une filière locale peut servir de levier pour établir une logistique d'acheminement et de traitement de la matière qui ne soit pas captive d'un seul marché ou d'un seul cycle de production.

Ainsi envisagées les questions de l'approvisionnement et de la valorisation font apparaître la nécessité d'aborder la biomasse forestière non pas seulement comme un intrant brut, mais bien comme un matériau à traiter et considérer en fonction de différents choix de valorisation. Quels que soient la taille et le type de filière biosourcée à développer, il faut dès lors envisager l'étape et l'équipement de conditionnement de la matière brute comme un préalable aux voies de valorisation. On doit donc considérer la création d'un ou plusieurs centres de conditionnement comme un équipement stratégique de base pour servir un vaste éventail de choix de valorisation des ressources du territoire. Dans le cas de Port-Daniel-Gascons, les caractéristiques du territoire font apparaître deux avenues pour approvisionner ce centre.

5.2.1 Le rôle clé du centre de conditionnement de la biomasse.

Ce centre de conditionnement de la biomasse aurait pour objectif et pour rôle de mutualiser les ressources technologiques afin d'être en mesure de répondre localement à une plus grande variété de débouchés en visant les produits à plus forte valeur ajoutée. Le centre peut ainsi devenir le levier de développement qui fera passer progressivement la matière première d'un premier niveau de valorisation à un autre au fur et à mesure que des fonctions de coordination permettront une meilleure connaissance des marchés et, surtout, une meilleure capacité de configurer les besoins en agissant sur la recherche des meilleures formes de collaboration susceptibles de les inscrire dans les boucles industrielles. La finalité d'un tel outil est de viser les marchés les plus matures en proposant une meilleure valorisation de la matière. La mise en place d'un tel équipement servira à jeter les bases d'un paradigme forestier mobilisant les industriels déjà présents sur le territoire et d'autres qui seront invités à s'y établir. Ces nouveaux circuits de valorisation de la matière ne seront pas seulement centrés sur les vocations traditionnelles sur lesquelles l'industrie régionale s'est

déployée, mais également et toujours davantage sur des activités de production des molécules à plus forte valeur ajoutée (extractibles, cellulose, hémicellulose, lignine) puis vers des biocombustibles issus de la biomasse forestière résiduelle ou de résidus de transformation.

La conception et la mise en opération d'un tel centre de conditionnement font d'ores et déjà ressortir la nécessité de faire naître une instance de coordination qui prendra en charge l'ensemble des questions relatives à l'apparition d'un maillon dont le rôle ne correspond pas à la mission de base d'aucun des acteurs en présence. En effet, si les produits sont connus des industries forestières et papetières ce sont leurs débouchés dans le cadre d'un développement bioindustriel qui sont moins évidents.

Pour le secteur forestier, ce centre de conditionnement peut remplir un rôle analogue à celui d'une papetière dans le paradigme actuellement en déclin. Il peut devenir l'acteur vers qui sera dirigé l'essentiel de la ressource résiduelle, un acteur qui agira au confluent des besoins des uns et des autres et qui définira des modalités nouvelles de complémentarités. Ces complémentarités ne se définiront pas seulement en lien avec les besoins de la cimenterie, mais bien également en lien avec les occasions que laissera apparaître un tel équipement susceptible de servir non seulement l'approvisionnement en énergie de McInnis via l'avenue des biocombustibles, mais aussi une chaîne de valeur bioindustrielle dite de « chimie verte ». En effet, la position stratégique d'un tel centre de conditionnement dans la logistique de circulation de la biomasse forestière ainsi que sa capacité à réunir des volumes dépassant les seuls besoins de la cimenterie laissent entrevoir la possibilité de réduire considérablement les coûts de démarrage et d'exploitation d'entreprises visant des débouchés bioindustriels. À court terme la création d'un tel centre de conditionnement peut devenir un moyen de solutionner la crise du surplus de copeaux et de pallier la faiblesse des débouchés pour cette matière.

5.2.2 Approvisionnement forestier

Comme le démontre l'étude de préféabilité « Approvisionnement en biomasse forestière. Ciment McInnis – Port-Daniel-Gascons », le potentiel en biomasse permettant de soutenir la demande actuelle et de répondre au développement de nouveaux marchés est présent sur le territoire forestier. Dans le cadre de cette étude¹, il a été prouvé que les chaînes logistiques d'approvisionnement proposées amènent toutes des résultats immédiats, à court terme, pour la réduction des émissions de GES. Ces différentes propositions proposent des biomasses déclassées inutilisées ou mal valorisées. Elle propose donc une stratégie d'approvisionnement préliminaire capable de :

- « Répondre aux exigences particulières de McInnis;

1. Résumé de l'étude de préféabilité – « Approvisionnement en biomasse forestière. Ciment McInnis – Port-Daniel-Gascons »

- Assurer un approvisionnement fiable en quantité et en qualité, et ce, à un prix compétitif (paramètres de la stratégie d'approvisionnement) et ;
- Permettre de concilier les différentes contraintes inhérentes à la mobilisation des multiples sources d'approvisionnement identifiées précédemment (stratégie de transport) ».

La construction de la filière biocombustibles nécessitera, entre autres, une stratégie de collaboration entre la cimenterie et d'éventuels fournisseurs capables de satisfaire ses besoins en énergie par une biomasse dont ils sont capables d'assurer un approvisionnement fiable à coûts compétitifs. Étant donné l'ampleur des volumes en cause et considérant les critères et standards de qualité à respecter pour répondre adéquatement aux besoins en énergie à partir de la biomasse comme combustible de substitution, il faut considérer une configuration du système forestier d'approvisionnement qui soit en phase avec ce nouveau rôle industriel. Il n'est pas possible d'avoir recours à la biomasse dans une telle éventualité sans repenser la place des acteurs dans le système forestier actuel. Les résidus forestiers doivent être traités de manière à les rendre compatibles comme intrants. C'est dire qu'une autre fonction apparaît alors dans le circuit de disposition des résidus forestiers, celle du conditionnement de la matière pour la valoriser. Cette fonction ne peut être remplie qu'au sein du centre de conditionnement régional nouvellement créé.

5.2.3 Les terres en friche

En complément d'une stratégie d'approvisionnement en biomasse forestière, il existe l'opportunité de mettre en œuvre des cultures énergétiques. Pour y parvenir, on fait ici référence au potentiel des terres en friches. Qu'elles soient à vocation forestière ou agricole, elles peuvent présenter un intérêt pour le développement d'entreprises visant des marchés bioindustriels. Ce potentiel peut devenir un atout dans le cadre du déploiement d'une chaîne logistique d'approvisionnement pour un nouvel entrant dans la symbiose industrielle.

5.2.4 Approvisionnement halieutique

L'approvisionnement halieutique peut se réaliser de plusieurs façons :

- La valorisation du CO₂ telle que proposée dans la partie 5.5 de ce document
- La valorisation d'effluents industriels tels que ceux de la cimenterie McInnis ou d'autres protagonistes du territoire des MRC concernées. Typiquement une usine de traitement des eaux usées est une source stable en matière carbonée.

- La valorisation de macroalgues pouvant être cultivées en haute mer ou in situ. Cette avenue pourrait être explorée en profitant du contexte géographique et innovateur avec des acteurs institutionnels innovants présents sur le territoire.

5.3 La valorisation de la biomasse

5.3.1 Les extractibles

Ce sont des molécules qui se trouvent à l'extérieur des parois cellulaires du bois. Les propriétés et les usages potentiels de ces extractibles peuvent varier selon les espèces et suivant les différents stress que les essences de bois subissent dans l'environnement. Sont visées, essentiellement, des molécules telles que les polyphénols que l'on peut retrouver sous forme de tannins notamment. Les recherches sur le sujet sont en plein développement et la facilité d'extraction de ces molécules, comparativement aux autres composants de la matière lignocellulosique, en fait une avenue à fort potentiel pour la filière de valorisation de la biomasse. Le Québec dispose en ces domaines d'une expertise scientifique de pointe qui pourrait être mobilisée dans une stratégie de transfert technologique qu'une instance de développement comme celle du futur « Pôle en Technologies Propres » pourrait opérationnaliser.

5.3.2 Les sucres

La grande famille des sucres cellulosiques se décompose en deux grandes catégories, la cellulose et l'hémicellulose :

- **La cellulose** est le composé le plus connu et le plus recherché. Si dans l'histoire du Québec elle a été valorisée par l'industrie des pâtes et papiers, celle-ci peut devenir un produit valorisable en molécules à valeur ajoutée telles que les molécules plateformes², intrants recherchés dans plusieurs industries chimiques, et l'éthanol cellulosique, commodité qui devrait être appelée à jouer un rôle important dans le cadre d'une transition énergétique de l'économie ;
- **L'hémicellulose** est un produit beaucoup plus complexe et d'une grande diversité structurale, ce qui pose des défis majeurs pour espérer à court terme le valoriser à l'échelle industrielle. Néanmoins, il existe actuellement des débouchés à plus ou moins forte valeur ajoutée : l'alimentation animale, la valorisation énergétique ou certaines applications de produits biosourcés. Les débouchés à valeur ajoutée les plus connus sont le furfural, le butanol ou le xylane.

2. Molécules à partir desquelles il est possible de produire d'autres molécules plus complexes, au moyen de techniques de transformation

5.3.3 Les huiles

Dans la grande famille des huiles, on peut identifier ce que l'on peut appeler le « bio-crude » qui peut être tiré de la filière des huiles pyrolytiques issues de la matière ligneuse ou de la valorisation de la partie lipidique des algues pour former ce que l'on appelle le « bio-crude algale ». Ce produit peut être valorisable par des usages l'associant à des produits issus du raffinage classique comme le biodiésel, le kérosène ou le carburéacteur.

5.3.4 Les protéines

Ici, on se concentrera essentiellement sur les protéines extraites des algues. En effet, les microalgues peuvent concentrer une grande quantité de protéines valorisables par les industries alimentaires, nutraceutiques, cosmétiques ou pharmaceutiques. Dans la chaîne de valorisation halieutique, il est important d'évaluer tous les types de débouchés capables de soutenir la filière. À cet égard, le potentiel de recherche de la région est considérable et des synergies porteuses sont envisageables.

5.3.5 La lignine

C'est un des polymères les plus complexes de la matière lignocellulosique. Il est encore assez faiblement valorisé sinon qu'à titre de biocombustible. La lignine est composée de nombreuses molécules aromatiques qui peuvent avoir un intérêt pour l'industrie chimique ou pharmaceutique. Abondante notamment dans la liqueur noire, la lignine est surtout connue pour ses propriétés adhésives et tensio-actives qui en font une ressource d'intérêt pour les industries développant de nouveaux bioproduits.

5.4 La captation du CO₂

Le captage du CO₂ est une technique connue qui existe déjà au niveau industriel. À titre d'exemple, le gaz naturel, au moment de son extraction, est traité pour en retirer le CO₂ naturellement présent. La technologie existe, mais son application à des sources industrielles n'est cependant pas encore développée à grande échelle. À l'heure actuelle, la captation du CO₂ peut tout de même être réalisée de plusieurs façons.

L'unité de captage peut être, a priori, ajoutée aux installations existantes, ce qui en fait une filière intéressante, car elle peut être réalisée par plusieurs types d'industries.

Un certain nombre de techniques de séparation matures et déjà utilisées dans l'industrie peuvent être envisagées pour la captation du CO₂ dans des fumées de postcombustion :

- Absorption par solvants chimiques ou physiques;
- Adsorption sur solides ;
- Séparation membranaire ;
- Catalyse enzymatique ;
- Cryogénie.

La technologie de l'entreprise québécoise CO₂ solutions repose sur une technologie de catalyse enzymatique qui permet une purification du flux de CO₂ indispensable à la valorisation dans des applications industrielles. Cette technologie de valorisation biochimique de la matière permet aussi d'attirer un acteur de la chimie verte qui possède déjà des relations d'affaires avec des acteurs de l'industrie halieutique³. À première vue cette technologie semble favorable à la création de synergies dans un secteur économique qui caractérise déjà la région gaspésienne.

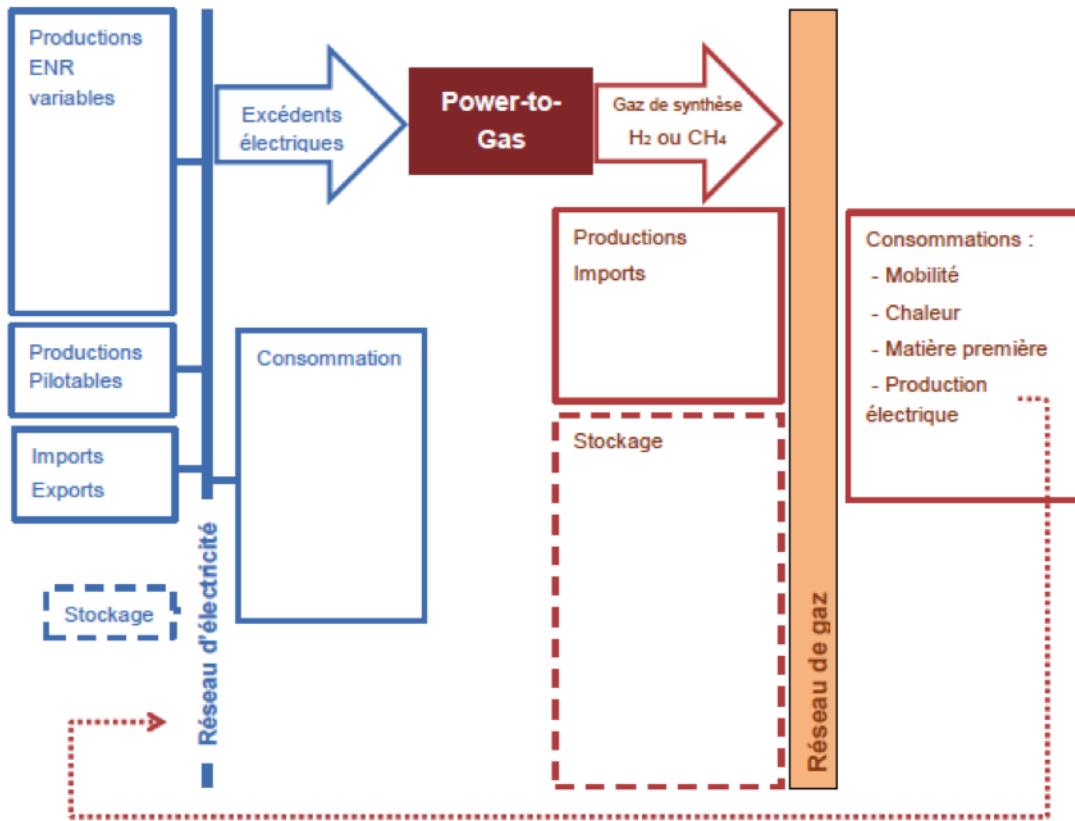
5.5 La valorisation du CO₂

5.5.1 « Power to Gas »

La technologie du Power-to-Gas (PtG) « permet la conversion d'énergie électrique en énergie chimique sous forme de gaz hydrogène (H₂), par décomposition de molécules d'eau (H₂O) ». Cet hydrogène est le principal débouché et permet de remplacer une partie du gaz consommé, soit sous sa forme H₂, soit après méthanation sous forme de méthane (CH₄) en combinant l'hydrogène à du CO₂. L'électrolyse est le procédé central, il permet d'extraire l'hydrogène contenu dans l'eau en le séparant de l'oxygène à l'aide d'un courant électrique. Si nécessaire, la réaction de méthanation constitue une étape supplémentaire qui permet de combiner l'hydrogène avec des atomes de carbone pour former du méthane de synthèse (CH₄), 100% miscible avec le gaz naturel (cf. Annexe 2).

3. Voir [<http://co2solutions.com/uploads/file/4a6f641aaa306713eae6d655b002b96d875a5738.pdf>].

Schéma 2. Schéma de principe du « Power to Gas »



5.5.2 Les débouchés pour l'hydrogène

À l'heure actuelle, l'hydrogène est surtout utilisé dans les procédés industriels, mais offre un potentiel prometteur concernant les piles à combustible. La maturité de ces dernières est néanmoins encore lointaine (2030 et au-delà). Les modèles de véhicules actuellement commercialisés sont encore excessivement dispendieux et l'infrastructure pour alimenter les véhicules serait complexe et coûteuse à implanter. D'un point de vue énergétique, le débouché le plus pertinent à court terme semble être l'injection d'hydrogène à hauteur de 2 % à 20 % dans le réseau gazier ou dans les dispositifs d'approvisionnement utilisés localement pour certains des procédés industriels. Même si l'objectif de cette présente étude est de proposer des voies de valorisation du CO₂, il semble opportun de considérer l'hydrogène comme un produit essentiel pour la diversification des revenus et la rentabilité du procédé d'électrolyse.

5.5.3 Les débouchés pour le méthane

La production de méthane par méthanation consiste à utiliser des molécules d'hydrogène produites par électrolyse pour produire du méthane propre à être injecté directement dans un réseau. Cette option permet de valoriser le CO₂ produit en excès par la cimenterie et de produire un intrant recherché dans les procédés industriels.

L'hydrogène et le méthane produits peuvent être valorisés de plusieurs manières : par un industriel pour ses propres besoins, par une station-service, pour être injecté directement dans le réseau ou encore pour être localement stocké pour être reconverti ultérieurement. Dans le cas de Port Daniel-Gascons, les débouchés pourraient être locaux pour attirer des acteurs qui visent un approvisionnement stable en commodités industrielles telles que le méthane.

5.5.4 Conditions de marché

Les conditions de marché dressent cependant un obstacle important : le prix de la molécule. En effet, selon une étude conduite par l'ADEME⁴, les coûts à horizon 2030 seraient encore deux fois supérieurs à ceux du gaz naturel fossile. Néanmoins, la particularité de cette étude tient dans son axe de développement privilégié qui est l'injection dans le réseau gazier et l'usage de piles à combustible. Si ces deux pistes privilégiées semblent prometteuses à long terme pour toute industrie ayant développé une expertise sur cette filière elle ne semble pas être la voie la plus adaptée à court et moyen terme notamment sur un site industriel non connecté au réseau. Elle ouvre tout de même des opportunités de rentabilisation pour un territoire industriel tel que celui de Port Daniel-Gascons. Une combinaison d'opportunité pourrait permettre de mettre en œuvre une telle filière dans des conditions plus propices à son développement :

1. Un prix du kWh en dehors des périodes de pointe ultra-compétitif au Québec.
2. Un marché captif, comme la consommation par un industriel sur le territoire de Port-Daniel-Gascons des produits du PtoG (Power To Gas), permettrait l'abaissement des coûts. L'exemple éloquent du surcoût du raccordement au réseau de l'usine de biométhanisation de Saint Hyacinthe⁵ (11,6 M\$ sur un investissement total de 59 M\$) permet déjà d'identifier une réduction des risques financiers.
3. L'utilisation des crédits carbone et leur intégration dans le prix de vente du méthane.
4. Les programmes de financement et de subventions pour des approches innovantes concernant les productions d'énergies alternatives et de réduction de l'empreinte carbone des activités industrielles. Le fonds des technologies du développement

4. Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie en France.

5. Voir [http://publicsde.regie-energie.qc.ca/projets/90/DocPrj/R-3824-2012-A-0018-DEC-DEC-2013_03_21.pdf].

durable du Canada (TDDC) en est un bon exemple. Ainsi, à Port-Cartier, le projet de Bioénergie AE Côte-Nord Canada implique Ensyn et Arbec avec pour objectif de produire 40 millions de litres de biohuiles et une réduction de 7 000 tonnes de CO₂. Le projet est financé en partie par le fonds fédéral « TDDC » (27 millions) et par le programme « Investissements dans la transformation de l'industrie forestière » (ITIF, 17,5 millions) tandis que le gouvernement du Québec participe à hauteur de 32 millions, avec notamment un prêt d'Investissement Québec à hauteur de 10 millions. Une dernière annonce de la BDC évoque un financement additionnel de 10 millions de dollars par celle-ci.⁶

5. L'utilisation des fonds québécois voués à la lutte contre les changements climatiques tels que le Fonds vert ou la toute nouvelle agence Transition Énergétique Québec créée dans le cadre de la récente politique énergétique.
6. La valorisation des débouchés de l'hydrogène complémentaire au méthane comme commodité industrielle locale.

5.5.5 Les énergies renouvelables

La région dispose déjà d'une capacité éolienne dont elle n'a pas fini de tirer tout le parti. L'une des avenues qui mériteraient d'être explorées est celle de l'électrolyse pour la production d'hydrogène.

En outre, la récente annonce d'un changement de vocation du technocentre éolien qui, sous le nouveau nom Nergica, a choisi de se tourner davantage vers le stockage d'énergie et l'énergie solaire⁷ pourrait ouvrir des avenues intéressantes, notamment du côté de la création de districts énergétiques locaux centrés sur l'exploitation des énergies renouvelables. On peut y voir une occasion pour la future grappe technologique de Port Daniel-Gascons d'explorer l'introduction des énergies renouvelables et de nouvelles approches de stockage énergétique dans le cadre d'un district énergétique indépendant du réseau électrique intégré.

5.5.6 Algues

Dans le but de mettre en œuvre la valorisation du CO₂, la production de microalgues est une alternative mise de l'avant, notamment, par les derniers rapports sur l'avancement des technologies halieutiques. La production d'algues peut se faire par voie industrielle. Les voies les plus prometteuses de développement de la filière se concentrent sur la valorisation

6. Voir [<https://www.newswire.ca/fr/news-releases/bdc-investira-40-millions-de-dollars-pour-soutenir-quatre-entreprises-canadiennes-de-technologies-propres-de-premier-plan-680523111.html>].

7. Voir [<https://www.ledevoir.com/economie/525581/un-joueur-cle-de-la-filiere-eolienne-se-tourne-vers-le-solaire>].

des eaux usées et la culture de macroalgues en régions côtières⁸. La piste à privilégier est la voie des photobioréacteurs ou des marais quand l'espace est disponible. Une des conditions essentielles de réalisation est un apport constant en carbone (CO₂ ou matière organique résiduelle), qui permet de fiabiliser la production par photosynthèse d'algues d'intérêt. L'important demeure le type de débouchés à privilégier, les technologies halieutiques peuvent produire une quantité plus ou moins considérable de bioproduits.

Les deux principaux défis rencontrés par les industriels pour la mise en œuvre d'unités commerciales de production d'algues sont les grandes demandes en eau et en nutriments. Les enjeux techniques reposent donc sur approvisionnement fiabilisé en eau, sur l'optimisation de traitement des eaux usées au sein du procédé industriel et l'approvisionnement en CO₂. Il peut ainsi exister des types de production combinant des ressources en eaux usées et en photobioréacteurs pour optimiser les rendements de production.

Dans le cas de Port-Daniel-Gascons, les technologies à privilégier sont celles utilisant l'injection de CO₂ dans leur procédé. En parallèle, les types de débouchés et marchés identifiés conditionneront les pistes de développement.

5.5.7 Serres

Actuellement, la technologie de captation du CO₂ de l'entreprise CO₂ solutions est déjà en phase d'implantation par les serres Toundra à Saint-Félicien qui profitent des effluents en gaz carbonique de la papetière adjacente. C'est une première technologique qui démarrera en 2018 et qui aura pour effet de réduire les émissions de la papetière et d'augmenter la performance de la serre.

Pour Port Daniel-Gascons, cette alternative peut devenir un complément court terme pour fiabiliser le débouché du CO₂ industriel et diversifier par la même occasion les débouchés.

5.5.8 Électrolyse du CO₂

Avec un flux stable de CO₂ des technologies d'électrolyse du CO₂ peuvent être envisagées pour la production de carbonates et hydrocarbonates valorisables dans de nombreuses filières industrielles. Le CO est vu, au même titre que le CH₄ ou le CHOH comme un fondement de filières industrielles originales. Ces filières d'avenir pourront être explorées pour permettre la diversification des produits du CO₂.

8. Voir [<http://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2017/02/IEA-Bioenergy-Algae-report-update-Final-template-20170131.pdf>].

5.6 Débouchés à court terme

5.6.1 Les débouchés de la biomasse

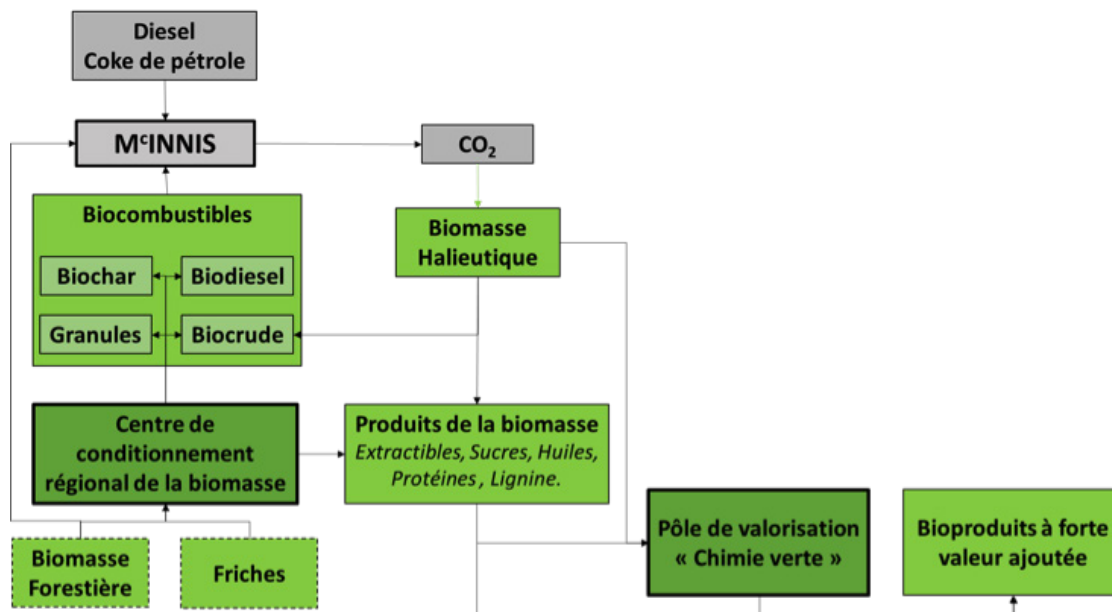
À court terme, les débouchés de la biomasse forestière se concentrent essentiellement sur les technologies éprouvées d'approvisionnement de la biomasse résiduelle. Le modèle d'intégration de chaîne d'approvisionnement et de la mise en œuvre de centres de conditionnement permet notamment aux fournisseurs de copeaux ou granules de répondre aux besoins en chaleur de leur clientèle locale.

La filière biocombustibles, à développer, pourrait, elle, proposer d'autres débouchés sur des marchés différents et complémentaires pour des produits en phase de développement et arrivant bientôt à maturité. On pense ici au biochar, biodiesel ou huile pyrolytique. Certains procédés de gazéification ou d'électrolyse peuvent aussi permettre de viser des marchés de commodités tels que le gaz naturel renouvelable (GNR), nouveau marché en développement au Québec.

À moyen terme, il sera important de capitaliser sur les molécules présentes dans la biomasse et qui pourraient servir à créer des produits à forte valeur ajoutée capables de rentabiliser un équipement et une chaîne logistique tout en permettant d'attirer des acteurs innovants dans le secteur de la chimie verte.

Sur ce sujet, le développement d'un centre de conditionnement est un élément clé pour mettre en valeur au maximum les produits présents dans la biomasse produite dans la région.

Schéma 3. La voie de valorisation de la biomasse



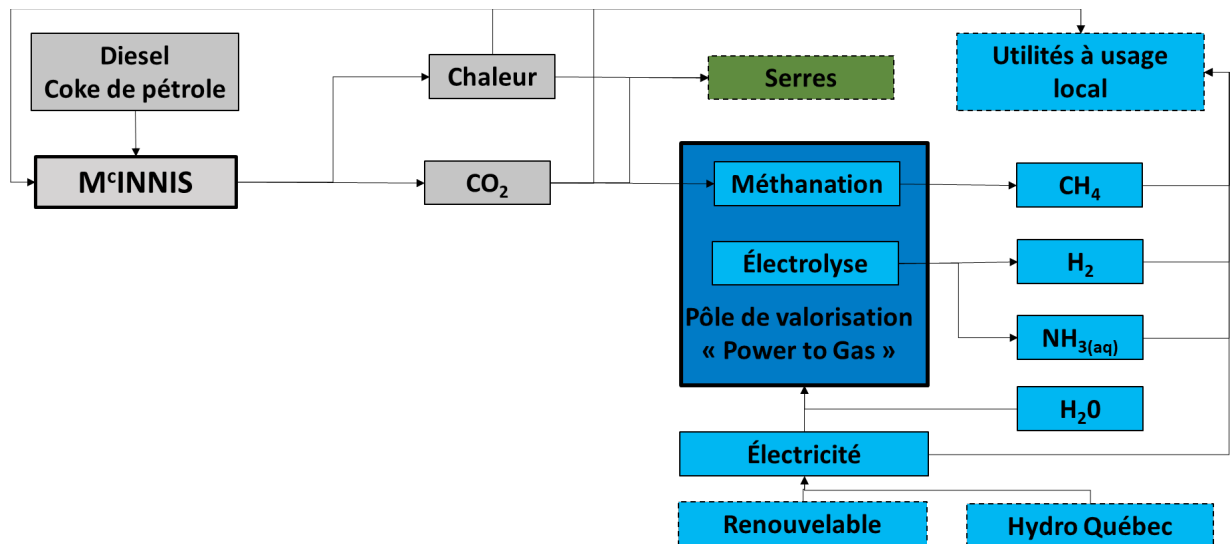
5.6.2 Les débouchés du CO₂

La valorisation du CO₂ permettra de faciliter le développement des conditions d'implantation d'entreprises sur le site industriel. L'approvisionnement fiabilisé en méthane via l'hydrogène en complément des réseaux de chaleur et du réseau électrique est un atout indéniable pour le développement d'un projet industriel à Port Daniel-Gascons. Un environnement d'affaires propice à la venue de nouveaux entrants se fait dans un contexte de fiabilisation de l'approvisionnement. Pour y parvenir, la voie du « Power To Gas » (électrolyse et méthanation) est une réelle opportunité pour la production de commodités à usage local.

De manière complémentaire, la voie de la production d'algues est une voie à privilégier dans le cas où une filière de « chimie verte » se met en œuvre. En effet, suivant les débouchés privilégiés en bioproduits, ce sera la valorisation des algues qui permettra de cibler de nouveaux marchés notamment dans le secteur pharmaceutique, cosmétique, nutraceutique et agricole.

Pour ces deux filières, il est essentiel d'attirer un acteur industriel capable de capter le CO₂ et en faire une ressource de base pour la zone industrielle. Pour attirer des acteurs de la valorisation du CO₂, que cela soit dans le cadre du « Power To Gas » ou du développement de l'industrie des algues, le développement d'un approvisionnement fiable en CO₂ est la clé de cette nouvelle symbiose industrielle. Elles pourraient aussi permettre de développer des filières opérationnelles à court terme (serres) ou à long terme (électrolyse du CO₂).

Schéma 4. La voie de valorisation du CO₂



5.7 Séquence de mise en œuvre

L'étape clé de toute la stratégie de développement est la captation de CO₂. De manière à créer les conditions idoines pour attirer des industries innovantes dans la valorisation du CO₂, il s'agit donc d'attirer l'acteur de la captation de CO₂.

La maturité des technologies de valorisation (algues, méthanation, serres et électrolyse du CO₂) et l'abondance de CO₂ disponible industriellement laissent penser qu'il est réaliste d'ambitionner pouvoir attirer une grande variété d'acteurs aux débouchés complémentaires pour le futur territoire éco-industriel. Cette approche par le développement d'unités commerciales ou de démonstration permet aussi d'accompagner la commercialisation des produits des nouveaux acteurs et ainsi d'avoir le temps de développer les voies de mise en marché.

La finalité sera donc de pouvoir valoriser une grande variété de débouchés localement, régionalement ou internationalement. Cela permettra de pouvoir attirer des acteurs intéressés à s'inscrire dans l'un ou l'autre des grands volets des fonctions industrielles : celui de l'innovation, de la commercialisation ou encore de la logistique d'approvisionnement du territoire.

La mise en œuvre de cette stratégie pourra se réaliser par des outils de financement de l'innovation (taxe carbone + subventions + accompagnement) et de la commercialisation. Pour atténuer les coûts d'immobilisation, le développement d'un écosystème industriel est déterminant.

6. LES PARAMÈTRES D'UN MODÈLE D'OPÉRATIONNALISATION

6.1 Une structure d'excellence

6.1.1 Une cellule de développement

6.1.1.1 Développement économique régional

Il faut miser sur l'installation à court terme d'un acteur permettant la captation du carbone et ainsi permettre le développement des filières « Power to Gas » et de valorisation de la biomasse.

L'entreprise québécoise CO₂ solutions est déjà bien avancée dans la phase de commercialisation de sa technologie et serait la plus à même de répondre aux défis d'une récupération du carbone en post combustion. Sa technologie reposant sur une valorisation biochimique permettrait en parallèle d'ancrer sur le territoire une première entreprise issue du milieu de la chimie verte.

Le développement d'un centre de conditionnement est un élément incontournable de la filière biomasse dans la région. Ce centre doit tout d'abord être un lieu de mutualisation des ressources technologiques capable de toucher une grande variété de débouchés. Pour pouvoir viser les produits à plus forte valeur ajoutée et fiabiliser les filières de valorisation, il doit aussi devenir une instance de coordination capable de développer de nouveaux marchés bénéfiques pour les acteurs du territoire.

6.1.1.2 Symbiose industrielle

Comme le montrent les exemples de Sarnia ou Kalundborg, la concertation joue un rôle clé pour créer un climat d'affaires propice au développement économique et industriel du territoire. Il est important de créer un lieu tel qu'une table de concertation qui pourrait permettre de créer des synergies d'économie d'énergie et de circularisation des flux économiques et des flux de matière.

6.1.1.3 Le financement carbone

De manière à financer des projets visant la réduction des émissions de GES, la cellule responsable du développement de la grappe pourra utiliser les évitements d'émission de

CO₂ aussi bien que la valorisation du CO₂ déjà émis pour remplacer des produits avec des énergies fossiles.

Dans le premier cas, il sera important de connaître les allocations gratuites octroyées à la cimenterie par le gouvernement. En parallèle il faudra évaluer les besoins en crédit carbone en fonction de la production de la cimenterie. Cela permettra d'évaluer le potentiel réel de l'utilisation du SPEDE pour financer des projets liés à la cimenterie.

Le deuxième cas, est l'utilisation de crédits compensatoires pour les projets qui évitent et séquestrent le CO₂ émis. Dans le cadre du SPEDE chaque province peut se doter de mécanismes de crédits compensatoires qui couvrent certains types de projets. Il faudrait donc évaluer la capacité de tels projets de se conformer à ces mécanismes.

6.1.1.4 Des infrastructures régionales

Avec l'objectif de profiter du développement d'une grappe de technologies propres, les infrastructures existantes devront être mises à contribution afin de soutenir l'approvisionnement en matière première et faciliter l'accès aux marchés. Si l'éloignement des principaux centres industriels est un enjeu, les infrastructures du territoire permettent toutefois d'entrevoir une bonne capacité de répondre aux besoins en utilisant et bonifiant le réseau ferroviaire ou maritime.

Les installations ferroviaires actuelles ne permettant pas de pouvoir développer une réelle logistique de fournitures de produits pour les grands centres industriels. La possibilité de rendre viable l'activité ferroviaire au sein des deux MRC concernées par le nouveau pôle industriel est un élément important pour le développement d'une symbiose industrielle à l'échelle de la région, mais aussi pour faciliter son rayonnement. L'interface rail/port à Chandler en devient un élément très important.

Au niveau maritime, le principal atout réside dans la présence du quai de Chandler dans la MRC du Rocher-Percé. Une étude préparée pour le comité de maximisation des retombées économiques de Port-Daniel-Gascons identifie comme marginal l'apport du port de Chandler à la croissance des industries déjà en place, mais inconnu pour d'éventuelles nouvelles venues. Son potentiel pour le développement local reste pour le moment centré sur le tourisme comme avenue de développement. Néanmoins, il semble qu'une concertation avec les acteurs logistiques de la région et de la cimenterie McInnis pourrait être une option à identifier pour intégrer les opportunités de transit.

En intégrant les infrastructures portuaires, ferroviaires et routières à un écosystème industriel de pointe capable de valoriser des matières premières en accord avec les principes de réduction de GES, il est permis de viser la mise en valeur du quai de Chandler. L'ambition des acteurs du territoire de devenir des acteurs innovants peut être un atout pour

inscrire le port de Chandler comme un pivot important d'une économie rayonnant sur le golfe du Saint-Laurent.

6.1.2 Une cellule d'innovation et de commercialisation

Les deux filières du « Power to Gas » et de production d'algues ne sont pas encore au stade de maturité, mais de la démonstration, des études de préfaisabilité devront être effectuées afin de pouvoir mieux appréhender leur intégration dans un contexte industriel et territorial. Ainsi, ces deux filières auraient tout à gagner à profiter des avantages concurrentiels gaspésiens.

6.1.2.1 Secteur Bioindustriel

Le principal enjeu de développement d'applications liées à la chimie verte est le développement des marchés porteurs. Il faut également miser sur l'organisation et le développement d'un potentiel de recherche qui permet de répondre à de tels projets. Un territoire industriel en développement peut réunir des conditions propices à l'implantation d'entreprises innovantes. Particulièrement lorsqu'il s'agit de développement régional, la disponibilité de fonds d'aide et d'accompagnement peut s'avérer un atout déterminant pour réunir ces conditions.

6.1.2.2 Secteur « Power to Gas »

Le principal avantage du « Power to Gas » est de mettre en valeur les sources énergétiques variables et non continues. Des parcs éoliens ou hydroliens qui s'installeraient sur le territoire seraient ainsi capables d'approvisionner cette filière et en faire une source fiable d'approvisionnement énergétique. Ce serait une manière de pouvoir valoriser le potentiel en énergies renouvelables du territoire à long terme.

6.2 Les commodités industrielles

6.2.1 Biodiesel

Typiquement la production de biodiesel peut se faire à partir de plusieurs produits issus de la biomasse via un procédé visant directement la production de biodiésel ou en passant par un intermédiaire tel que le « biocrude ». Le procédé de conversion vers le biodiesel est déjà en développement dans les Maritimes et la technologie est prête pour une mise à

échelle industrielle⁹. En parallèle, d'autres projets commencent à voir le jour et mettent l'accent sur le développement de stratégies d'approvisionnement régionales capables de répondre à la demande¹⁰.

La production de microalgues permet aussi de répondre à la demande en biodiesel et en biokérosène. C'est une des avenues les plus prometteuses pour l'industrie du transport aérien. La principale voie reste donc de viser la production de ce que l'on peut appeler du « biocrude » algale¹¹. En parallèle, ces microalgues peuvent aussi permettre d'approvisionner une grappe bioindustrielle en molécules à forte valeur ajoutée. Cette diversification et le développement des marchés de bioproduits pourront faire des microalgues un nouvel atout énergétique à long terme.

6.2.2 Le « Power to Gas »

Le gaz produit par la technologie de « Power To Gas » peut être valorisé sur place par un industriel pour ses propres besoins de procédé ou par une station-service de remplissage d'un véhicule fonctionnant à l'hydrogène (pile à combustible) ou au méthane ; il se substitue alors à des gaz d'origine fossile, qu'il s'agisse d'hydrogène produit par reformage du gaz naturel ou directement de gaz naturel véhicule (GNV). Cette technologie donne l'opportunité de valoriser localement des technologies de production électrique variable. Dans le cas du réseau d'Hydro-Québec, cela pourrait permettre la valorisation de la production électrique en période creuse.

6.2.3 Le méthane

Le méthane peut devenir une commodité d'intérêt comme une matière première essentielle pour des industries telles que la production de méthanol ayant de nombreuses applications industrielles dans les produits courants de consommation ou pour des bioproduits industriels. Cette molécule est perçue comme une ressource abondante et peu chère, mais les contraintes de développement industriel pour celles-ci résident justement dans la fiabilité de l'approvisionnement plus que dans le prix de la molécule.

6.2.4 L'hydrogène

L'hydrogène est un gaz retrouvé communément dans les procédés industriels liés notamment à la transformation chimique. Des acteurs tels qu'Air Liquide, Praxair ou Linde

9. Voir [<https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/754574/acadie-nouvelle-ecosse-biodiesel-produits-forestiers>].

10. Voir [<http://www.ville.latuque.qc.ca/fr/affaires/bioenergie-la-tuque/>].

11. Voir [<http://algaesystems.com/technology-2/algae-biocrude/>].

sont les principaux influenceurs du marché. Son injection dans le réseau gazier est actuellement un souhait de certaines économies dans le monde et peut devenir une alternative à moyen terme. Néanmoins, dans le cadre du développement d'un climat d'affaires propice à l'installation d'acteurs d'importance dans le domaine industriel, l'accès à une ressource abondante telle que l'hydrogène est une opportunité à ne pas rater.

6.2.5 L'ammoniaque ($\text{NH}_{3(\text{aq})}$) ou l'ammoniac (NH_3)

La production d'ammoniaque nécessite de l'hydrogène qui est actuellement produit à partir de gaz naturel. Il est pourtant possible et technologiquement simple d'en produire par électrolyse.^{12,13} Une des avenues de valorisation de la molécule d'ammoniaque est de l'utiliser comme précurseur au sein d'activités de l'industrie chimique. On peut notamment penser à l'acide nitrique ou à l'urée comme produits d'intérêt. Dans le cadre du pôle de Port-Daniel, on peut imaginer la cimenterie comme client potentiel en ammoniaque qui se retrouve sous forme liquide ($\text{NH}_3(\text{aq})$).

6.2.6 La chaleur

6.2.6.1 Serres

La production agricole en serre permet de répondre à une demande alimentaire et peut participer à la souveraineté alimentaire des régions. L'approvisionnement en CO_2 de même que l'utilisation de la chaleur résiduelle peuvent ainsi contribuer à l'essor d'une telle chaîne de production en Gaspésie. Une vision intégrée et une stratégie de valorisation énergétique peuvent certainement contribuer au développement d'une infrastructure de production sericole d'envergure à Port-Daniel-Gascons.

6.2.6.2 Utilité

Dans une approche de maîtrise de l'énergie pour la collectivité, l'attractivité d'un milieu industriel exothermique (ex. : la cimenterie) peut permettre le développement d'une approche de district énergétique capable de valoriser cette chaleur résiduelle pour d'autres applications économiques.

12. Voir [<https://ammoniaindustry.com/renewable-ammonia-competitive-with-smr-technology-today-in-the-right-place/>].

13. Power to ammonia : voir [<http://www.ispt.eu/media/ISPT-P2A-Final-Report.pdf>].

6.3 Les débouchés de spécialité

6.3.1 Voie forestière

6.3.1.1 Extractibles forestiers

Dans le développement d'une filière de chimie verte, les extractibles forestiers sont les éléments les plus prometteurs et les plus étudiés pour valoriser la biomasse forestière résiduelle. Les essences de bouleau et de Saule sont actuellement étudiées pour leur forte teneur en molécules d'intérêt.

Leur développement permettrait de pouvoir développer des cultures énergétiques capables de stabiliser l'approvisionnement en biomasse tout en développant de nouvelles filières basées sur des molécules à plus forte valeur ajoutée.

6.3.1.2 Le Biochar

Si l'approvisionnement permet la production de biochar, des débouchés complémentaires pourront être développés dans le secteur de Port Daniel. En effet, cette matière énergétique pourrait être utilisée par d'autres industriels nécessitant un approvisionnement en matière biosourcée. Typiquement, on pense à des débouchés industriels pour la valorisation énergétique, mais ce produit peut rentrer dans la chaîne de valeur d'autres filières telles que l'agriculture, l'industrie chimique ou les technologies environnementales.

6.3.2 Voie halieutique

Les débouchés de spécialité concernent essentiellement la voie de valorisation des algues. Pour celle-ci, c'est essentiellement le marché visé qui conditionnera la technologie et les acteurs à privilégier. Dans cette perspective, il faudra mettre en avant les acteurs locaux et les ressources institutionnelles du territoire (Rivière-au-Renard) pour viabiliser l'initiative.

6.3.2.1 Pharmaceutique et cosmétique

Les algues peuvent avoir deux types d'application dans le domaine de l'industrie chimique. Elles peuvent servir aussi bien de base pour de la production de principes actifs que de matière structurante pour divers procédés.

6.3.2.2 Nutraceutique

Quand on parle de nutraceutique, on pense rapidement à la spiruline qui est l'exemple typique d'une substance alimentaire ayant des bénéfices pour la santé. Le développement de tels produits de niche et à forte valeur ajoutée est un atout indéniable pour le développement de la filière algue.

6.3.2.3 Alimentation et agriculture

Les algues produites peuvent être valorisables dans des secteurs comme ceux de l'alimentation animale ou des fertilisants. Leur grand apport lipidique et protéique est un atout dans ces secteurs-ci.

CONCLUSION

POUR LA SUITE DES CHOSES

Le potentiel est là. Les technologies matures et en émergence sont mobilisables dans le cadre actuel. Les conditions à réunir sont clairement identifiées. La démarche est globalement balisée. Elle doit être amorcée avec une volonté ferme, soutenue par une structure de réalisation capable faire les liens et les maillages requis; elle devra en outre disposer des ressources nécessaires pour faire les boucles de rétroaction, les ajustements requis par l'évolution des interactions entre les acteurs et les liens de complémentarité qu'ils vont créer et entretenir.

La création d'une grappe industrielle se déployant sur une ou plusieurs filières est une entreprise de long terme. Elle requiert de la constance dans l'effort, certes, mais elle repose d'abord et avant tout sur une vision partagée du développement. Une telle vision est une condition de succès essentielle. Elle doit être partagée par les promoteurs de départ c'est une évidence. Mais elle doit également être entretenue et enrichie des apports de tous les acteurs invités à partager le projet industriel.

La concertation est une clé du développement. C'est particulièrement vrai dans le cas des entreprises et des secteurs à forte vocation innovante. L'enjeu pour Port Daniel Gascons, avons-nous écrit en introduction, consiste désormais à penser son développement dans un effort pour transformer le passif environnemental que lui apporte la cimenterie en avantage stratégique. C'est un renversement de perspective qui peut être éminemment porteur. Aussi bien l'entreprise que le milieu sont solidairement liés par la nécessité de faire leur part pour mener la lutte aux changements climatiques et réduire les émissions de GES. Cette nécessité, c'est celle que s'est engagé à servir le gouvernement du Québec qui a fixé d'ambitieuses cibles de réduction. Aussi doit-il être interpellé et invité à soutenir les efforts de l'industrie et du milieu.

La mobilisation des moyens requis pour relever les défis d'un développement durable et plus sobre en carbone ne peut pas reposer sur les seules ressources des communautés locales. Si tout passe d'abord par leur détermination et leur initiative, il est évident qu'en raison de l'ampleur de la tâche, il faudra réunir des forces, des compétences et des ressources que le projet de faire de Port-Daniel-Gascons un véritable pôle d'innovation pourra interpellé et rassembler.

L'approche à privilégier consiste précisément à combiner vision globale et action locale. En ce sens les possibles qui s'ouvrent pour le projet de grappe industrielle peuvent et doivent se concevoir et éventuellement se déployer sur un horizon ambitieux. C'est une occasion de dépassement qui s'offre à Port-Daniel-Gascons, aux MRC du Rocher-Percé et de Bonaventure. C'est aussi pour l'ensemble des acteurs déjà mobilisés le moment de faire

partager une vision du développement qui concerne et interpelle non seulement la région, mais le Québec tout entier.

ANNEXE 1

LES ACTEURS DU MARCHÉ

A1.1 Biocombustibles

A1.1.1 Cellufuel

L'entreprise Boralex a développé une nouvelle technologie capable de transformer la biomasse forestière en biocarburant. Cette technologie a déjà été mise en opération dans une usine à Brooklyn en Nouvelle-Écosse. L'entreprise est en phase de démarchage pour le développement d'une unité commerciale capable de répondre à un marché mature ou en émergence. Cela pourrait être une avenue pour répondre à une demande en biodiésel identifiée par la grappe en technologies propres.

A1.1.2 Biothermica

Biothermica est une entreprise québécoise qui souhaite développer une technologie permettant la synthèse des technologies que la grappe des technologies propres souhaite développer. Elle utilise à la fois la biomasse et l'électrolyse pour coupler la gazéification à l'hydrogène et faciliter la production de produits tels que l'éthanol.

A1.1.3 Airex

Airex ÉNERGIE développe, fabrique et vend des systèmes de torréfaction de biomasse. La compagnie est un essaimage d'Airex Industries. Depuis décembre 2015, Airex Énergie exploite la première et seule usine de taille commerciale de biocharbon au Canada. Elle se base sur une technologie de pyrolyse à basse température et permet de produire une biomasse torréfiée ou biocharbon qui contient 70% de la masse de la biomasse traitée et 90% de la teneur en énergie du matériau.

A1.1.4 ETIA Technologies

ETIA Technologies est une entreprise française qui développe des applications de traitement de la biomasse. Elle vise les marchés du biocharbon et du syngaz à travers ses technologies de pyrolyse et de gazéification. Elle vise une large gamme d'applications pour développer ses marchés et met l'accent sur le développement de ces produits. Son produit

Biogreen est son produit phare et permet de traiter la biomasse pour en faire du biochar. Sa technologie COGEBIO, elle, en transformant la biomasse en syngaz permet de viser d'autres types de marchés.

A1.1.5 FQCF

La fédération québécoise des coopératives forestières possède une grande expérience dans le développement de projets pour l'utilisation de la biomasse énergie. En collaboration avec Vision biomasse Québec et le fonds biomasse énergie elle a pu développer des solutions originales de développement qui visent l'intégration de la logistique d'approvisionnement de la biomasse résiduelle pour la valoriser dans des réseaux de chaleur locaux. Son approche locale lui permet de pouvoir répondre aux enjeux d'approvisionnement et de marché local.

A1.2 Captation du CO₂

A1.2.1 CO₂ solutions

L'entreprise est québécoise et son siège social est à Québec, elle participe à plusieurs projets de captation de CO₂ dans la province. La technologie de CO₂ Solutions permet aux compagnies qui émettent et achètent le CO₂ d'avoir leur propre installation de capture. CO₂ Solutions exploite la capacité de l'enzyme anhydrase carbonique à capturer et à libérer le dioxyde de carbone dans les organismes vivants, en l'adaptant aux effluents gazeux industriels. Leur technologie est à l'échelle commerciale.

A1.2.2 Cansolv

Shell a développé la technologie Cansolv qui permet la captation de CO₂ en phase de post combustion par une catalyse à base d'acides aminés. Les dernières communications sur les projets et développements de cette technologie datent de 2010.

A1.2.3 Air liquide

Air Liquide est une entreprise française qui a développé un procédé industriel de captation du CO₂ dans le cadre de ses activités dans l'industrie pétrolière. La technologie Cryocap™ H₂ permet de capter une grande partie du CO₂ émis lors de la production d'hydrogène. Le CO₂ est ensuite liquéfié et purifié afin d'être valorisé pour différentes applications. Leur technologie est commercialisée.

A1.2.4 Air Products et Linde

La technologie « CO₂ Capture » d'Air Products permet la captation du CO₂ via une catalyse à base d'acides aminés. Linde utilise une technologie, que l'on appelle lavage du CO₂, essentiellement utilisée dans des sites de combustion pétrolière ou gazière.

A1.3 Électrolyse et méthanation

A1.3.1 Hydrogenics

Hydrogenics (Mississauga, ON) est une entreprise basée en Ontario qui est un leader mondial dans le dimensionnement, la fabrication, la construction et l'installation des systèmes industriels d'hydrogène. Elle a une expertise de 60 ans dans la production de générateurs d'hydrogène et est un des précurseurs en ce qui concerne le «Power To Gas». Leurs projets en sont à l'échelle de démonstration.

A1.3.2 ITM Power

ITM Power (Sheffield, UK) fabrique des systèmes intégrés de production d'hydrogène à visée énergétique à échelle de démonstration.

A1.3.3 Quantum Technologies

Quantum (Lake Forest, CA, US) est une entreprise qui se concentre sur l'ingénierie des systèmes de gaz naturel et d'hydrogène. Elle est un des leaders dans l'intégration des systèmes de stockage au gaz et à l'hydrogène. Elle est un des acteurs importants du développement du Power To Gas. Leurs projets en sont à l'échelle de démonstration.

A1.4 Valorisation du CO₂

A1.4.1 Catalytic Innovations

Cette entreprise est un *spin-off* de l'université de Yale et développe des solutions électrochimiques pour réduire la consommation énergétique au sein des procédés de raffinage et de la transformation gaz-liquide. Elle est en phase de développement d'une technologie utilisant les cycles thermochimique et électrochimique pour transformer le CO₂ en produits à forte valeur ajoutée : éthanol et méthanol. Les ressources nécessaires sont le CO₂, l'eau, la chaleur et l'électricité.

A1.5 Algues

A1.5.1 Vertech

Le projet Vertech est le fruit d'une collaboration entre l'UQTR, la ville de Victoriaville et certains industriels de la ville. Le projet vise à valoriser les effluents des sites industriels pour permettre la production d'algues valorisable en bioproduits. Le projet est à une échelle de démonstration.

A1.5.2 Sabrtech

Sabrtech est une entreprise fabriquant une technologie de production de microalgues à usage local. Elle propose une solution adaptable aux contextes particuliers de production. Son produit est la RiverBox, capable de répondre aux besoins locaux. Sa particularité est la production d'un biofilm halieutique. Son projet à l'échelle de développement.

A1.5.3 Pond Technologies

Pond Technologies est une entreprise basée en Ontario qui se spécialise dans la production de microalgues capables d'être valorisées en Biodiesel et en produits nutraceutiques tels que la Spiruline. Elle est dans une phase de financement d'un projet de démonstration.

A1.6 Électrolyse du Co2

A1.6.1 Dioxide materials

Dioxide Materials™ souhaite créer une nouvelle chaîne de valeur par la valorisation du CO₂ et la valorisation des énergies renouvelables à travers la production de composés à forte valeur ajoutée. Ils produisent aussi des outils qui sont des versions à petite échelle d'électrolyseurs de CO₂. Leurs projets sont dans une phase de développement.

A1.6.2 Skyonic

Skyonic, basé au Texas, se spécialise dans le développement et l'adaptation de procédés industriels visant la minéralisation des émissions de CO₂ afin de les transformer en produits chimiques tels que les carbonates et bicarbonates solides. Ils peuvent être utilisés dans la production de bicarbonate de soude, d'acide chlorhydrique et de chaux. Leurs projets sont dans une phase de développement.

ANNEXE 2

DES EXEMPLES INSPIRANTS

A2.1 Kalundborg, Danemark

Kalundborg, ville de 20 000 habitants qui fait lieu de référence en matière d'écologie industrielle, a été particulièrement observée durant les vingt dernières années. Malgré sa taille, cette petite ville a su faire parler d'elle, car dès le début des années soixante, la mairie, en lien avec certaines entreprises, a commencé à mettre en place des programmes visant la réduction de l'utilisation de matières premières. Cette intention s'est concrétisée sous forme de programmes d'échanges de matières entre les entreprises. Celles-ci ont progressivement enrichi le concept et le modèle de développement économique, jusqu'à aboutir à une zone où les interconnexions de flux de chaleur, de matière, et de déchets sont parvenues à un haut niveau d'intégration.

L'écosystème de Kalundborg s'est construit graduellement, à partir des années 1970, autour d'une poignée d'entreprises proches géographiquement et de la municipalité. Il s'est construit autour de trois enjeux : optimiser l'utilisation de l'eau, économiser de l'énergie et réutiliser les déchets.

Le cœur de la symbiose industrielle de Kalundborg est la centrale thermique d'Asnaes, la deuxième du Danemark pour la production d'électricité. Cette centrale est dite de « cogénération » (en plus de produire de l'électricité, elle récupère la chaleur sous forme d'eau chaude, qui peut être utilisée pour le chauffage ou pour la production industrielle). Grâce à l'installation de tuyaux reliant directement la centrale d'Asnaes aux usines environnantes, cette chaleur est réutilisée, réduisant ainsi les pertes. Cette symbiose permet ainsi le transfert thermique à Statoil, Novozymes et Novonordisk réduisant ainsi leur besoin en matière première.

Quarante ans plus tard, cette symbiose regroupe désormais plus de 20 entreprises s'organisant autour d'une centrale électrique, une raffinerie, une usine de plâtre, une ferme piscicole, un producteur d'enzymes ou encore une entreprise de traitement des sols pollués. Les déchets au lieu d'être stockés en décharge ou incinérés, deviennent des matières premières pour d'autres entités et les surplus d'énergie (vapeurs, gaz d'échappement, effluents liquides chauds...), autrefois rejetés dans l'atmosphère, sont utilisés à la place de combustibles fossiles. La dimension « écosystémique » de ces échanges ou « synergies » n'a été remarquée par les théoriciens du développement industriel qu'à partir de 1989, soit au bout d'une vingtaine d'années.

D'un point de vue social, les entreprises ont compris par elles-mêmes qu'elles avaient intérêt à coopérer. Cela requiert de la confiance, de mieux se connaître. Ces échanges ne

peuvent être organisés ou forcés par une organisation nationale. Au début les partenaires s'intéressaient surtout aux aspects techniques, mais ils ont rapidement réalisé les avantages à tirer de la coopération et d'un fonctionnement en réseau. Chaque coopération génère automatiquement d'autres idées pour des coopérations. Avec le temps, ils ont échangé de manière plus structurée afin de trouver de nouveaux échanges.

Actuellement, les projets de développement du parc de Kalundborg se concentrent sur les industries biosourcées avec l'implantation d'une unité de démonstration d'Inbicon en 2009. C'est une filiale de DONG Energy qui valorise la biomasse issue des résidus agricoles par voie enzymatique. Son but est de développer une usine commerciale capable de pouvoir transformer la biomasse en molécules valorisables en éthanol, alimentation animale, combustible ou substitut chimique. Elle applique déjà un procédé intégré de valorisation de ses coproduits et bénéficie de partenariats avec les industries du parc pour son approvisionnement en chaleur (Asneas) et en enzymes (Novozyme). D'autres partenariats sont à l'étude pour les résidus de la lignine en cogénération et la valorisation de l'hémicellulose en dérivé chimique.

A2.2 Sarnia, Ontario

Le comté de Sarnia-Lambton est reconnu comme le centre canadien de l'industrie pétrochimique avec une vingtaine de grandes entreprises, parmi les *majors* de l'industrie (BP, DuPont, Exxon Mobil, Royal Dutch, Shell, Suncor), qui s'y sont établies entre 1942 et 1980. Mais à partir du début des années 1980, le secteur vit une situation difficile, sans aucune création de nouveaux emplois. C'est dans ce contexte que les intervenants locaux décident en 1995 de créer le Sarnia-Lambton Council for Economic Renewal, un partenariat entre le gouvernement local, l'industrie et les milieux de l'éducation, afin d'attirer de nouvelles entreprises et diversifier la structure industrielle de l'économie locale.

Mais ce ne sera finalement que huit ans plus tard, en 2003, que les choses se précisent. En début d'année, on procède à la fusion du Sarnia-Lambton Council for Economic Renewal et du Sarnia-Lambton Office of Economic Development dans un nouvel organisme partenarial, le Sarnia-Lambton Economic Partnership, qui aura la mission de faire la promotion d'une nouvelle vision de développement, visant à faire de Sarnia-Lambton le centre canadien des énergies propres et des bio-industries. Les acteurs veulent s'appuyer à la fois sur les forces locales – énergie et chimie – et sur les nouveaux secteurs en émergence. La même année, la ville de Sarnia s'entend avec l'University of Western Ontario afin que cette dernière crée un campus de son Western's Research and Development Park à Sarnia. À cette fin, la Corporation de développement communautaire acquiert un complexe immobilier (Dow Modeland Building) et la ville de Sarnia achète 214 acres de terrains adjacents pour en faire « *an area in chemical valley that will provide new and innovative research opportunities for our faculty, staff, and students, particularly in engineering* ».

Quelques années plus tard, la stratégie de développement prend véritablement forme en créant un nouvel organisme de promotion et un incubateur d'entreprise, qui formeront les deux pierres angulaires du Sarnia-Lambton Biohybrid Chemistry Cluster. Ce projet de grappe industrielle est particulièrement novateur : en cherchant à faire un pont entre les activités de la pétrochimie et de la chimie verte, les acteurs locaux misent sur les synergies entre les forces des secteurs traditionnels et celles des créneaux en émergence. Outre les deux pierres angulaires décrites dans les paragraphes suivants, la grappe de la chimie hybride pourra compter sur trois centres de recherche, deux parcs industriels dédiés (LANXESS' Bio-Industrial Park Sarnia et TransAlta's Bluewater Energy Park) et une force de travail spécialisée en chimie.

L'organisme de promotion est le Sustainable Chemistry Alliance. Son rôle est d'appuyer le développement et la commercialisation des innovations dans le domaine de la chimie verte et dans les activités qui leur sont reliées. Pour y parvenir, l'Alliance s'est donné une stratégie permettant de faire l'hybridation entre les activités de la pétrochimie et de la chimie verte. Elle travaille avec les entreprises, les institutions du domaine de l'éducation, les centres de recherche et les divers niveaux de gouvernement. L'Alliance est aussi active à développer des partenariats avec les acteurs des secteurs de la pétrochimie, de l'automobile, de l'agriculture et de la forêt (dans ces deux derniers pour leurs ressources en biomasse) de manière à favoriser des initiatives tout le long de la chaîne de valeur de la chimie. Pour lui donner le moyen de ses objectifs, l'Alliance a été dotée d'un fonds d'investissement (Sustainable Chemistry Alliance investment funds).

L'autre pierre angulaire est l'incubateur d'entreprise du Bioindustrial Innovation Canada (BIC). Installé sur le campus du Western's Research and Development Park de Sarnia, l'incubateur du BIC joue un rôle fondamental : transformer les forces de la région (dans la production de chimie, de l'automobile et de l'agriculture) en de nouveaux bio-produits durables et en énergies renouvelables. C'est la première initiative du genre en Amérique du Nord, offrant aux entreprises innovantes de la chimie verte des laboratoires bioindustriels et des installations pilotes de gazéification, pyrolyse, fermentation et bio-conversion. Le BIC veut faire de Sarnia un leader reconnu dans l'utilisation de la biomasse et des matières résiduelles pour la production d'énergie renouvelable et de chimie durable. En 2013 l'incubateur hébergeait déjà trois entreprises innovantes – Woodland Biofuels, GreenCore Composites et KmX Corporation – alors que plusieurs autres firmes du secteur des énergies renouvelables et de la chimie verte étaient installées sur l'un ou l'autre des deux parcs industriels de la ville. Parmi eux, la plus importante raffinerie canadienne d'éthanol (Suncor Ethanol, 400 millions de litres) ainsi que Bioamber.

A2.3 Varennes, Québec

Le déclin de l'industrie pétrochimique à Varennes a obligé la municipalité à repenser la vocation de ses parcs industriels pour permettre la relance de l'activité économique.

En s'appuyant sur les acteurs économiques présents, dont quelques-uns offraient un grand potentiel pour le développement futur de la région, on lance l'initiative du Novoparc. « Solidairement, les élus de Varennes ont choisi d'emblée une approche qui inclut l'innovation et les industries vouées à l'énergie renouvelable pour développer notre nouveau parc industriel », spécifie M. Martin Dampousse, maire de Varennes. « En réunissant les deux parcs distincts, soit le parc chimique et le parc scientifique, nous avons voulu créer une synergie au niveau des entreprises pour qu'elles puissent grandir à l'intérieur de notre territoire ». Le Novoparc de Varennes représente au départ quelque 30 millions de pieds carrés de terrains industriels laissés vacants par la fermeture des usines pétrochimiques. Il faut ajouter les 10 millions de pieds carrés de terrains que la municipalité a acquis l'an dernier d'Hydro-Québec et qui sont disponibles en bordure de l'autoroute 30. Déjà, le quart des terrains sont vendus, ce qui a permis de rentabiliser l'investissement en moins d'un an.

Par ailleurs, la municipalité a encouragé la construction de la première et seule usine de fabrication d'éthanol à base de maïs grain au Québec (Ethanol Greenfield). Entreprise canadienne dont le siège social est situé à Toronto, Éthanol GreenField est le plus grand producteur d'alcools au Canada. En exploitation depuis mars 2007, la distillerie de Varennes compte parmi les plus efficaces en Amérique du Nord, tant au point de vue du rendement intrinsèque et de l'efficacité énergétique qu'en ce qui concerne son empreinte environnementale et de la réduction des GES. Bien qu'elle travaille au développement de ses propres technologies de seconde génération à ses laboratoires de Chatham en Ontario, l'entreprise est aussi membre fondateur de la chaire de recherche de l'Université de Sherbrooke en carburants renouvelables. Ses efforts soutenus en R-D comprennent aussi la mise en place de partenariats stratégiques auprès d'entreprises spécialisées, ce qu'elle fera quelques années après le début de ses activités au Québec avec un partenariat Greenfield-Enerkem.

Depuis 2007, Éthanol GreenField produit 150 millions de litres d'éthanol à son usine de Varennes à partir de 300 000 tonnes de maïs par année. Or, en raison de l'intensité carbone relativement élevée de ce type de production agricole et de son caractère de produit alimentaire de base, cet éthanol de première génération est loin de faire l'unanimité, au point où le gouvernement du Québec a clairement établi que son programme de soutien excluait dorénavant l'éthanol de première génération. D'où l'intérêt pour Éthanol GreenField d'établir un partenariat avec Enerkem, issu justement de la chaire de recherche de l'Université de Sherbrooke en carburants renouvelables, financé par Braemar Energy Venture, le Fonds de Solidarité de la FTQ et Rho Ventures. La technologie brevetée d'Enerkem permet de convertir en biocarburants ou en chimie verte des matières résiduelles urbaines, telles que des déchets industriels, commerciaux et institutionnels triés de même que des débris de construction et de démolition non recyclables. Avec une usine à pleine échelle de production de biocarburants à partir de déchets actuellement en construction à Edmonton en Alberta et un autre projet en développement au Mississippi, Enerkem est appelé à devenir un acteur majeur dans ce créneau.

C'est donc VANERCO, la coentreprise formée par Enerkem et GreenField, qui construira et exploitera une usine d'éthanol cellulosique intégrée à l'actuelle usine d'éthanol

de GreenField, à Varennes. Cette installation de production de biocarburants à partir de matières résiduelles aidera à réduire les émissions de gaz à effet de serre (d'environ 110 000 tonnes de CO₂ par année), les importations de combustibles fossiles et les volumes de déchets enfouis. La capacité de production annuelle envisagée pour cette usine est d'environ 38 millions de litres. Le gouvernement du Québec a annoncé son intention d'octroyer 27 millions \$ pour le financement de l'usine commerciale alors que le Fonds de biocarburants ProGenMC de TDDC (gouvernement fédéral) apportera une contribution remboursable de 734 500 \$, une somme qui pourrait atteindre de 39,8 millions \$ lorsque toutes les étapes auront été franchies pour la mise en production des installations.

ANNEXE 3

ÉLECTROLYSE ET PRODUCTION DE MÉTHANE

L'électrolyseur est l'élément central du Power-to-Gas, il permet la conversion de l'énergie électrique en énergie chimique contenue dans l'hydrogène issu de la décomposition de l'eau. Actuellement, il existe 3 principales technologies d'électrolyseurs : alcalines, PEM (Proton Exchange Membrane), et SOEC (Solid Oxyde Electrolyser Cell).

La première est une technologie mature et largement diffusée dans l'industrie. La seconde, plus récente et dérivée des piles à combustible reste aujourd'hui réservée aux petites installations. La dernière (SOEC), à haute température, en est encore au stade du laboratoire; elle se différencie principalement par la substitution d'une partie de l'électricité nécessaire à la dissociation de l'eau par de la chaleur, l'efficacité énergie chimique/énergie électrique se trouvant ainsi améliorée.

Dans le cas de production de méthane de synthèse, un réacteur de méthanation est utilisé en série pour convertir l'hydrogène en méthane en le faisant réagir avec le CO_2 . Deux technologies sont utilisées :

La voie catalytique utilisant des réacteurs avec un lit de catalyseur (ex. : nickel), tout à fait similaire à la méthanation du monoxyde de carbone (CO) qui est exploitée industriellement depuis plus de 50 ans.

La voie biologique qui a recours à des microorganismes pour réaliser cette conversion, de façon très proche de la méthanisation produisant le biogaz par fermentation anaérobie, les microorganismes et les conditions de réaction pouvant être différents.

Dans tous les cas, il ne s'agit pas de ruptures technologiques : tous les éléments constitutifs de la filière sont d'ores et déjà disponibles, même si chacune de ces « briques » est améliorable, voire remplaçable par de futures variantes prometteuses. L'assemblage de ces briques et leur utilisation pour l'équilibrage du réseau électrique constituent en soi une nouveauté qui nécessite des adaptations et des optimisations, en particulier le fonctionnement intermittent.

Des améliorations sensibles des performances techniques, économiques et environnementales sont attendues de tous les développements en cours. La baisse des coûts de production sera également largement liée à l'augmentation en taille des équipements, mais surtout de leur production en plus grandes séries.