



Biométhane

BIOMETHANE DE MICROALGUES

EVALUATION DU POTENTIEL DE PRODUCTION
EN FRANCE AUX HORIZONS 2020 ET 2050

RAPPORT FINAL – FEVRIER 2013

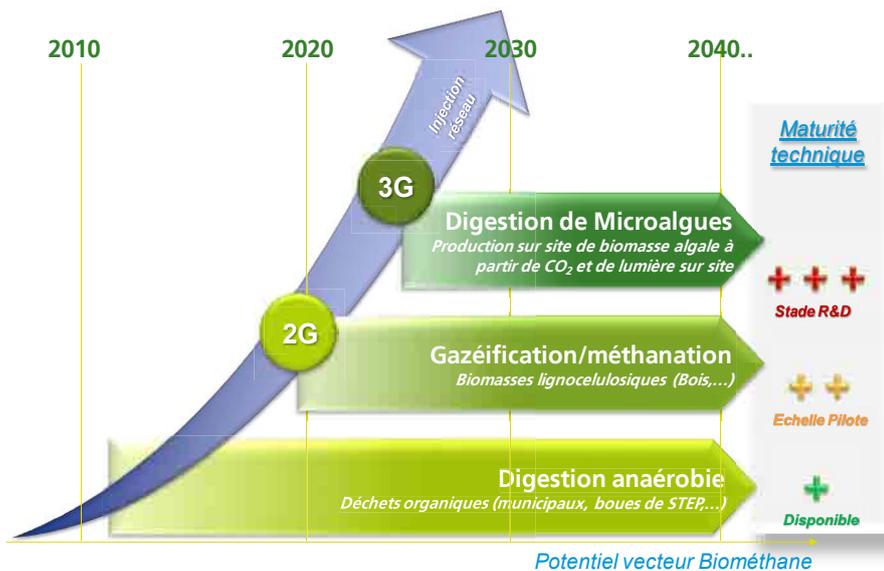
Etude réalisée pour le compte de GrDF par le CRIGEN de GDF SUEZ

Comité de pilotage :
GrDF, ADEME, MEDDE-CGEDD, MEDDE – DGEC, MINEFI – DGTrésor, MINEFI –
DGCIS, MAAF – CEP, MAAF – DGPAAT

SYNTHESE

Sur la base des bénéfices environnementaux constatés au travers du déploiement industriel de la méthanisation organique, les acteurs du domaine souhaitent aujourd’hui étendre ce potentiel technique via des procédés innovants permettant de valoriser de nouvelles ressources de biomasse. Parmi ces filières dites de nouvelle génération on note : la filière de 2^{ème} génération qui cible les biomasses lignocellulosiques (type bois, pailles,...) par transformation thermochimique (gazéification), actuellement en développement à l’échelle pilote, ainsi que les filières de production de 3^{ème} génération qui ambitionnent à plus long terme la production de biométhane par digestion de microalgues produites directement sur site à partir d’eau de CO₂, de nutriments et de soleil.

Ces modes de production de biométhane présentent différents niveaux de maturité techniques et sont appelées à se développer progressivement et à cumuler à terme leur potentiel en complément de la méthanisation de déchets qui poursuivra son développement avec des bénéfices environnementaux significatifs.



Le potentiel de production de biogaz de déchets en France a été évalué par une précédente étude menée par l’AFGNV et l’ADEME. L’opérateur de réseau GrDF souhaite désormais quantifier, à l’horizon 2020 à 2050, le potentiel de production de biométhane injectable par des technologies de 2^{ème} et de 3^{ème} génération. La présente étude constitue l’un des deux volets de ce travail et porte sur l’évaluation du potentiel technique du biométhane de 3^{ème} génération en France métropolitaine.

La filière de 3^{ème} génération présente la particularité de proposer une mutivalorisation de la biomasse algale produite sur site. Cette co-valorisation matière (chimie, ingrédients alimentaires,...) et énergie apparait aujourd’hui comme une composante essentielle de la pertinence économique de l’ensemble de la chaîne de la valeur des microalgues (voir schéma ci-dessous).

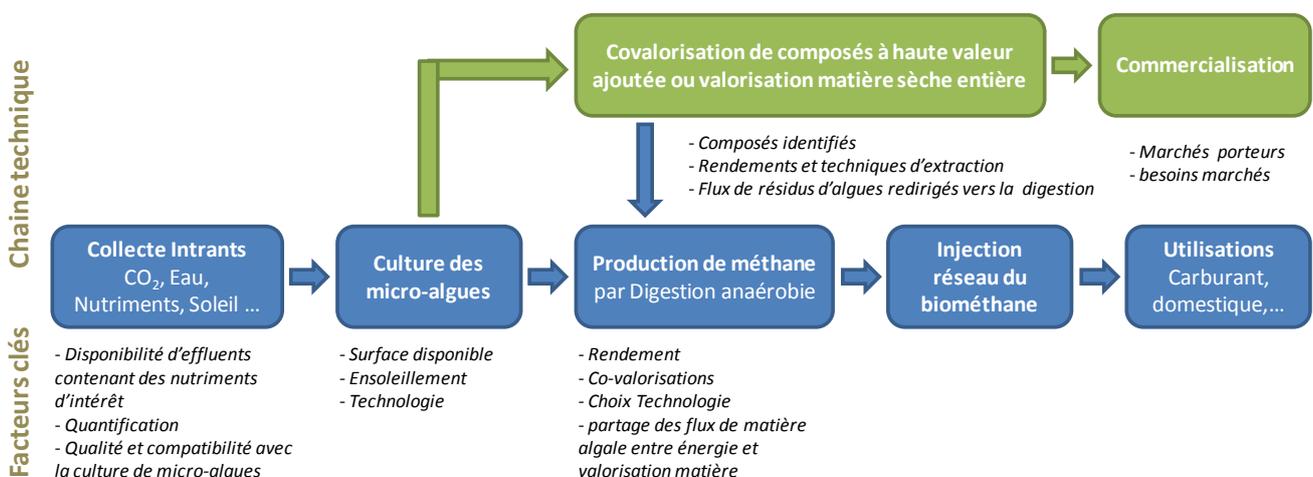


Figure 1: Chaîne de la valeur de la filière biométhane de 3^{ème} génération

Les microalgues sont des microorganismes photosynthétiques présents sur l’ensemble de la planète et responsables en très grande partie de la composition de l’atmosphère terrestre. Domesticquées dans des procédés industriels depuis le milieu du 20^{ème} siècle, leur utilisation dans le domaine de l’énergie est très récente et

principalement due à leurs capacités hors normes : rendements surfaciques en moyenne 10 à 20 fois supérieurs aux cultures terrestres, culture hors sol sans compétition avec l’usage de terres arables dédiées à l’alimentation, consommations de ressources primaires mineures, capacités de biorémédiation de polluants issus d’effluents liquides et gazeux, capacité à capter et recycler du CO₂ issu de fumées industrielles,... Ces propriétés ne sont aujourd’hui que partiellement domestiquées par les procédés industriels. **Des recherches sont encore nécessaires afin de développer des procédés aptes à exploiter ces capacités naturelles au meilleur coût et de créer des technologies de ruptures** permettant pour la première fois de proposer une synergie industrielle entre la production d’énergie, la production de matières premières nutritionnelles et les services à l’environnement.

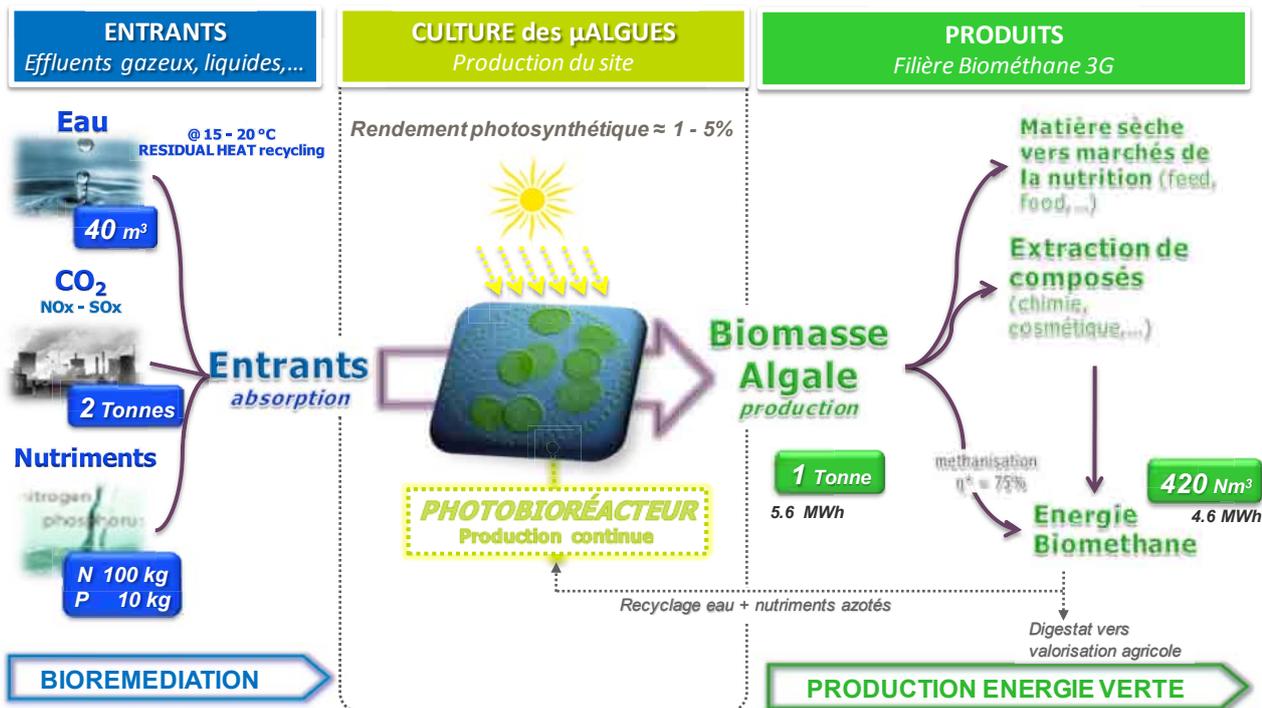


Figure 2 : Panorama technique de la filière Biométhane de 3^{ème} génération

L’approche utilisée dans cette étude de potentiel propose pour la première fois une évaluation du potentiel de production par une analyse combinée de la taille des marchés directeurs de co-valorisation à l’horizon 2020 et 2050 (besoins du marché de la chimie, de l’environnement,...) et des facteurs techniques limitant le développement industriel (surface disponible, disponibilité à proximité de CO₂, d’eau,...).

Cette approche n’a, à notre connaissance, pas de précédent dans la littérature spécialisée. Elle se caractérise par :

- Un référencement et une analyse de faisabilité d’implantation de la brique technologique microalgues dans les différents secteurs économiques français (industriel, agricole, collectivités) sur la base des disponibilités en utilités et en surface (prise en compte des contraintes imposées par la culture des microalgues avec notamment les besoins en eau, en surface, en CO₂, ...)
- Une analyse de faisabilité de l’implantation / optimisation de la surface utilisée au regard de la réalité du terrain et L’approche adoptée est propre à la filière de 3^e génération où la production de la biomasse peut se faire directement sur le site de valorisation (cultures hors terrains agricoles) ;
- Une prise en compte de modèles d’affaires incluant une multi-valorisation en produits à haute et moyenne valeur ajoutée et en biométhane.

Enfin, un indice du potentiel de déploiement de cette brique technologique, défini pour chacun des secteurs étudiés au regard des avantages procurés, permet de mettre en évidence les secteurs qui seront les premiers marchés d'application de cette rupture technologique et ceux dont l'émergence se fera à plus long terme. Le potentiel de production du biométhane a été déterminé sur la base des premiers marchés dont il est aujourd'hui possible d'évaluer de manière crédible le mode de développement. Une analyse a également été réalisée sur l'ensemble des autres secteurs de l'industrie française sur lesquels le développement de la filière biométhane 3G est plus incertain.

Les résultats de cette étude concluent à un potentiel de production de biométhane de 3e génération pour la France métropolitaine de :

- **2020 → 1,1 à 9,3 TWh/an,**
- **2050 → 19,3 TWh/an**

avec un potentiel complémentaire de **3,5 TWh** sur l'ensemble des autres secteurs industriels.

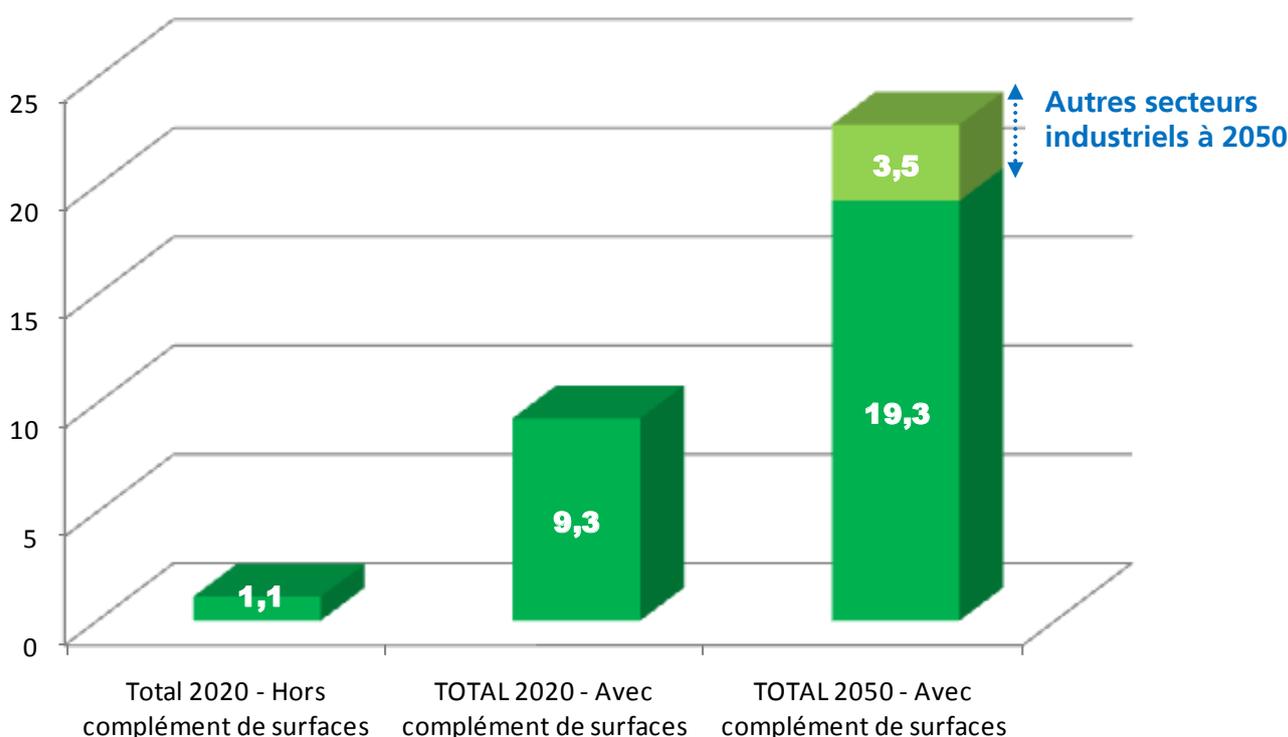


Figure 3 : Evaluation du potentiel de production de biométhane global en France à l'horizon 2020 et 2050

L'étude a mis en évidence que la production de biométhane de 3^{ème} génération est fortement conditionnée par le développement de marchés de masse permettant de valoriser la biomasse algale brute. Le biométhane apparaissant le plus souvent comme un coproduit énergétique de ces filières permettant au passage d'améliorer les bilans environnementaux et de baisser les coûts grâce à un recyclage des matières et de l'énergie au sein même des unités de production.

Les capacités innovantes des microalgues en matière de biorémédiation et de recyclage du CO₂ leur procurent également un potentiel de développement significatif en matière de services à l'environnement. Ces secteurs représentent également l'un des premiers marchés potentiels de développement de cette brique technologique à l'horizon 2020 et 2050.

L'analyse de la faisabilité d'implantation dans les autres secteurs économiques Français démontre un intérêt plus limité en l'état des connaissances actuelles et ne permet pas d'envisager un développement massif des microalgues dans ces secteurs avant 2020 et très hypothétique à l'horizon 2050.

Limites de l'étude et perspectives

La méthodologie mise au point dans cette étude a permis de proposer une estimation réaliste du potentiel de production de microalgues et de biométhane 3G basée sur une disponibilité réelle et au même point géographique **des surfaces et des intrants nécessaires ainsi que sur des perspectives de plan d'affaire et de marché démontrées** dans la littérature.

L'exercice démontre l'impact majeur de l'amélioration des rendements de production et de conversion qu'il est possible d'envisager d'ici 2050. L'accès à ces améliorations reste néanmoins conditionné par un effort de recherche conséquent qui sera à même de générer des ruptures techniques et économiques indispensables au développement de ces technologies à l'horizon 2050.

La faible maturité des technologies et des marchés ne permet à l'heure actuelle de pousser l'analyse que sur un nombre réduit de secteurs économiques. En fonction de l'évolution des connaissances sur ce domaine, des études complémentaires et des mises à jour pourront être réalisées dans les prochaines années afin d'enrichir cette première analyse. Des études plus approfondies sur les secteurs clés identifiés permettront de préciser les conditions technico-économiques d'émergence de cette brique technologique en affinant les modèles d'affaires et en confirmant la faisabilité technique sur des sites identifiés.

CADRE DE L'ETUDE

Financement et réalisation

Cette étude a été financée par GrDF et réalisée en 2012 par le Centre de Recherche et d'Innovation Gaz et Energies Nouvelles (CRIGEN) de GDF SUEZ.

Equipe de suivi GrDF :

- Catherine Foulonneau, Déléguée Stratégie Régulation
- Anthony Mazzenga, Chef du Pôle Stratégie

Equipe de réalisation CRIGEN :

- Hélène Pierre, Responsable du Programme R&D Ville durable et Nouvelles Filières énergétiques
- Olivier Guerrini, Chef de Projet
- Olga Selmi-Olivetti, Chef de Projet
- Nathalie Camus, Ingénieur de recherche

Comité de pilotage

GrDF remercie vivement les membres du comité de pilotage pour leur **participation, leurs apports à l'étude, la relecture des documents et leurs commentaires et suggestions. Le comité de pilotage pour l'étude était formé** par :

- Bruno Gagnepain, Aude-Claire Houdon et Caroline Rantien, ADEME
- Sylvie Alexandre, MEDDE – CGEDD
- Nadia Boukhetiaïa, MEDDE – DGEC
- Laure Lampin et Raphaël Contamin, MINEFI – DGTrésor
- Michel Aribart, MINEFI – DGCIS
- Julien vert, MAAF – CEP
- Valérie Dermaux et Léa Molinié, MAAF – DGPAAT

Malgré la rigueur apportée à la collecte des données, des erreurs, omissions ou inexactitudes peuvent **s'insérer dans cette étude**. Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs. Les interprétations, positions et recommandations figurant dans ce rapport ne peuvent être attribuées aux membres du comité de pilotage.

A PROPOS DE GrDF

Créé le 31 décembre 2007, GrDF, filiale à 100 % de GDF SUEZ, regroupe les activités de distribution de gaz naturel en France. Dans les zones géographiques où il est concessionnaire de la distribution de gaz naturel, GrDF achemine le gaz naturel de l'ensemble des fournisseurs **pour l'ensemble** des consommateurs via un réseau qu'il construit, développe, entretient et exploite en veillant à la sécurité de tous.

Dans le cadre de ses missions de service public, GrDF assure le développement des réseaux de gaz naturel sur le territoire : « *sur le territoire qu'il dessert, GrDF contribue au développement du réseau de distribution de gaz naturel en tant que celui-ci constitue un outil essentiel de la politique énergétique française visant à apporter aux consommateurs des solutions énergétiques, en particulier de chauffage, performantes aux plans économique et environnemental* » (extrait du contrat de service public)

Ainsi, GrDF accompagne le développement des solutions innovantes et performantes en lien avec les filières, dans le domaine du bâtiment, **de l'industrie, de la mobilité mais également dans le domaine de production d'énergie renouvelable avec l'injection de biométhane dans le réseau et sa valorisation.**

A PROPOS DE GDF SUEZ - CRIGEN

Le CRIGEN (Centre de Recherche et Innovation Gaz et Énergies Nouvelles) est un centre de recherche de GDF SUEZ situé en région parisienne ; il regroupe 403 collaborateurs et gère un portefeuille de 1 166 brevets.

Ses travaux portent sur :

- le développement d'offres pour les différents publics (résidentiel, industriel, collectivités...),
- les énergies nouvelles (renouvelables, stockage d'énergie, captage et stockage de CO₂...),
- les infrastructures gazières (sécurité, performance...),
- le GNL,
- les innovations web et les solutions de mobilité du poste de travail.

Dans le domaine des microalgues, GDF SUEZ au travers de sa filiale la Compagnie du Vent coordonne le projet SALINALGUES¹ qui vise à démontrer la faisabilité d'une filière de production de micro-algues pour la production de molécules à haute valeur ajoutée et d'énergie. Le projet a notamment inauguré une installation pilote dans le sud de la France en 2011.

¹ Plus d'informations sur www.gdfsuez.com

SOMMAIRE

SYNTHESE	2
CADRE DE L'ETUDE	5
Financement et réalisation	5
Comité de pilotage.....	5
A PROPOS DE GrDF	6
A PROPOS DE GDF SUEZ - CRIGEN.....	6
CONTEXTE ET ENJEUX DE L'ETUDE	9
1. INTRODUCTION	11
1.1. Aspects techniques des microalgues	11
1.2. L'intégration de la filière de production de biométhane de 3^e génération	21
2. APPROCHE METHODOLOGIQUE DE L'ETUDE	23
2.1. Partie 1 : Cadrage du périmètre de l'étude et identification des secteurs économiques potentiellement responsables de la production de biométhane 3G.....	24
2.2. Partie 2 : Caractérisation des scénarios technologiques et des hypothèses techniques	29
2.3. Partie 3 : Agrégation et analyse de sensibilité sur le potentiel de production de biométhane 3G	30
3. RESULTATS	32
3.1. Potentiel de déploiement de la technologie microalgues dans chacun des secteurs identifiés.....	32
3.2. Potentiel de production de biométhane 3G dans les secteurs identifiés comme des 1ers marchés .	34
3.3. Potentiel de production de biométhane 3G à horizon 2020	44
3.4. Potentiel de production de biométhane 3G à horizon 2050	46
CONCLUSION	48
GLOSSAIRE.....	49
LISTE DES FIGURES	50
LISTE DES TABLEAUX.....	51
BIBLIOGRAPHIE	52
ANNEXE 1 : ASPECTS TECHNIQUES DE LA PRODUCTION DE MICROALGUES : CALCUL DU RENDEMENT PHOTOSYNTHETIQUE	
ANNEXE 2 : EXEMPLES DE TECHNOLOGIES DE PRODUCTION DE MICROALGUES	
ANNEXE 3 : FICHES SECTORIELLES D'ANALYSE DU POTENTIEL D'IMPLANTATION DES TECHNOLOGIES MICROALGUES DANS LES DIFFERENTS SECTEURS DE L'ECONOMIE FRANÇAISE AUX HORIZONS 2020 ET 2050	
1. Chimie – Raffinage – Pétrochimie	63
2. Industries Agro-alimentaires	69
3. Papier-Carton	90
4. Caoutchouc	93
5. Textile	96
6. Plasturgie	99
7. Sidérurgie/Métallurgie	102
8. Matériaux	108

1.	Élevage	119
2.	Cultures	124
1.	Centrales thermiques	127
2.	Infrastructures gazières.....	130
1.	Incinération.....	133
2.	STEU.....	136
3.	ISDND.....	139
4.	ISDD.....	142
1.	Industries décentralisées de production de biodiesel et Jetfuel de 3 ^{ème} génération	144

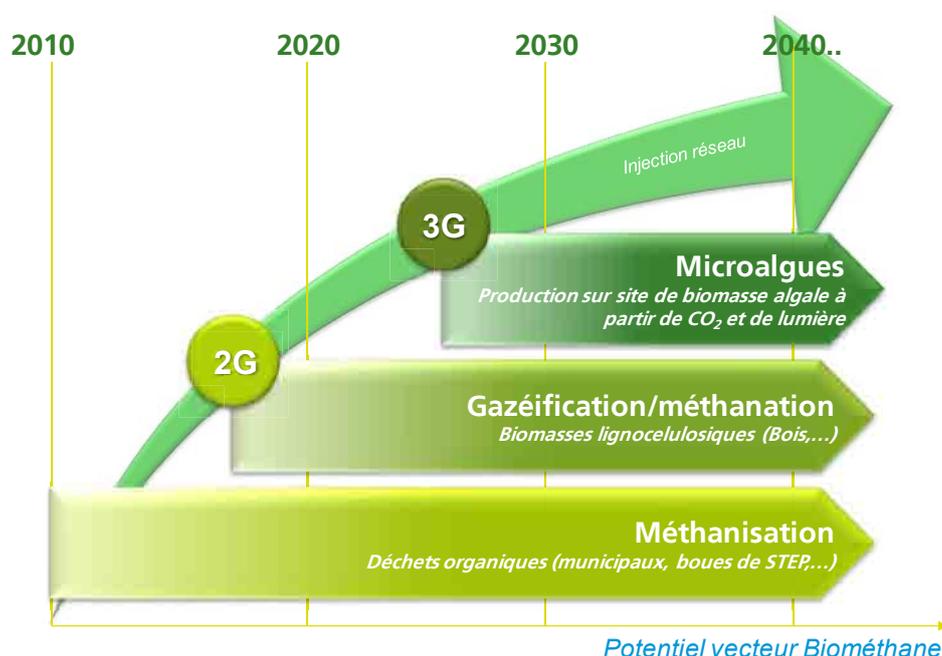
CONTEXTE ET ENJEUX DE L'ETUDE

Le réchauffement climatique, la pollution de notre environnement physique et les tensions sur les ressources fossiles sont autant de défis qui mettent en jeu **l'avenir de nos sociétés**. Dans un contexte de transition **énergétique vers un modèle à plus faible contenu carbone**, l'innovation doit apporter des réponses à ces défis en **parallèle de l'évolution des comportements**. Le vecteur biométhane constitue une **énergie prometteuse alliant les performances énergétiques et environnementales du gaz naturel et d'efficacité énergétique des usages**, avec le caractère durable des énergies renouvelables.

La production de biométhane injectable dans le réseau est d'ores et déjà une **réalité technique et économique** avec la filière méthanisation constituée d'une étape de digestion anaérobie de déchets organiques (déchets municipaux, boues de STEU, déchets agricoles,...) permettant la production d'un biogaz suivie d'une étape d'épuration du biométhane afin d'atteindre les spécifications énergétiques du gaz naturel et d'être injecté dans le réseau. Cette dernière étape est en 2012 une réalité réglementaire avec la publication au journal officiel des **arrêtés autorisant l'injection de biométhane dans les réseaux de gaz**.

Une fois injecté, le biométhane peut être utilisé pour tous les usages domestiques du gaz (chauffage, cuisson, eau chaude sanitaire), collectifs (chauffage, réseaux de chaleur), tertiaires et industriels (chaleur, vapeur). Il est aussi directement utilisable dans les véhicules fonctionnant au carburant gaz naturel (bus, bennes à ordures ménagères, camions de livraison, véhicules légers des collectivités ou des entreprises, tracteurs) mais **également comme matière première pour produire de l'électricité verte, souvent combinée avec une production de chaleur par cogénération**.

Quelque soit le mode de production (méthanisation de déchets, 2^{ème} ou 3^{ème} génération), le biométhane ne requiert aucune adaptation des usages traditionnels du gaz et peut être utilisé en toute sécurité, sans adaptations ni investissements supplémentaires **comme cela est le cas pour d'autres combustibles (E85, biodiesel B30,...)**.



Sur la base des bénéfices environnementaux constatés au travers du déploiement industriel de la méthanisation **organique, les acteurs du domaine souhaitent aujourd'hui étendre ce potentiel technique** via des procédés innovants permettant de valoriser de nouvelles ressources de biomasse. Parmi ces filières dites de nouvelle génération on note : la filière de 2^{ème} génération qui cible les biomasses lignocellulosiques (type bois, pailles,...) **actuellement en développement à l'échelle pilote** ainsi que les filières de 3^{ème} génération qui ambitionnent à

plus long terme la production de biométhane en produisant directement leurs propres ressources en biomasse sur site.

Bien que ces nouvelles générations constituent des sauts technologiques majeurs, leur intégration dans la sphère applicative du biométhane pourra se réaliser de manière complémentaire et transparente pour **l'utilisateur final. Les nouvelles générations seront appelées à se développer** et à cumuler leur potentiel en complément de la méthanisation de déchets qui poursuivra son développement avec ses bénéfices **environnementaux significatifs. La détermination de leur potentiel technique représente aujourd'hui un enjeu** majeur pour les opérateurs de réseau ainsi que pour les énergéticiens afin de préparer la transition énergétique et les investissements à venir.

GrDF est en charge de la construction, de l'entretien et de l'exploitation du réseau français de distribution de gaz naturel, pour le compte des collectivités locales, et est à ce titre impliqué, avec les professionnels du biométhane, dans la co-construction de cette nouvelle filière.

Le potentiel de production de biogaz de déchets a été évalué par une précédente étude menée par l'AFGNV et l'ADEME. GrDF souhaite désormais quantifier, à l'horizon 2020 à 2050, le potentiel de production et d'injection de biométhane de 2^{ème} et de 3^{ème} génération. **La présente étude constitue l'un des deux volets de ce travail et porte sur l'évaluation du potentiel technique de production du biométhane de 3^{ème} génération.**

1. INTRODUCTION

1.1. Aspects techniques des microalgues

Les microalgues, végétaux aquatiques unicellulaires microscopiques, **constituent la base alimentaire de la vie marine et sont à l'origine de plus de la moitié de la production d'oxygène atmosphérique.**

Actuellement, plus de 30 000 espèces de microalgues sont répertoriées dans les bases scientifiques internationales, il en existerait entre 200 000 et plusieurs millions, ce qui constitue un réel potentiel pour la recherche et l'industrie.

1.1.1. Historique des cultures de microalgues

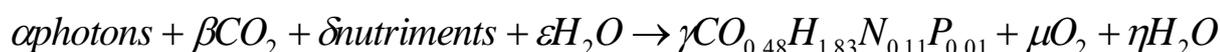
La première culture de microalgues a été réalisée en 1890 par Beijerinck avec *Chlorella vulgaris* (1). Puis, au début des années 1900, Warburg a utilisé ces cultures pour étudier la physiologie de ces microorganismes. La culture en masse de microalgues a réellement débuté lorsque, pendant la Seconde Guerre Mondiale et face à **une pénurie d'huile végétale, les allemands ont construits** des bassins de culture pour subvenir à leurs besoins (2). La recherche sur la culture en masse de microalgues a ensuite commencé en 1948 à Essen (Allemagne), à Stanford (Etats-Unis) et à Tokyo (Japon).

Les premières installations commerciales ont vu le jour dans les années 60 au Japon avec la culture de *Chlorella* suivi par la culture de *Spirulina* au lac Texcoco au Mexique au début des années 70. En 1986, la production de *Dunaliella salina* comme source de β -carotène est devenue la troisième production mondiale de microalgues lorsque Western Biotechnology Ltd et Betatene Ltd se sont développés en Australie.

Plus récemment, les microalgues présentent un intérêt de plus en plus marqué pour la production de produits à forte et moyenne valeur ajoutée (omégas, vitamines, composés chimiques, ingrédients alimentaires, ...) **mais** également pour la production de biocarburants, le captage du CO₂ et la dépollution des eaux.

1.1.2. Composition et croissance des microalgues

Les microalgues sont des microorganismes photosynthétiques qui assurent leur croissance en transformant **l'énergie solaire en énergie chimique en présence d'éléments inorganiques (dioxyde de carbone, azote, phosphore, potassium,...), d'eau et d'énergie lumineuse** selon la réaction suivante :



Le carbone inorganique et l'eau vont être transformés en biomasse algale par l'intermédiaire de cette réaction.

La biomasse microalgale est constituée, comme pour l'ensemble des organismes vivants, de **trois** éléments majeurs : les protéines, les lipides et les carbohydrates (ou glucides). Les proportions moyennes de ces éléments sont répertoriées dans le Tableau 1 ainsi que leurs pouvoir calorifique (3). Ils dépendent fortement de **l'espèce considérée et des conditions environnementales.**

Tableau 1 : Composition des microalgues

	Proportion en %	Pouvoir calorifique en MJ.kg⁻¹
Protéines	6-52	15,5
Lipides	7-23	38,3
Carbohydrates	5-23	13
Ratio C : N : P	106 :16 :1	

Les microalgues sont des organismes autotrophes², elles ont besoin d'éléments inorganiques pour assurer leur croissance. L'équation générale de la biomasse algale, $CO_{0,48}H_{1,83}N_{0,11}P_{0,01}(6)$, permet d'estimer la quantité de nutriments nécessaires à leur croissance :

- ✓ Le carbone : fournit sous forme de dioxyde de carbone. **Besoin : 1,83 kg pour 1 kg de biomasse algale en masse sèche.**
- ✓ L'azote : fournit sous forme de nitrate, d'ammoniac ou d'urée. **Besoin : 0,07 kg pour 1 kg de biomasse algale en masse sèche.**
- ✓ Le phosphore : fournit sous forme de phosphate. **Besoin : 0,01 kg pour 1 kg de biomasse algale en masse sèche.**

D'autres nutriments sont indispensables à l'état de trace : fer, magnésium, manganèse, nickel, zinc, molybdène, cobalt, bore, vanadium, cuivre. Néanmoins, si leurs concentrations sont trop importantes, ces éléments peuvent être toxiques pour la culture.

Les besoins en nutriments peuvent varier en fonction des espèces de microalgues. Toutefois, les nutriments doivent être apportés en continu afin d'optimiser la croissance des microalgues.

Par exemple, les microalgues peuvent utiliser les nitrates et les phosphates présents dans les eaux usées comme nutriments en faisant ainsi baisser les taux de ces deux éléments dans l'eau. Elles auraient également la capacité de capter certains métaux lourds.

1.1.3. Les technologies de production de microalgues

La croissance des microalgues se fait naturellement dans leur milieu naturel. Elles puisent pour cela l'énergie du soleil et le CO_2 de l'atmosphère. Néanmoins, cette croissance est lente et ne permet d'envisager une culture de microalgues à échelle industrielle. Afin d'intensifier et de contrôler la croissance de ces microorganismes, deux systèmes de culture sont utilisés : les ponds (systèmes ouverts) et les photobioréacteurs (systèmes fermés) dont les caractéristiques principales sont exposées dans le Tableau 2.

² Autotrophie : Capacité d'un organisme vivant à synthétiser de la matière organique à partir d'éléments minéraux par la photosynthèse. A l'inverse, les organismes hétérotrophes doivent se nourrir de constituants organiques préexistants pour synthétiser leurs propres constituants organiques.

Tableau 2 : Comparaison des deux systèmes de production de microalgues

<p>TECHNOLOGIE</p>	 <p>Pond</p>	 <p>Photobioréacteur</p>
<p>PRINCIPE</p>	<p>Les ponds sont des grands bassins ouverts, la majorité étant du type « champ de course ». La circulation et l'aération de la culture s'effectuent mécaniquement.</p>	<p>Les photobioréacteurs sont des systèmes clos où les conditions de mélange et de transfert de matière sont optimisées.</p>
<p>CONCENTRATION EN BIOMASSE ALGALE (24)</p>	<p>0,1 – 0,5 g MS³.L⁻¹</p>	<p>2 – 8 g MS.L⁻¹</p>
<p>RENDEMENTS SURFACIQUES MOYENS⁴</p>	<p>10 – 50 T/ha/an</p>	<p>30 – 150 T/ha/an</p>
<p>COÛTS</p>	<p>10 - 40 €/m²</p>	<p>100 - 300 €/m²</p>
<p>AVANTAGES</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Facile à construire et à exploiter ➤ Faible coût ➤ Système adapté à la production de masse de microalgues ➤ Faible consommation d'énergie 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Productivité surfacique élevée ➤ Meilleur contrôle des conditions de culture ➤ Optimisation des transferts de matière et de lumière
<p>INCONVENIENTS</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Risque élevé de contamination ➤ Faible productivité surfacique ➤ Peu d'optimisation des transferts de matière ➤ Évaporation 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Coût élevé ➤ Accumulation d'O₂ dans le réacteur ➤ Régulation de la température nécessaire ➤ Consommation d'énergie généralement élevée

3 MS = Matière Sèche.

4 Moyenne prise sur les publications (4)(2), sur dires d'experts et sur les résultats des projets collaboratifs (ANR – BIOSOLIS).

OBJECTIFS DE DEVELOPPEMENT	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Besoin de combiner l'extraction de produits à valeur ajoutée avec la valorisation énergétique : concept de bioraffinerie ➤ Sélection d'espèces locales pour éviter de déséquilibrer l'écosystème ➤ Combinaison possible avec les procédés de traitement d'eaux (lagunages) ➤ Optimiser le potentiel de bioremédiation (effluents gazeux et liquides) ➤ Diminution des coûts de production
-----------------------------------	---

Actuellement, ces deux types de technologies sont utilisés à des fins de production de produits à haute valeur ajoutée ; elles ne sont pas adaptées à une production industrielle pour les marchés de masse. En effet, la **viabilité technique et économique n'a pas encore été démontrée pour de tels marchés.**

De nombreux travaux de Recherche et Développement sont actuellement en cours afin d'adapter ces technologies à une production de microalgues adaptés à des marchés de masse tels que la chimie, **l'alimentation animale ou encore l'énergie.** Des exemples de technologies de production de microalgues en systèmes ouverts et fermés sont disponibles en Annexe 2.

La productivité actuelle des systèmes de culture est reprise dans le Tableau 3. Cette productivité a été calculée à partir du rendement photosynthétique obtenu actuellement par les systèmes de production de microalgues (6) (cf. Annexe 2).

Tableau 3 : Productivité actuelle obtenue par les systèmes de production de microalgues

	PONDS	PHOTOBIOREACTEURS
Moyenne productivité actuelle	27 T MS/ha/an	76 T MS/ha/an

1.1.4. Potentialités naturelles et industrielles des microalgues

Ces microorganismes constituent une source de biomasse avec de nombreux avantages par rapport aux autres biomasses. En effet, leur croissance rapide et leur rendement photosynthétique **élevé permettent d'atteindre** une productivité surfacique plus élevée que les végétaux terrestres diminuant ainsi la surface de culture **nécessaire.** L'utilisation des microalgues permet **d'éviter les conflits d'usage sur la ressource primaire de biomasse** car cette filière **n'entre pas en concurrence avec les ressources alimentaires au niveau de l'occupation des sols** (possibilité de se positionner sur des terres non arables ou des sols pauvres). Cette indépendance vis-à-vis de la ressource primaire permet également une implantation des unités de microalgues au plus près de leurs sites de valorisation. Ce caractère diffus des implantations valorise fortement les territoires. De plus, leur capacité de bioremédiation (captage et inactivation des polluants qui sont alors transformés et intégrés aux **molécules biologiques**) des effluents gazeux et liquides permettent d'envisager des synergies entre la production d'énergie et le traitement des effluents.

Les microalgues présentent des potentialités naturelles et industrielles qui en font une biomasse prometteuse pour des applications futures énergétiques et de biorémediation. Ces potentialités sont présentées dans le Tableau 4.

Tableau 4 : Potentialités naturelles et industrielles des microalgues

POTENTIALITES NATURELLES	
Rendement photosynthétique élevé	Le rendement théorique pour la photosynthèse des microalgues se situe dans les mêmes ordres de grandeur que les rendements photosynthétiques des végétaux supérieurs (1) situés entre 6,6 et 13,4 %. Néanmoins, les conditions de croissance des microalgues (en milieu aqueux homogène) peuvent être optimisées plus facilement que celles des végétaux supérieurs notamment pour que le CO ₂ ne soit pas limitant lors de la photosynthèse. Ainsi le rendement photosynthétique global réel des microalgues est plus élevé : avec 1 à 3 % pour les microalgues contre 0,5 % pour les végétaux supérieurs (2).
Croissance rapide	D'une façon générale, les microalgues doublent leur biomasse entre 0,3 et 3 fois par jour. Cette valeur dépend des espèces et des conditions de culture. Ceci permet une récolte complète en quelques jours (en général 25 % de la biomasse est récoltée par jour).
Teneur en lipides importante	En conditions de stress (carence en azote, ...), la production de lipides par les microalgues est augmentée et peut atteindre jusqu'à 80 % en masse sèche selon les espèces.
Biodiversité importante	Il existerait entre 200 000 et plusieurs millions d'espèces ce qui constitue un réel potentiel pour la recherche et l'industrie. En effet, chaque espèce a dû s'adapter à des milieux très divers en termes de température, de nutriments, Ces microorganismes ont colonisé la plupart des biotopes de la planète en s'adaptant aux multiples habitats colonisés. Ceci a conduit à une biodiversité importante.
Croissance dans des conditions extrêmes	Certaines espèces de microalgues ont la capacité de croître dans des conditions extrêmes (eaux salées, fort pH, ...). Une culture dans ces conditions permet d'éviter une contamination par d'autres microorganismes non adaptés à ces milieux extrêmes.
POTENTIALITES INDUSTRIELLES	
Pas de concurrence avec les terres destinées à l'agriculture	L'utilisation des microalgues permet d'éviter les conflits d'usage sur la ressource primaire de biomasse (fermentescible et lignocellulosique) : pas de concurrence directe avec les ressources alimentaires au niveau de l'occupation des sols.
Réduction de la consommation d'eau	Comme la plupart des cultures hors sols en milieu confiné, la culture des microalgues (hors bassins ouverts) permet de recycler la majorité de l'eau injectée dans le procédé et de limiter le recours aux ressources naturelles.
Captage du CO₂ provenant des fumées industrielles	Les microalgues ont une croissance plus importante lorsque le CO ₂ utilisé pour la photosynthèse est en concentration élevée (2 à 15 %). De plus, elles pourraient également capter les oxydes d'azote et le dioxyde de soufre à la limite de certaines concentrations.
Utilisation des nutriments issus d'eaux	Les microalgues sont d'ores et déjà utilisées dans le traitement des eaux usées. Elles peuvent utiliser les nutriments (phosphates et nitrates) présents dans les

usées

eaux usées pour leur croissance et auraient également la capacité de capter et concentrer les métaux lourds dans certaines gammes de concentrations. **Néanmoins, ces effluents liquides peuvent contenir d'autres composés tels que du soufre, des métaux lourds, des molécules organiques, ... dont l'effet n'est pas ou peu connu sur les microalgues. Des études sur les effluents liquides considérés ou avec les molécules dont l'effet n'est pas encore connu peuvent s'avérer nécessaire afin d'estimer le potentiel de bioremédiation des microalgues et/ou la non-toxicité de ces effluents sur la culture.** Les espèces couramment étudiées pour le traitement des eaux usées sont : *Chlorella* sp., *Scenedesmus* sp. et *Spirulina* sp.

De par leur besoin en nutriments pour leur croissance, les microalgues ont la capacité de capter le dioxyde de carbone (et éventuellement les NOx et les SOx) dans les fumées industrielles et les nitrates et les phosphates dans les effluents liquides. Néanmoins, malgré un fort intérêt pour ces deux potentiels de bioremédiation, **l'association des deux a été très peu étudiée jusqu'à aujourd'hui. Ainsi, l'effet cumulé d'effluents industriels et d'eaux usées sur la croissance et la productivité des microalgues est très peu connu.** Des efforts de recherche sont nécessaires afin d'étudier ce potentiel sur des effluents industriels réels.

1.1.5. Applications actuelles des microalgues et marchés potentiels

La diversité des espèces de microalgues et leur richesse en métabolites permet d'envisager une large gamme d'applications possibles. Les applications actuelles des microalgues concernent la production de produits à haute valeur ajoutés pour des applications cosmétiques, compléments alimentaires, Les marchés potentiels des microalgues font appel à des gros volumes de production et ainsi à une rentabilité économique du système de production non démontrée à ce jour. **Ces marchés concernent l'alimentation animale et humaine, la chimie mais également la production d'énergie et les services à l'environnement à plus long terme.**

La figure suivante met en évidence les marchés actuels et potentiels des microalgues avec les volumes associés.

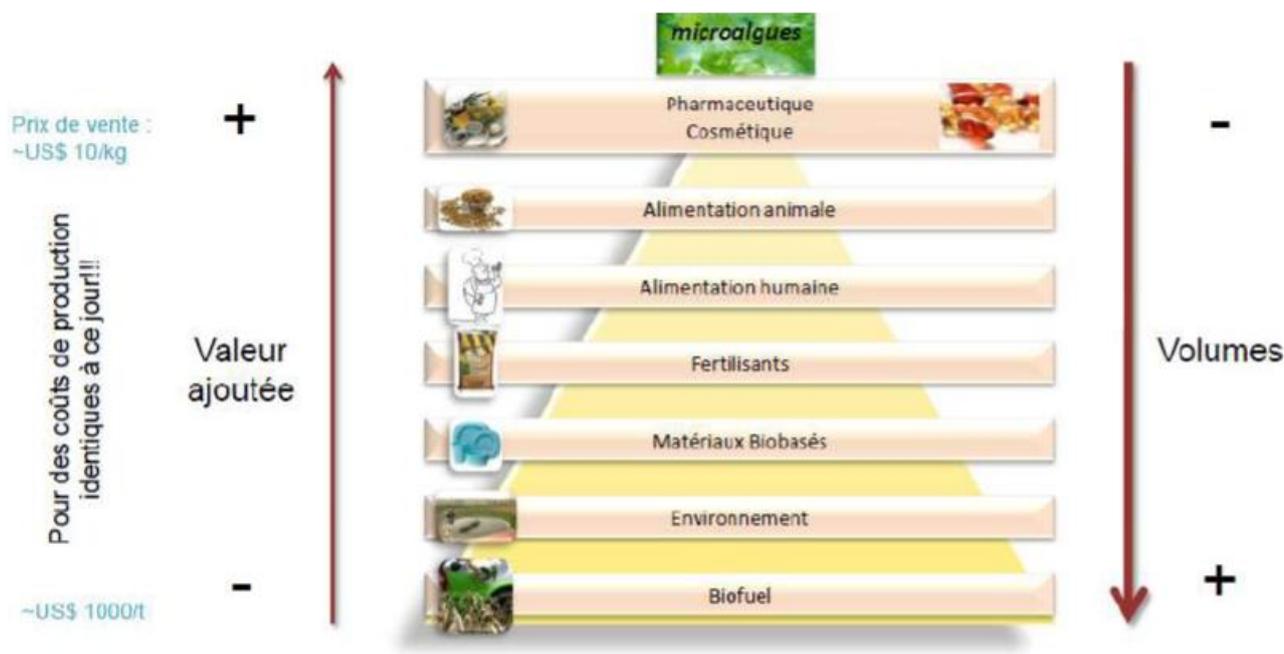


Figure 4 : Applications et marchés potentiels des microalgues (8)

1.1.6. Les acteurs de la filière

Comme précisé précédemment, la filière microalgues n'est pas mature pour la production d'énergie ou la bioremédiation d'effluents. La maîtrise technique à échelle industrielle n'est pas assurée, certains verrous techniques nécessitent d'être levés par de la R&D et la viabilité économique d'un tel projet n'est pas encore démontrée.

Néanmoins, de nombreux travaux de recherche et développement et de nombreuses entreprises cherchent à adapter ce système de production pour une valorisation énergétique et/ou bioremédiation des effluents. A ce titre, l'Institut GREENSTARS, lauréat de l'Appel à Projet Investissement d'Avenir « Instituts d'Excellence sur les Énergies Décarbonées », a pour objectif premier de développer à l'horizon 2020 des composés d'intérêt dont notamment des biocarburants et des molécules à haute valeur ajoutée à partir de microalgues en utilisant les émissions de CO₂ et les substances issues des rejets des activités humaines. Ce projet regroupe 45 partenaires français (organismes de recherche publique, entreprises, collectivités territoriales, pôles de compétitivité) (3). De même, le projet européen BIOFAT(4) (BIOfuel From Algae Technologies) est un projet de démonstration de production de biocarburant (biodiesel et bioéthanol) et de bioproduits à partir de microalgues sur un hectare dans un premier temps puis sur 10 hectares avec un objectif de production de 900 t de microalgues sur cette surface. Ce projet est financé par le 7^e programme-cadre de la Commission Européenne et compte 9 partenaires pour un budget de 10 millions d'euros.

La Figure 5 présente les différents laboratoires de recherche ainsi que les entreprises intervenant dans les filières microalgues et macro-algues en France. Les entreprises de microalgues existantes en France sont exclusivement destinées à la production de produits à haute valeur ajoutée à partir de microalgues ou bien sont des start-up n'ayant aucune installation industrielle actuellement.

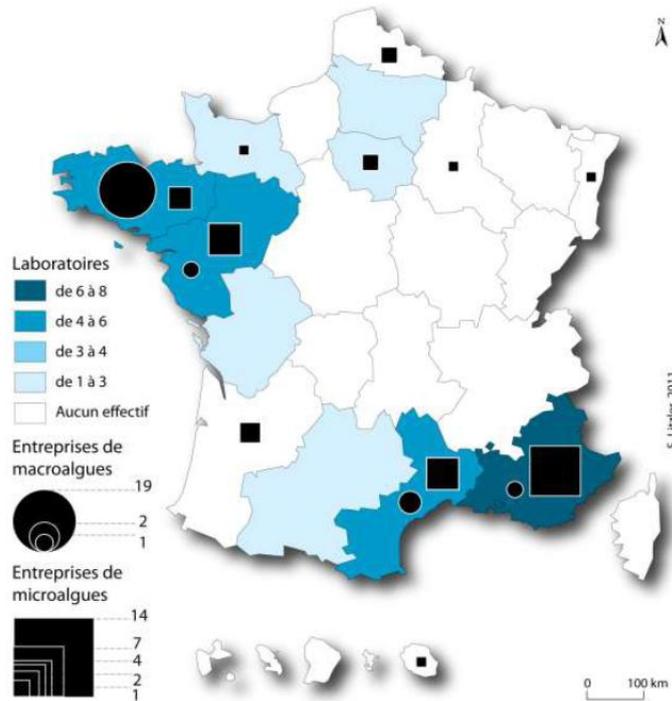


Figure 5 : Les laboratoires de recherche et les entreprises de microalgues et de macro-algues en France en 2011 (5)

1.1.7. Valorisation énergétique des microalgues : biocarburants de 3^e génération

Les microalgues sont définies comme les biocarburants de 3^e génération (cf. glossaire : La biomasse utilisée pour les carburants de 3^e génération est issue des algues : « microalgues et également macroalgues en condition autotrophe (capacité à synthétiser de la matière organique à partir de la matière minérale) »).

Les différentes voies de valorisation énergétique à partir de microalgues ainsi que les intrants nécessaires sont présentées sur la

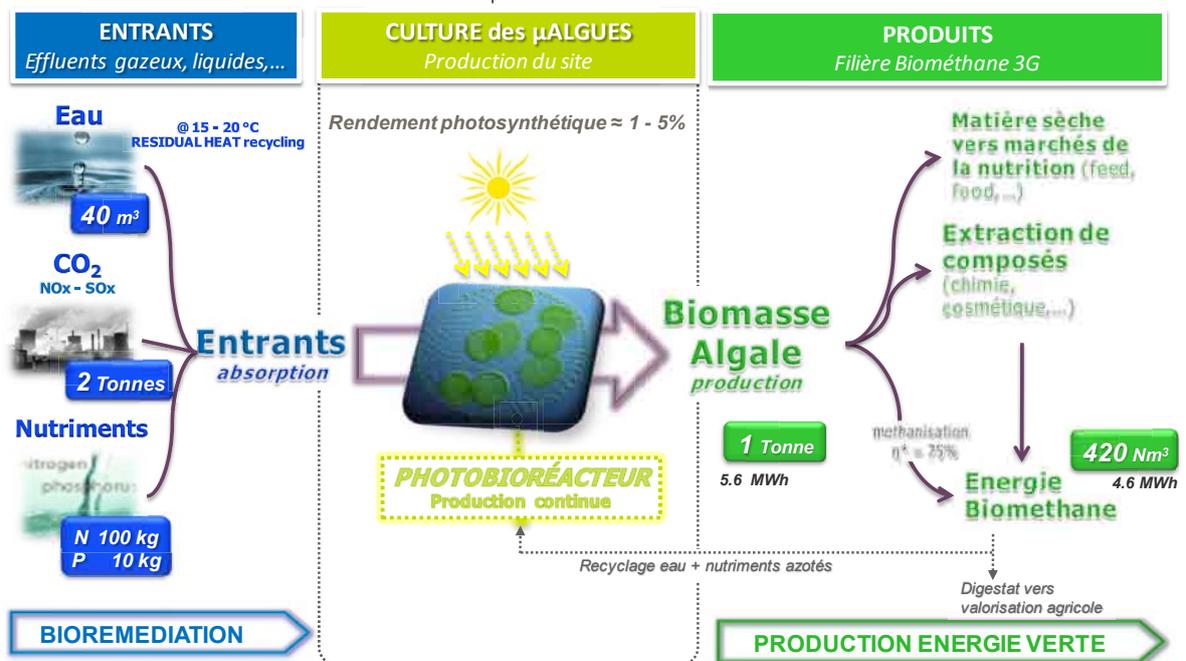


Figure 6.

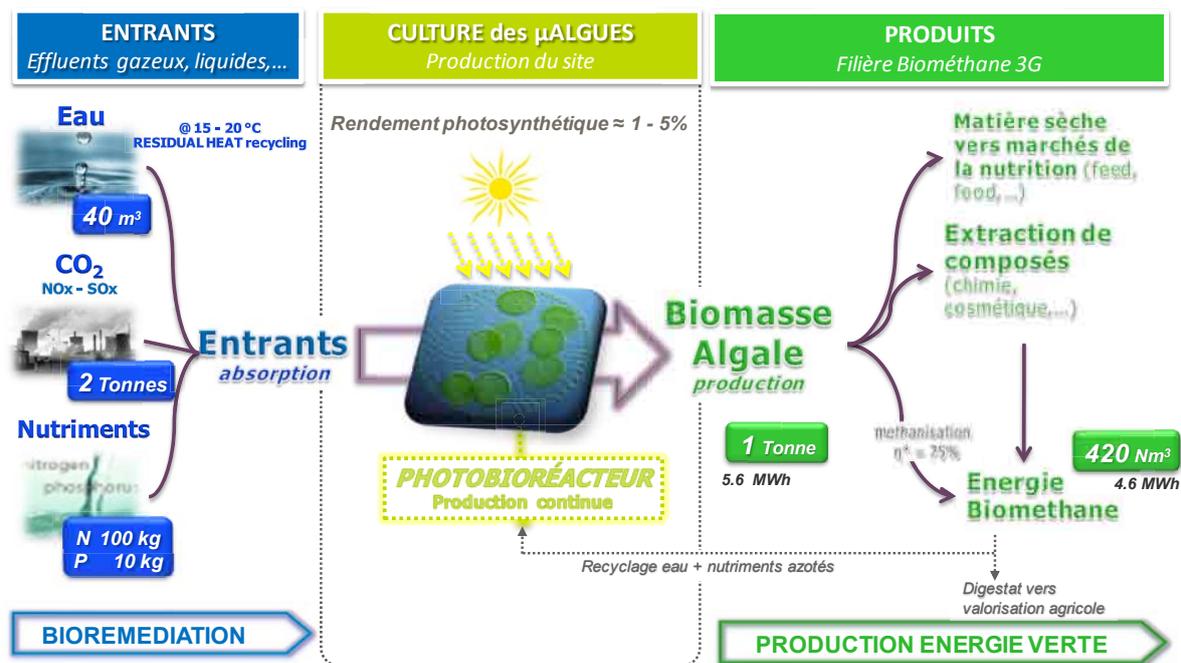


Figure 6 : Valorisation énergétique des microalgues

1.1.7.1. Production de biodiesel par extraction des huiles puis trans-estérification

Les microalgues, par leur contenu important en lipides (jusqu'à 80 % en masse sèche dans des conditions de stress physiologique (4)), permettent de produire du biodiesel.

L'extraction des huiles dans la biomasse microalgale peut se faire par 3 procédés principaux :

- ✓ **Presse** : Une presse à huile va permettre d'extraire les lipides contenus dans les microalgues. Ce procédé est simple mais a un rendement faible en comparaison des autres procédés : de l'ordre de 70-75 %. Il peut cependant être utilisé comme étape préliminaire avant une extraction avec un solvant afin d'assurer une meilleure imprégnation du solvant.
- ✓ **Extraction avec un solvant** : Les lipides sont solubles dans les solvants organiques et peuvent être extraits à l'aide d'un solvant apolaire type hexane. Le rendement de cette étape est de 95 %. Les triglycérides seront ensuite récupérés par distillation. Les lipides sont composés en moyenne de 65 % de triglycérides.
- ✓ **Extraction avec un fluide supercritique (CO₂)** : Sous certaines conditions de température et de pression, le CO₂ va avoir des propriétés physiques intermédiaires entre celles d'un gaz et celles d'un liquide. Le CO₂ supercritique va agir comme un solvant sur la biomasse pour extraire les huiles. Le rendement obtenu est proche de 100 %.

D'autres méthodes d'extraction de l'huile existent mais sont peu utilisées tels l'extraction enzymatique et le choc osmotique.

Les triglycérides extraits vont ensuite subir une réaction de trans-estérification afin de produire du biodiesel (ester méthylique) et du glycérol selon la réaction de la Figure 7. Le rendement de cette réaction est de 98 %. Cette étape de trans-estérification de l'huile microalgale est semblable à celle qui permet la transformation de l'huile de palme en biodiesel.

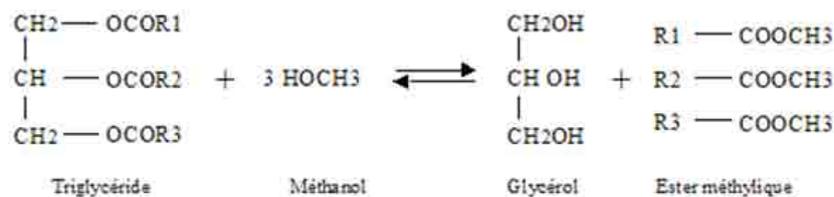


Figure 7 : Réaction de trans-estérification (26)

1.1.7.2. Production de BioBrut par liquéfaction hydrothermale

La liquéfaction hydrothermale permet la transformation d'une biomasse humide voire très humide, comme les microalgues, en une huile ayant des caractéristiques intéressantes pour un usage comme combustible ou carburant. Cette réaction se fait à haute température (250 – 350 °C) et sous forte pression (100 – 200 bars). Des catalyseurs homogènes ou hétérogènes (sels, métaux) peuvent être ajoutés pour orienter ou accélérer le processus de liquéfaction de la biomasse.

La possibilité de fonctionner directement sur milieu humide est en effet particulièrement intéressante pour cette bioressource afin d'éviter toute opération de séchage coûteuse en énergie. Un effet important de recherche reste cependant à fournir, notamment pour optimiser la production de biohuile, évaluer l'impact de la nature de l'algue sur la composition de l'huile obtenue et optimiser la composition de la biohuile pour un usage carburant.

1.1.7.3. Production de biométhane par digestion anaérobie

La méthanisation est un processus naturel correspondant à une dégradation de la matière biodégradable en **absence d'air (transformation anaérobie)**. C'est un procédé semi-contrôlé, dans lequel les bactéries vont transformer la biomasse en méthane et en dioxyde de carbone. Cette digestion est constituée de différentes étapes (hydrolyse et acidification, acétogénèse et méthanogénèse).

La méthanisation est aujourd'hui un procédé mature à l'échelle industrielle et disponible commercialement. Les deux produits de cette transformation sont :

- le biogaz : **mélange gazeux saturé en eau et composé d'environ 30% à 70% de CH₄** et 20% à 40% de CO₂ et de quelques gaz traces (NH₃, N₂, H₂S) ;
- le digestat : produit liquide ou pâteux riche en matière organique qui peut être valorisé en tant que fertilisant.

Avant de pouvoir être valorisé, le biogaz doit subir des traitements afin d'éliminer les polluants nocifs aux fonctionnements des installations en aval (7)⁵. Le niveau de traitement dépend du type de valorisation, il sera en général moins poussé (désulfuration, déshydratation) pour la production de chaleur et / ou d'électricité.

Les premières études sur la digestion anaérobie des microalgues à des fins énergétiques ont été faites sur des espèces de microalgues prélevées des bassins ouverts pour le traitement des eaux (14). Les études montrent que la digestion de la biomasse microalgale s'opère en des temps de rétention compris entre 10 et 40 jours avec une production de méthane comprise entre 0,1 et 0,4 L/g_{VSS} (15).

⁵ Poussières, eau (H₂O), sulfure d'hydrogène (H₂S), ammoniac (NH₃), siloxanes (R₂SiO), composés halogénés, dioxyde de carbone (CO₂).

Une approche prometteuse est d'utiliser des espèces à croissance rapide de manière à avoir une biomasse suffisante. Mais il est à noter que la quantité de biogaz produit est dépendante des espèces utilisées et peut facilement varier du simple au double.

La production de biométhane à partir d'une culture de microalgues avec les deux technologies de culture est représentée dans le Tableau 5 et est comparée à la production de biométhane associé à d'autres biomasse conventionnelles.

Tableau 5 : Production de biométhane à partir des microalgues et d'autres biomasses conventionnelles

TYPE DE BIOMASSE	PRODUCTIVITE (T MS/HA/AN)	PRODUCTION BIOMETHANE (M ³ /T MS)	PRODUCTIVITE BIOMETHANE (M ³ /HA/AN)	PRODUCTION D'ENERGIE ASSOCIEE (MWH/HA/AN)
Microalgues - ponds	27	242	6 520	65
Microalgues - photobioréacteurs	76	242	18 392	184
Maïs	9 - 30	205 - 450	1 660 – 12 150	17 - 122
Blé	3,6 – 11,75	384 - 426	1 244 – 4 505	12 – 45
Sorghum	8 – 25	295 - 372	2 124 – 8 370	21 – 84
Miscanthus	8 - 25	179 - 218	1 289 – 4 905	13 - 49

1.1.7.4. Production de bioéthanol par fermentation

La fermentation de la biomasse microalgale permet d'obtenir de l'éthanol comme le montre la Figure 8. Le principe est le même que pour la fermentation des sucres issus des plantes sucrières. Dans un premier temps, les carbohydrates contenus dans les cellules doivent être extraits par une enzyme ou à l'aide d'un procédé mécanique. Puis des levures sont ajoutées afin de procéder à la fermentation. L'éthanol sera ensuite récupéré.



Figure 8 : Fermentation de la biomasse microalgale

1.2. L'intégration de la filière de production de biométhane de 3^e génération

Dans la présente étude, la production de biogaz par les microalgues par un procédé de méthanisation, puis de biométhane après mise aux spécifications, a été regardée dans le détail. Parmi les voies de valorisation énergétiques des microalgues, la digestion anaérobie est la plus mature actuellement et ne nécessite aucune levée de verrous technologiques. **De plus, elle s'intègre parfaitement dans l'ensemble de la chaîne de valorisation des microalgues comme le montre la Figure 9 :**



DEUX MODES D'INTÉGRATION DE L'UNITÉ DE MÉTHANISATION DANS LA FILIÈRE DE PRODUCTION DES MICROALGUES :

1 Valorisation énergétique directe des microalgues. Une partie de la biomasse microalgale est destinée à la production de feed, food, Et l'autre partie de cette biomasse est valorisée en énergie par le procédé de méthanisation. La part réservée à la méthanisation dépend de la qualité de la biomasse microalgale obtenue et répond également aux besoins de production.

OU

2 Valorisation énergétique du reliquat après extraction des composés d'intérêt à partir des microalgues. La valorisation de la biomasse microalgale en produits à haute valeur ajoutée à court terme et en biocarburant liquide à long terme nécessite une étape d'extraction de composés d'intérêt. Le résidu résultant de ce procédé possède une valeur énergétique non négligeable pouvant être valorisé. La digestion anaérobie constitue une solution d'utilisation de ces résidus très performante.

Figure 9 : Filière microalgues : de la biorémédiation à la multivalorisation

En fonction du lieu d'implantation de l'unité de microalgues (cluster industriel, exploitation agricole, ...), diverses utilisations peuvent s'intégrer autour de la culture de microalgues et de la méthanisation. Ainsi, certains composés présents dans les effluents liquides et gazeux et problématiques pour les industriels, CO₂, NO_x, N, P, ...) pourraient être capter par les microalgues. Les déchets et effluents organiques peuvent être co-digérer avec les microalgues.

Le digestat résultant de la méthanisation peut également être valorisé en fertilisant ou thermiquement dans des secteurs particuliers tel que l'incinération.

2. APPROCHE METHODOLOGIQUE DE L'ETUDE

Il existe deux approches généralement utilisées dans les études de potentiel sur l'utilisation des technologies microalgues à des fins énergétiques :

- 1) La première approche consiste à dimensionner les besoins en ressources (CO₂, eau et nutriments) ainsi qu'en surface pour atteindre un objectif de production d'énergie visé (11). Cette approche s'affranchit totalement de la réalité du terrain est la moins fiable.
- 2) La seconde approche consiste à estimer la production d'énergie possible à partir de l'ensemble des surfaces accessibles et disponibles pour y accueillir des réacteurs de production tout en prenant en compte des contraintes sur le climat ou encore la proximité avec une source d'eau (8)(9)(10). Cette approche est la plus fiable car elle prend en compte la réalité du terrain avec l'accès à des surfaces libres, la présence concomitante d'eau et d'utilités (CO₂,...) à proximité du lieu de production,... mais elle nécessite une étude systématique et détaillée à la maille territoriale afin d'être pertinente. C'est cette approche qui a été retenue dans le cadre de cette étude

Compte tenu de la faible maturité des technologies de 3^{ème} génération pour la production d'énergie, il n'est pour l'instant pas envisageable d'intégrer un critère d'appréciation économique dans l'analyse de potentiel. Seuls les critères techniques ont été retenus mais un premier tri a été effectué en prenant en compte une appréciation sur le plan d'affaire envisagé pour l'application de la brique technologique microalgues à chaque secteur économique étudié.

La littérature et les données internes GDF SUEZ démontrent que la production de coproduits et la synergie avec le traitement d'effluents liquides et gazeux (concept de bioraffinerie) est indispensable afin que le modèle d'affaire atteigne la rentabilité (12)(9). Enfin, les contraintes mises en évidence pour la production de microalgues à échelle industrielle sont les disponibilités en eau, CO₂, nutriments et la surface mobilisable pour y implanter des unités de culture.

Les études de potentiel portant sur la production d'énergie à partir des microalgues disponibles dans la littérature traitent en très grande majorité de l'application biodiesel via l'extraction d'huile algale. Aucune étude, à notre connaissance et à ce jour, n'est encore disponible sur le potentiel de production de biométhane à partir de microalgues.

Ainsi, au regard des limites identifiées dans la littérature, l'approche utilisée pour cette étude de potentiel de biométhane 3G consiste à utiliser les effluents liquides et gazeux des industries/collectivités/exploitations agricoles comme nutriments pour la production de microalgues ; biomasse qui permettra ensuite de produire du biométhane. Les fermes de microalgues seront donc implantées nécessairement à proximité de ces sites afin de disposer de l'ensemble des utilités nécessaire à un coût compétitif tout en proposant un bilan environnemental optimal (utilisation de CO₂ fossile relargué, recyclage d'eaux usées, biorémédiation d'intrants, réutilisation de flux de chaleur fatale à basse température,...). L'évaluation des besoins de ces industries/exploitations en termes de dépollution des eaux et des effluents gazeux ainsi que le contexte réglementaire auquel elles sont soumises est nécessaire afin d'apprécier le potentiel d'implantation d'installations de culture de microalgues autour de ces filières industrielles.

La méthodologie utilisée pour cette étude de potentiel de biométhane 3G est résumée sur la Figure 10 et comprend trois parties :

- **Partie 1** : Identification des secteurs économiques potentiellement responsables de la production de biométhane 3G à l'horizon 2020 et 2030. Identification des premiers marchés directeurs et des marchés secondaires.

- **Partie 2** : Caractérisation des scénarios technologiques et des hypothèses techniques
- **Partie 3** : Agrégation et analyse de sensibilité sur le potentiel de production de biométhane 3G

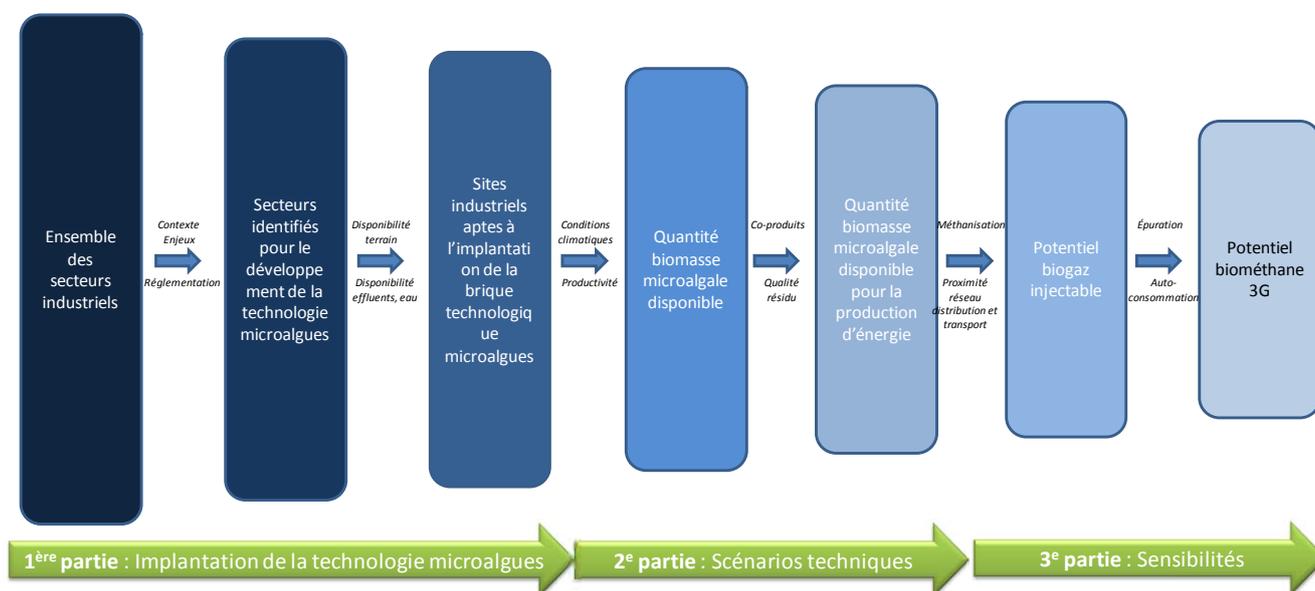


Figure 10 : Schéma récapitulatif de la méthodologie employée pour l'estimation du potentiel biométhane 3G

2.1. Partie 1 : Cadrage du périmètre de l'étude et identification des secteurs économiques potentiellement responsables de la production de biométhane 3G

Cette partie de l'étude a pour objectif de définir le périmètre de l'étude en termes de secteurs de l'économie où les technologies de 3^e génération pourraient potentiellement se développer à moyen et long terme (2020 – 2050) et par corollaire développer la production de biométhane de 3^e génération.

L'ensemble des secteurs industriels/collectivités/exploitations (cf. Figure 11) pouvant être concernés ont été recensés afin d'étudier le contexte lié à leur secteur d'activité ainsi que leurs besoins et/ou futurs besoins en termes de produits et services à valeur ajoutée que pourrait apporter la brique technologique microalgues (matières premières, produits à très haute valeur ajoutée, énergies alternatives, solution de traitement d'effluents, production d'énergie renouvelable,...).

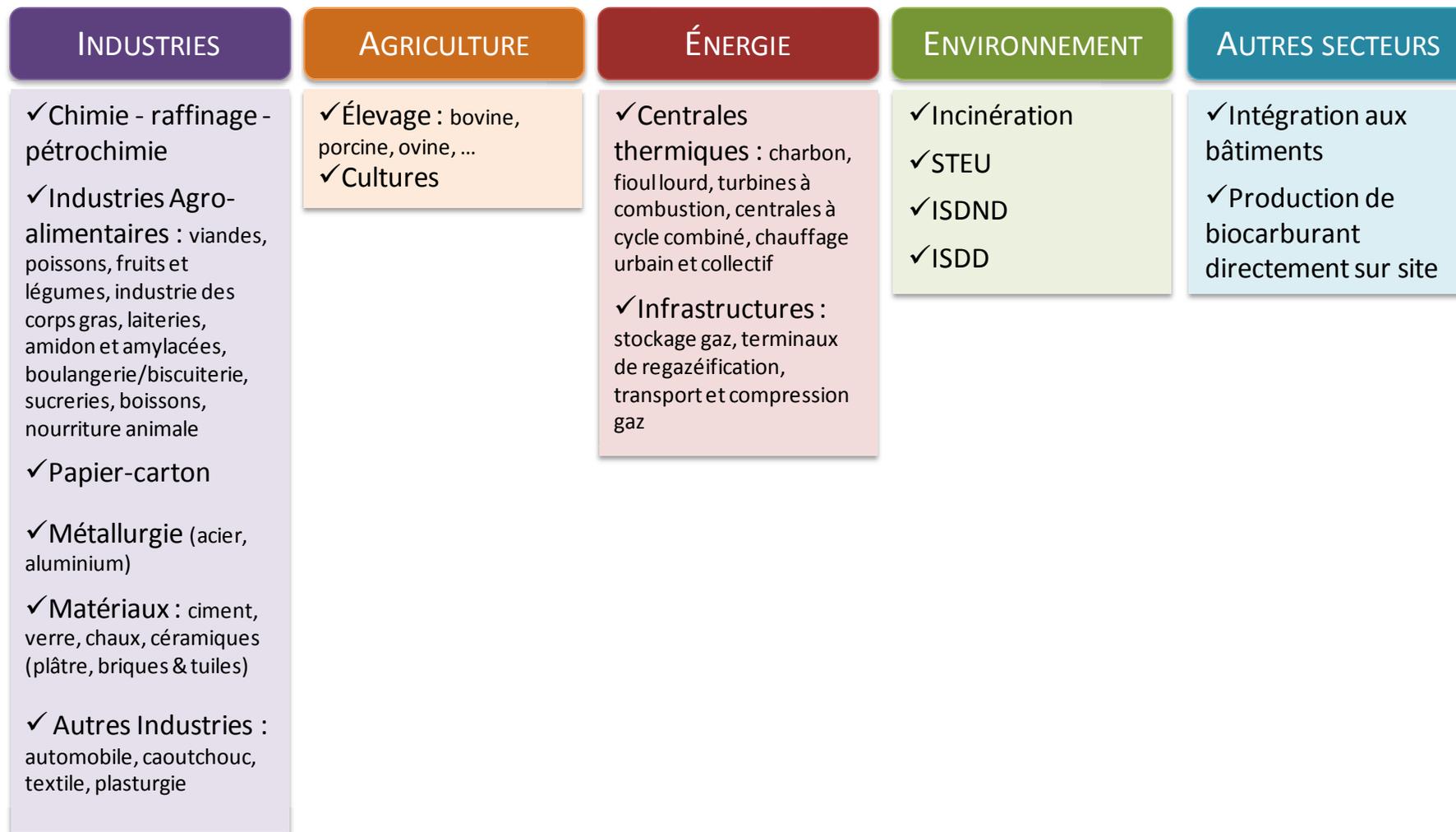


Figure 11 : Ensemble des secteurs couverts dans l'étude de potentiel Biométhane 3G

Des fiches sectorielles ont été élaborées pour chacun des secteurs recensés. Les microalgues sont encore au stade de la R&D pour la production d'énergie mais existent déjà à l'échelle industrielle pour certains marchés de la haute valeur ajoutée. La co-production d'énergie et de matières algales à haute valeur ajoutée constitue aujourd'hui l'hypothèse la plus crédible pour l'émergence de la filière biométhane 3G mais ne peut être appliquée à tous les secteurs de l'économie. Chaque fiche présente une vision de l'applicabilité de la brique technologique microalgue et des bénéfices potentiels apportés. Enfin une évaluation de la pertinence technico-économique est proposée afin de classer les différents secteurs en fonction de l'horizon d'émergence des microalgues sur ce secteur économique.

Les fiches permettent d'étudier le potentiel d'implantation théorique, correspondant aux contextes, enjeux et réglementations inhérents à leur secteur ainsi que le potentiel technique, correspondant à la disponibilité en effluents liquides et gazeux et en surface (cf. Annexe 3).

Analyse du contexte et des facteurs de déploiement industriel

La gestion des effluents liquides et gazeux et la réglementation actuelle ou à venir sur ces effluents contraignent fortement certains secteurs industriels qui doivent ou devront adapter leurs systèmes de post-traitement. Les microalgues, par leur capacité de bioremédiation, pourraient constituer une solution de gestion de ces effluents en fonction de leur nature et de leur quantité.

Certains industriels devront également respecter certaines réglementations propres à leur secteur d'activité. Par exemple, le secteur de la chimie Française devra intégrer 15 % de matières renouvelables dans ses produits finis d'ici 2017 et 50 % d'ici 2050 afin de répondre aux objectifs du Grenelle de l'Environnement.

La tendance du secteur étudié sur le marché français est également un indicateur essentiel pour le potentiel de déploiement des microalgues. En effet, un secteur de l'économie subissant une décroissance en valeur ou en volume de son marché directeur sur le périmètre français n'est pas propice à des investissements sur les nouvelles technologies.

Détermination du potentiel technique

Les quantités et/ou concentrations des différents composés dans les effluents liquides et gazeux ont été recensées dans les différents secteurs étudiés. Ces données permettent :

- De vérifier si les nutriments nécessaires à la croissance des microalgues sont disponibles (CO₂, N, P, ...) et en quelle quantité,
- D'estimer si des composés potentiellement toxiques pour les microalgues sont présents dans les effluents.

Ces données proviennent d'études internes, de contacts industriels ou des rapports BREF de l'INERIS.

La surface disponible a été calculée pour chacun des secteurs en choisissant 10 sites industriels représentatifs du secteur (milieu urbain et milieu rural/sites de production de différentes tailles) et en estimant la surface disponible à proximité en utilisant l'outil cartographique Géoportail.

Cette méthodologie ne pouvant pas être appliquée au secteur agricole et de l'élevage, une autre approche a été considérée. En effet, afin de ne pas entrer en compétition avec les cultures alimentaires, la surface disponible pour l'implantation des microalgues correspond au territoire agricole non cultivé.

De plus, afin d'être cohérent avec l'intégration de l'ensemble des filières énergétiques biométhane :

- les microalgues sont cultivées sur des terres non arables ou non occupées par des cultures alimentaires⁶
- la biomasse lignocellulosique peut être cultivée sur des terres arables : ce sont en général des cultures énergétiques de type taillis à courte rotation (cf. le rapport de l'étude sur le Potentiel du biométhane 2G⁷ pour plus de détail).

Classification des secteurs offrant un potentiel d'implantation de la technologie microalgues à moyen et long terme

Les conditions technico-économiques d'émergence du biométhane 3G sont aujourd'hui encore peu définies mais il apparaît à la mesure des connaissances disponibles aujourd'hui que la production de biométhane ou d'énergie de manière générale à partir de microalgues ne permet pas de rentabiliser seule les modèles d'affaires des unités de culture (au coût des technologies actuelles et en prospective à moyen terme). Une diversification du plan d'affaire avec notamment la valorisation de produits à haute valeur ajoutée apparaît inéluctable à court et moyen terme, le biométhane 3G devenant alors un coproduit de la filière. **Cette configuration implique une identification des secteurs de l'économie pouvant porter la croissance de ces technologies en tant que premiers marchés directeurs.**

A la vue de cette analyse et des indicateurs quant aux potentiels théorique et technique, un **indice de potentiel de déploiement** de la technologie dans le secteur considéré a été utilisé afin de classer les secteurs pouvant porter la croissance de cette technologie et les secteurs qui suivront à long terme lorsque la rentabilité économique sera établie pour un plan d'affaires axé principalement sur la production d'énergie et sur le traitement d'effluents.

Cet **indice de potentiel de déploiement** est défini comme suit : plus l'indice est élevé, plus le potentiel développement de la technologie microalgues est élevé pour le secteur considéré (cf.

⁶ voir données de surfaces disponibles : rapport ADEME, 2012 « Facteur 4 Agriculture » et Ministère de l'Agriculture et de la Pêche

⁷ M.DPSE.PPISEN.2012.0181.MBe

Tableau 6).

Tableau 6 : Définition de l'indice de potentiel de déploiement utilisé pour la classification des secteurs

INDICE DE POTENTIEL DE DEPLOIEMENT	HORIZON DE DEPLOIEMENT	INTERET DU SECTEUR	FACTEURS DIMENSIONNANT POUR L'ÉTUDE
5/5	2020 <i>1^{ers} Marchés</i>	- Potentiel de déploiement fort - Secteur à fort intérêt technico-économique avec importante création de valeur	- besoins du marché à l'horizon 2020 et 2050 - dimensionnement des surfaces nécessaires
4/5	2020 <i>1^{ers} Marchés</i>	- Potentiel de déploiement fort - Secteur à intérêt technico-économique intermédiaire	- potentiel de production calculé sur la base d'une combinaison de facteurs limitants
3/5	2050	- Potentiel de déploiement médian - Secteur à intérêt technico-économique intermédiaire – forte contrainte économique sur le coût de la tonne de biomasse algale	- pas de marché directeur identifié - évaluation de la surface accessible
2/5	2050	- Potentiel de déploiement faible - Secteur à intérêt technico-économique faible	- calcul d'un potentiel technique de production approximatif
1/5	2050	- Potentiel de déploiement très faible - Secteur à intérêt technico-économique faible	

Pour les secteurs identifiés comme ayant un potentiel de **déploiement fort pour l'utilisation de la technologie microalgues** (indices 4/5 et 5/5), une analyse économique détaillée des marchés régissant ces secteurs est effectuée afin d'estimer les flux de matières et les surfaces qui seraient nécessaires pour l'intégration des composés issus des microalgues sur ces marchés.

2.2. Partie 2 : Caractérisation des scénarios technologiques et des hypothèses techniques

Comme mentionné précédemment (cf. 1.1), deux technologies de culture de microalgues existent : ponds (systèmes ouverts) et photobioréacteurs (systèmes fermés). Pour chacun des secteurs étudiés, un type de réacteur a été envisagé en fonction des enjeux technico-économiques et des surfaces potentiellement disponibles (cf. Annexe 3).

Un calcul de productivité a ensuite été effectué en fonction de la technologie de culture utilisée et du climat et ceci pour chacun des secteurs retenus (pour plus d'informations sur le calcul du rendement photosynthétique et de la productivité associée pour chacun des systèmes de culture, se référer à Annexe 1). La France étant un pays aux conditions climatiques variées, la productivité peut varier sensiblement en fonction de la région considérée pour l'implantation de la technologie. Le nombre de secteurs étudiés et le nombre de sites de production ou d'exploitation étant conséquents, une étude au cas par cas n'était pas possible dans le cadre de cette étude. Ainsi, le choix a été effectué de prendre une valeur d'énergie lumineuse moyenne française.

Étant donné la faible maturité de ces procédés, il est fortement probable que des améliorations technologiques sur les procédés de culture auront lieu à horizon 2050. Ainsi, une estimation de la productivité à cet horizon de temps a été effectuée en ciblant quelques pistes d'améliorations possibles (cf. Annexe 1). Les améliorations

technologiques des systèmes de culture portent principalement sur l'augmentation des rendements surfaciques ainsi que sur l'optimisation de l'efficacité énergétique du système tout en diminuant les coûts d'un tel système.

L'augmentation des rendements surfaciques passe principalement par l'amélioration du rendement photosynthétique. En effet, des pertes importantes de l'énergie lumineuse grèvent le rendement photosynthétique. Une meilleure gestion des conditions de mélange dans la culture ainsi que l'utilisation de nouveaux matériaux pour le réacteur de culture permettront d'améliorer ce rendement à horizon 2050 (cf. perspectives d'améliorations dans l'Annexe 1).

Les productivités du système microalgues aux horizons de temps 2020 et 2050 sont reprises dans le Tableau 7. En ce qui concerne les productivités des systèmes de culture à l'horizon de temps 2020, les valeurs correspondent en moyenne aux productivités actuelles (cf. Tableau 3).

Tableau 7 : Estimations de la productivité pour les deux technologies de culture de microalgues aux horizons de temps 2020 et 2050

	PONDS	PHOTOBIOREACTEURS
Productivité horizon 2020 (moyenne productivité actuelle)	27 T MS/ha/an	76 T MS/ha/an
Estimation Productivité horizon 2050	56 T MS/ha/an	116 T MS/ha/an

Dans certains secteurs, principalement les secteurs identifiés comme porteurs de croissance pour l'implantation de la technologie microalgues (indices de potentiel de déploiement 4/5 et 5/5), une multivalorisation de la biomasse algale obtenue est envisagée. En effet, une partie de la biomasse sera utilisée à des fins non énergétiques tels que la production de produits chimiques ou une utilisation pour l'alimentation animale. Dans ces filières, le biométhane n'est donc qu'un coproduit de l'ensemble de la chaîne de valorisation. Pour plus d'informations sur l'utilisation de la biomasse algale pour chacun des secteurs et la part utilisée à des fins non énergétiques, cf. Annexe 3.

2.3. Partie 3 : Agrégation et analyse de sensibilité sur le potentiel de production de biométhane 3G

A partir de la quantité de biomasse algale disponible, une partie est destinée à des fins non énergétiques pour certains secteurs comme précisé précédemment et l'autre partie est destinée à la production de biométhane par digestion anaérobie (cf. 1.1.7.3 pour plus d'informations sur la digestion anaérobie de la biomasse microalgale).

En ce qui concerne la biomasse algale utilisée à des fins non énergétiques, une **productivité de 350 Nm³ biogaz/T_{MS}⁸** a été utilisée afin d'estimer la production de biogaz. La teneur en CH₄ associé est de 69 %⁹, ce qui permet de déterminer la production en biométhane.

⁸ T MS : Tonne de matière sèche - Source interne GDF SUEZ et partenaires.

⁹ Source interne GDF SUEZ et partenaires.

Une partie du biogaz produit par la digestion anaérobie de la biomasse microalgale est utilisée en auto-consommation du digesteur pour la génération de chaleur. La part réservée à cette autoconsommation est de 20 %¹⁰ (16). Sur certains sites industriels, un flux de chaleur pourrait être récupéré pour chauffer le digesteur **augmentant ainsi la capacité production de biométhane. Néanmoins, une étude au cas par cas n'étant pas possible pour l'ensemble des secteurs, l'hypothèse a été prise que ce flux de chaleur ne serait pas dirigé pour chauffer le digesteur mais pour le chauffage des bassins de microalgues si besoin, augmentant ainsi l'efficacité énergétique globale du système de culture des microalgues.**

Enfin, afin d'obtenir du biométhane de qualité compatible avec une injection réseau, un procédé d'épuration est nécessaire (cf. 1.2). Une perte de 2 % de CH₄ est estimée durant cette étape(17).

¹⁰ Source interne GDF SUEZ.

3. RESULTATS

3.1. Potentiel de déploiement de la technologie microalgues dans chacun des secteurs identifiés

A partir du recensement de l'ensemble des secteurs (cf. Figure 11), des fiches sectorielles ont été élaborées afin de mettre en évidence le contexte économique et réglementaire inhérent au secteur considéré, d'identifier les enjeux actuels et futurs ainsi que de valider ou invalider la présence et la qualité des effluents. A partir de ces données, un indice de potentiel de déploiement a été estimé afin d'identifier les secteurs qui porteront la croissance de la technologie microalgues et ceux dont le plan d'affaires n'est pas viable actuellement d'un point de vue technique et/ou économique. Ces fiches sectorielles sont disponibles en Annexe 3.

La classification des secteurs suivant l'indice de potentiel de déploiement de la technologie est résumée dans le Tableau 8 (pour plus de détails, se référer à Annexe 3).

Tableau 8 : Classification des secteurs selon l'indice de potentiel de déploiement

SECTEURS	INDICE DE POTENTIAL DE DEPLOIEMENT	HORIZON DE DEPLOIEMENT
Chimie-Raffinage-Pétrochimie		
Chimie	5/5	2020
Raffinage-Pétrochimie	4/5	2020
Industries Agro-alimentaires		
Viandes	3/5	2050
Poissons	3/5	2050
Fruits et Légumes	2/5	2050
Industrie des Corps Gras	4/5	2020
Laiteries	3/5	2050
Amylacées	3/5	2050
Aliments pour animaux	5/5	2020
Papier-Carton	2/5	2050
Métallurgie (acier, aluminium)	1/5	2050
Matériaux		
Ciment	2/5	2050
Verre	2/5	2050
Chaux	1/5	2050
Céramiques (Plâtre, tuiles et briques)	2/5	2050
Autres industries		
Caoutchouc	2/5	2050

Textile	1/5	2050
Plasturgie	1/5	2050
Énergie		
Centrales thermiques	3/5	2050
Infrastructures gazières	3/5	2050
Production de biocarburants 3G dédiée	3/5	2050
Services à l'Environnement		
Incinération	4/5	2020
STEU	4/5	2020
ISDND	4/5	2020
ISDD	3/5	2050
Agriculture¹¹	3/5	2050

L'indice de potentiel de déploiement et l'horizon de déploiement permettent de mettre en évidence les secteurs qui seront les premiers marchés d'application des technologies microalgues et dont l'émergence est la plus probable. Ces secteurs représentés en vert dans le tableau 8 présentent un plan d'affaires compatible avec l'émergence à court-moyen terme de cette technologie (horizon de temps 2020).

3.1.1. Premiers marchés : indice 4 – 5/5

A l'issue de l'analyse sectorielle (voir annexe 3) les secteurs de la chimie, de l'environnement et de la production d'aliments pour animaux constituent les premiers secteurs où pourraient s'implanter la technologie microalgues à l'horizon 2020. La chimie par exemple, de par la contrainte réglementaire imposant l'intégration de 15 % de matières renouvelables dans les produits finis d'ici 2017 et 50 % d'ici 2050, est un secteur fortement intéressé par ces nouveaux bioproduits.

De par leur teneur protéique élevée, les microalgues pourraient être aisément utilisées dans l'alimentation animale (élevages terrestres mais également en nutrition animale destinée aux animaux de compagnie ou « pet food ») et aquacole (en tant que substitut des tourteaux d'oléagineux et farines de poisson (5)). Elles sont d'ailleurs d'ores et déjà utilisées industriellement en Chine pour la volaille (5) (particulièrement pour l'amélioration de la couleur de la peau, des jarrets et des jaunes d'œufs).

¹¹ L'indice de potentiel de déploiement des microalgues dans le secteur de l'agriculture est de 3/5 bien que la majorité de la production de la biomasse soit dirigée vers l'alimentation animale. Néanmoins, de par la forte incertitude sur les surfaces disponibles dans ce secteur et des utilités à proximité disponible, l'indice de 3/5 semble plus approprié.

3.1.2. Marchés prospectifs : indice 1 – 3/5

Les secteurs ayant un indice de potentiel de déploiement de 1/5, 2/5 et 3/5 présentent un plan d'affaire soumis à de fortes hypothèses de contexte et peu compatible avec un déploiement de la technologie microalgues à moyen et court terme. Ces filières présentent la caractéristique de ne pas proposer une valorisation matière à moyenne ou haute valeur ajoutée sur des marchés existants et ne basent leur rentabilité que sur la **commercialisation d'énergie et de services à l'environnement. L'émergence de la production des microalgues** dans de tels secteurs serait envisageable à plus long terme (horizon 2050) en prenant en compte une évolution **contraignante du coût de l'énergie**, du prix de la tonne de CO₂ et des normes environnementales. Cette émergence dépend fortement du déploiement de la technologie dans les marchés ayant un indice de potentiel de déploiement de 4/5 et 5/5 et des avancées voire ruptures techniques sur les procédés de culture de microalgues afin d'assurer la rentabilité économique du système.

Des secteurs initialement présents dans le recensement (cf. Figure 11) **n'ont pas** été retenus dans cette étude car la brique technologique microalgues ne présentait aucun intérêt perceptible dans leur métier :

- **Boulangerie, pâtisserie,...** : Absence d'intérêt marqué au niveau du plan d'affaire et aucune synergie technique avérée.
- **Sucreries** : Absence d'intérêt marqué au niveau du plan d'affaire, la valorisation des déchets sucriers étant plutôt orientée vers la fermentation (mélasses,...) et la production d'éthanol.
- **Secteur des boissons** : présentant beaucoup d'effluents liquides mais très chargés au niveau organique et avec peu ou pas de synergies d'intérêt technique et économique avec la brique technologique microalgues.
- **Intégration aux bâtiments** : malgré le besoin grandissant de production d'énergie décentralisée continue au cœur des villes, ce secteur concentre de nombreux désavantages : petites surfaces peu accessibles, nécessité d'un placement en hauteur impliquant des consommations d'énergies importantes liées au pompage des liquides, une nécessité d'enfouir les équipements annexes et la partie méthanisation dont les nuisances restent difficilement admissibles. Certaines entreprises utilisant des microalgues **tentent néanmoins de s'attaquer à ce marché** (start-up ENNESYS¹², Fr) mais **n'ont pour l'instant pas encore fait la preuve du concept technico-économique.**
- **Automobile** : Absence d'intérêt marqué au niveau du plan d'affaire et aucune synergie technique avérée.

3.2. Potentiel de production de biométhane 3G dans les secteurs identifiés comme des 1ers marchés

Les secteurs identifiés comme porteurs de la croissance de la technologie microalgues sont ceux dépendants d'un plan d'affaires lié à des marchés de masse pour des produits à haute-moyenne valeur ajoutée tels que les marchés de la chimie et de l'alimentation animale. Ces secteurs correspondent à un indice de potentiel de déploiement de 4/5 et 5/5 et ont un plan d'affaires compatible avec l'émergence à court-moyen terme de la technologie microalgues (horizon 2020). Les efforts de recherche et développement nécessaires pour la rentabilité de tels systèmes sont mineurs par rapport à d'autres marchés tels qu'une valorisation énergétique dédiée.

Dans le cadre de cette étude, ces secteurs porteurs de croissance sont classés dans trois catégories :

- Chimie-Raffinage-Pétrochimie

¹² www.ennesys.com

- Alimentation animale
- Environnement

Afin d'estimer précisément le potentiel de production de biométhane de 3^e génération associé à ces secteurs, une étude plus approfondie des marchés inhérents à ces secteurs et dans lesquels les microalgues pourraient être utilisées a été effectuée.

3.2.1. Secteur Chimie – Raffinage – Pétrochimie

Le secteur de la chimie se répartit en quatre grands domaines : la chimie de base (chimie minérale et chimie organique), la chimie fine, la chimie de spécialité et la pharmacie.

Ce secteur est actuellement très dépendant des matières premières d'origine fossile. Néanmoins, les chimistes visent à verdir progressivement une part importante de leurs molécules chimiques à un coût compétitif avec les bases d'origine fossile actuelles ; **l'industrie chimique s'est en effet engagé dans le cadre du Grenelle de l'Environnement à passer d'une utilisation de 5-8 % de matières premières végétales à 15 % d'ici 2017 et 50 % d'ici 2050.** Les substrats d'origine lignocellulosiques constitueront une source importante de briques chimique mais sera fortement limitée par la concurrence avec les usages matériaux et énergie. **Le secteur cherchera à maîtriser des ressources de qualité avec un minimum de conflits d'usage.**

Dans ce cadre, les microalgues peuvent permettre de **produire une gamme très large de composés** dont la synthèse naturelle peut être contrôlée pendant le processus de culture et qui pourraient être valorisés dans le domaine de la chimie verte : bio-floculants, bio-polymères, synthons¹³, plastiques biodégradables, lipides, tensio-actifs, polysaccharides, ... (12). Certains projets de R&D sont actuellement orientés vers cette valorisation:

- **Cereplast**, États-Unis : production de bioplastiques associant les microalgues (18)
- **Algicoat**, Pays-Bas : production de peintures avec des molécules extraites des microalgues (19)

Deux applications dans le secteur de la chimie dans lesquelles les microalgues peuvent être valorisées ont été identifiées dans le livre turquoise (12) et sont détaillées dans cette étude : les bioplastiques et les tensioactifs (cf. Tableau 9).

Tableau 9 : Intégration des microalgues dans le secteur chimie/raffinage/pétrochimie, cas de deux applications en chimie

Marchés	Bioplastiques	Tensioactifs
UTILISATION POSSIBLE DES MICROALGUES	Certaines souches de microalgues (les cyanobactéries) peuvent accumuler des composés (les polyhydroxyalkanoates) pouvant être utilisés comme substitut aux plastiques d'origine pétrochimique tout en étant	Afin de respecter la réglementation, les industriels utilisent des agro-tensioactifs issus de matières premières végétales à la place des tensioactifs d'origine fossile. Le marché des agro-tensioactifs serait en

¹³ « Structure chimique appropriée, sélectionnée comme élément structural de base commun, à partir de laquelle on prépare un grand nombre de produits de structures variées, apparentées et originales » (source : Grand dictionnaire terminologique).

	<p>biodégradables. Les polyhydroxyalkanoates présentent des caractéristiques similaires aux plastiques conventionnels et peuvent être utilisés plus spécifiquement dans les domaines industriel, médical et cosmétique (27).</p> <p>Seules quelques souches bactériennes et de microalgues sont capables de synthétiser ces composés naturellement mais les microalgues présentent l'avantage d'avoir de faibles besoins en nutriments pour leur croissance (28).</p>	<p>croissance de 7,5 % sur les périodes 2005-2015 et 2015-2030 (soit part de marché d'environ 45 % des agro-tensioactifs à horizon 2030).</p>
TAILLE DU MARCHÉ	Marché européen estimé à 5 millions de tonnes en 2020	Marché français de 400 000 t en 2008, la part de marché des agro-tensioactifs est de 25 à 30 % (26).
PART DE MARCHÉ VISEE PAR LES MICROALGUES	Hypothèse : 10 %	Hypothèse : 10 % du marché des agro-tensioactifs
PART DU MARCHÉ CORRESPONDANT EN T	500 000 t	18 000 t
HYPOTHESE TECHNIQUE DE PRODUCTIVITE SURFACIQUE DES MICROALGUES (PRODUCTIVITE HORIZON 2020, CF. 1.1.3)	27 t/ha/an	27 t/ha/an
PART DE LA BIOMASSE ALGALE PRODUITE ENTRANT DIRECTEMENT DANS LA FILIERE ENERGIE	Hypothèse : 15 % (Part liée à un ajustement de la production au regard des besoins en énergie renouvelables)	Hypothèse : 15 % (Part liée à un ajustement de la production au regard des besoins en énergie renouvelables)
PART DE LA BIOMASSE ALGALE PRODUITE ENTRANT DANS LA FILIERE DE VALORISATION EN COMPOSES CHIMIQUES	Hypothèse : 33 % (le résidu étant valorisé en énergie)	Hypothèse : 33 % (le résidu étant valorisé en énergie)
PART TOTALE DE LA BIOMASSE VALORISEE EN COMPOSES CHIMIQUES	7,7 t/ha/an (cf. Figure 12)	7,7 t/ha/an (cf. Figure 12)
SURFACE NECESSAIRE	64 935 ha	2 338 ha
SURFACE DISPONIBLE A PROXIMITE DES SITES DE PRODUCTION	13 615 ha (cf. Annexe 3 – calculs Geoportail)	

SURFACE DISPONIBLE DANS LE SECTEUR AGRICOLE

645 000 ha 2010 (surfaces en jachère¹⁴)

La surface disponible à horizon 2050 est fortement dépendante des scénarios d'utilisation des terres (terres qui seront également exploitées pour la production de matières premières à destination du secteur de la chimie (cf. Scénario Afterres2050 et « Facteur 4 Agriculture »)

COMPATIBILITE



L'intégralité de la surface disponible à proximité des sites de production des secteurs de la chimie-raffinage-pétrochimie (soit 13 615 ha) pourrait être utilisée pour la production des microalgues sans saturer les marchés correspondant à la valorisation des microalgues.

Afin d'atteindre une part de 5 % dans ces marchés (hypothèse utilisée dans cette étude pour deux applications étudiées), la surface nécessaire serait de 67 273 ha. La surface manquante pourrait être disponible dans les surfaces agricoles ou les surfaces en jachère (terres d'ores et déjà exploité pour la production de matières végétales à destination du secteur chimique) sous réserve de disponibilités en eau, CO₂ et nutriments (indispensables pour la culture de microalgues).

La Figure 12 résume la distribution des flux de biomasse microalgale pour la production de composés à destination du secteur de la chimie/raffinage/pétrochimie et à destination de la valorisation énergétique par méthanisation.

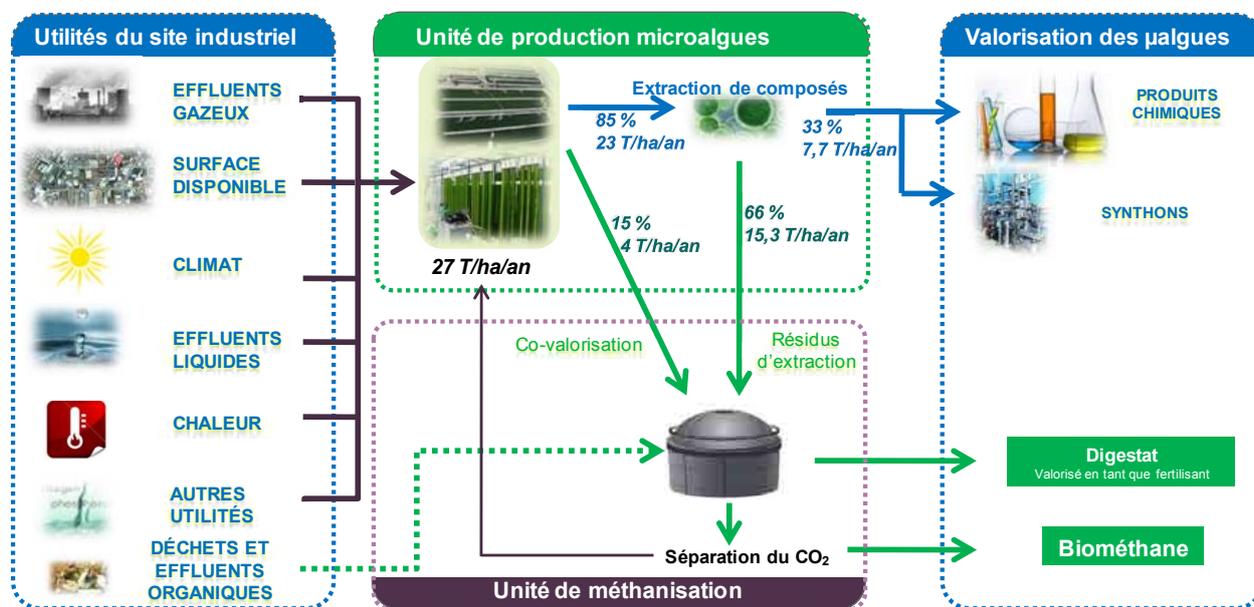


Figure 12 : Flux estimé de biomasse microalgale dans le secteur chimie/raffinage/pétrochimie

¹⁴ Bureau de la Prospective et de la stratégie, MAAP

3.2.2. Secteur Industries des Corps Gras/Aliments pour Animaux

Ces deux secteurs industriels ont été regroupés dans cette étude car les microalgues peuvent être considérés pour la production d'aliments pour animaux dans ces secteurs (ingrédients alimentaires, tourteaux, farines et huiles de poissons).

Dans l'industrie des corps gras, la production est répartie en : production d'huile à partir de graines oléagineuses (graine de tournesol, graine de soja, graine de colza, ...), production d'huiles extraites de la pulpe de fruit (olives), production de graisses animales et production d'huiles de poisson. Seules les deux dernières catégories (production de graisses animales et production d'huiles de poisson) sont détaillées dans cette étude pour l'intégration des microalgues.

Le secteur fabrication d'aliments pour animaux regroupe deux activités : fabrication d'aliments pour animaux de ferme et fabrication d'aliments pour animaux de compagnie.

Dans ces différents marchés, on observe actuellement un **besoin croissant d'ingrédients alimentaires à forte appétence et valeur nutritive**, une **forte demande du secteur de l'halieutique, recherche de compléments alimentaires à destination des bovins et ovins**,... La teneur en lipides insaturés, oméga 3 et protéines des microalgues en font des candidates idéales pour ces marchés à valeur ajoutée mais qui nécessitent des capacités de production élevées.

En plus d'une source de protéines pour le bétail, les microalgues peuvent être valorisés en tant que compléments alimentaires. Des évaluations nutritionnelles et toxicologiques ont montré la pertinence de la biomasse algale comme complément alimentaire précieux ou source de substitution classique de protéines.

Les microalgues sont d'ores et déjà valorisées en tant que compléments alimentaires pour animaux et notamment pour les volailles afin d'améliorer certaines caractéristiques telles que la couleur de la peau et des jaunes d'œufs. La principale utilisation se fait actuellement en Chine (12).

D'autres avantages peuvent également être apportés par la consommation de composés issus de microalgues par les animaux tels qu'une meilleure réponse immunitaire, un meilleur contrôle de poids, une amélioration de la fertilité, ... ce qui peut donner des produits de consommation plus sains pour l'alimentation humaine.

Trois secteurs pour l'alimentation animale dans lesquels peuvent être valorisés les microalgues sous forme de biomasse brute ou en tant qu'ingrédient complémentaire sont détaillés dans cette étude (cf. Tableau 10) :

- Alimentation du bétail
- Pet food¹⁵
- Alimentation pour l'aquaculture

Tableau 10 : Intégration des microalgues dans les secteurs alimentation pour animaux

Marchés	Alimentation du bétail	Pet food	Alimentation pour l'aquaculture
---------	------------------------	----------	---------------------------------

¹⁵ Aliments pour animaux domestiques (principalement chiens et chats).

<p>UTILISATION POSSIBLE DES MICROALGUES</p>	<p>Pour l'alimentation du bétail, les microalgues peuvent être utilisés en tant que compléments alimentaires apportant des bénéfices particuliers et identifiés au bétail et/ou en tant que source de protéines.</p>	<p>Les propriétaires d'animaux domestiques se soucient de plus en plus de l'alimentation de leurs animaux de compagnie et évoluent vers l'utilisation de produits classés dans la nutrition animale ou certifiés « sans colorant artificiel » voire « bio ». Cette nouvelle gamme de produits intègre des ingrédients alimentaires ayant des compositions caractéristiques (colorants, antioxydants, acides gras, protéines, ...) (12).</p>	<p>L'alimentation aquacole utilise des farines (65% de protéines) et des huiles de poisson.</p>
	<p>Hypothèse : Utilisation des microalgues en tant que source de protéines = tourteaux de protéines. La production française de tourteaux ne couvre que 26 % de ses besoins, le reste est en partie importé du Brésil et de l'Argentine. L'utilisation de la biomasse microalgale pour nourrir les élevages permettrait à la France de limiter sa dépendance aux tourteaux importés (12).</p>	<p>« Le marché mondial des microalgues dédiées à l'alimentation animale est actuellement estimé à 230 millions d'euros. » (12)</p>	<p>Avec la diminution des ressources halieutiques et l'intensification de l'élevage aquacole (en croissance de 8,8 % depuis les années 70), le prix des farines de poisson a triplé en moins de 10 ans (de 500 US \$/t en 2001 à 1500 \$/t en 2010) et celui des huiles a doublé dans le même temps (de 500 à 1000 \$US/t). Avec 1/3 de la production mondiale, le Pérou est le principal producteur de farines et huiles de poisson. Une source alternative de protéines et lipides pour l'alimentation aquacole est donc nécessaire, en particulier pour l'aquaculture française. Les microalgues pourraient constituer à ce titre une alternative.</p>
		<p>« Le marché mondial des microalgues dédiées à l'aquaculture feed est actuellement estimé à 540 millions d'euros. » (12)</p>	
<p>TAILLE DU MARCHÉ</p>	<p>Consommation française de 7 millions de tonnes en 2010 (29)</p>	<p>Marché français de 1 036 000 t de matières sèches (céréales, légumes et protéines animales déshydratées) utilisées comme matières premières¹⁶.</p>	<p>Consommation française : 50 000 à 70 000 t en 2006</p>
<p>INTEGRATION DES MICROALGUES DANS CE MARCHÉ</p>	<p>Hypothèse : 30 %</p>	<p>Hypothèse : 5 % du marché</p>	<p>Hypothèse : 20 %</p>

¹⁶ Source : FACCO.

PART DU MARCHÉ CORRESPONDANT	2 100 000 t	51 800 t	10 000 t
HYPOTHESE TECHNIQUE DE PRODUCTIVITE SURFACIQUE DES MICROALGUES (PRODUCTIVITE HORIZON 2020, cf. 1.1.3)	27 t/ha/an	27 t/ha/an	27 t/ha/an
PART DE LA BIOMASSE ALGALE PRODUITE ENTRANT DIRECTEMENT DANS LA FILIERE ENERGIE	Hypothèse : 15 % (Part liée à un ajustement de la production au regard des besoins en énergie renouvelables)	Hypothèse : 15 % (Part liée à un ajustement de la production au regard des besoins en énergie renouvelables)	Hypothèse : 15 % (Part liée à un ajustement de la production au regard des besoins en énergie renouvelables)
PART DE LA BIOMASSE ALGALE PRODUITE ENTRANT DANS LA FILIERE DE VALORISATION EN COMPOSES CHIMIQUES	Hypothèse : 50 % (correspond à la teneur en protéines des microalgues ; le résidu étant valorisé en énergie)	Hypothèse : 50 % (le résidu étant valorisé en énergie)	Hypothèse : 50 % (le résidu étant valorisé en énergie)
PART TOTALE DE LA BIOMASSE VALORISEE EN COMPOSES POUR L'ALIMENTATION ANIMALE	11,5 t/ha/an (cf. Figure 13)	11,5 t/ha/an (cf. Figure 13)	11,5 t/ha/an (cf. Figure 13)
SURFACE NECESSAIRE	182 609 ha	4 504 ha	870 ha
SURFACE DISPONIBLE A PROXIMITE DES SITES DE PRODUCTION	Surfaces disponibles à proximité des sites de production du secteur Industrie des Corps Gras : 58 ha (cf. Annexe 3)		
	Surfaces disponibles à proximité des sites de production du secteur Production aliments pour animaux : 3707 ha (cf. Annexe 3)		

Total des surfaces disponibles : 3 765 ha

SURFACE

645 000 ha 2010 (surfaces en jachère¹⁷)

DISPONIBLE DANS LE SECTEUR AGRICOLE

La surface disponible à horizon 2050 est fortement dépendante des scénarios d'utilisation des terres (terres qui seront également exploitées pour la production de matières premières à destination du secteur de la chimie (cf. Scénario Afterres2050 et Facteur 4 Agriculture)

COMPATIBILITE



L'intégralité de la surface disponible à proximité des sites de production des secteurs de l'industrie des corps gras et de la production d'aliments pour animaux (soit 3 765 ha recensés) pourrait être utilisée pour la production des microalgues sans saturer les marchés correspondant à la valorisation des microalgues.

Afin d'atteindre une part de marché raisonnable de 5 % (hypothèse utilisée dans cette étude pour les trois applications étudiées), la surface nécessaire serait de 187 983 ha. La surface manquante pourrait être disponible dans les surfaces agricoles ou les surfaces en jachère (terres d'ores et déjà exploitées pour la production de matières végétales à destination du secteur chimique) sous réserve de disponibilités en eau, CO₂ et nutriments (indispensables pour la culture de microalgues).

La Figure 13 montre les flux de biomasse microalgale pour la production de composés à destination du secteur de l'alimentation animale (alimentation du bétail, « pet food » et alimentation animale pour l'aquaculture) et à destination de la valorisation énergétique par méthanisation.

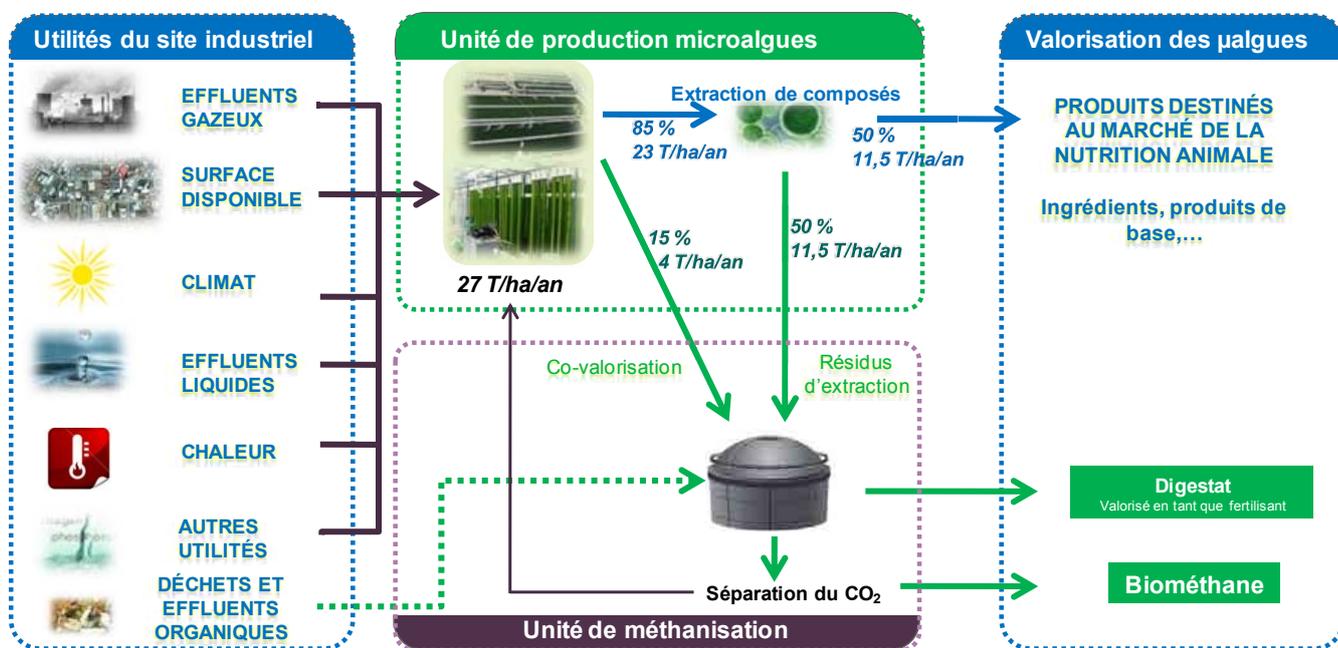


Figure 13 : Flux de biomasse microalgale dans le secteur Alimentation pour animaux

¹⁷ Bureau de la Prospective et de la stratégie, MAAP

3.2.3. Secteur Services à l'Environnement

Le secteur de l'environnement a été identifié comme porteur de croissance malgré le fait qu'il ne présente pas de co-valorisation sur des marchés à moyenne ou forte valeur ajoutée. La rentabilité de l'ensemble étant assurée par les recettes issues de la vente de biométhane et de services à l'environnement en amont (dépollution des effluents liquides et gazeux par biorémédiation,...). Cet équilibre économique étant, après analyse, particulièrement pertinent pour les secteurs du retraitement des eaux et du stockage des déchets qui disposent d'importantes surfaces disponibles, d'importantes quantités d'effluents liquides et gazeux et d'un besoin majeur d'améliorer le bilan environnemental des installations qui bénéficient très souvent d'une acceptabilité publique délicate.

La Figure 14 montre les flux de biomasse microalgale associés au secteur Services à l'Environnement. La surface totale disponible autour des sites serait de 11 658 ha (cf. Annexe 3).

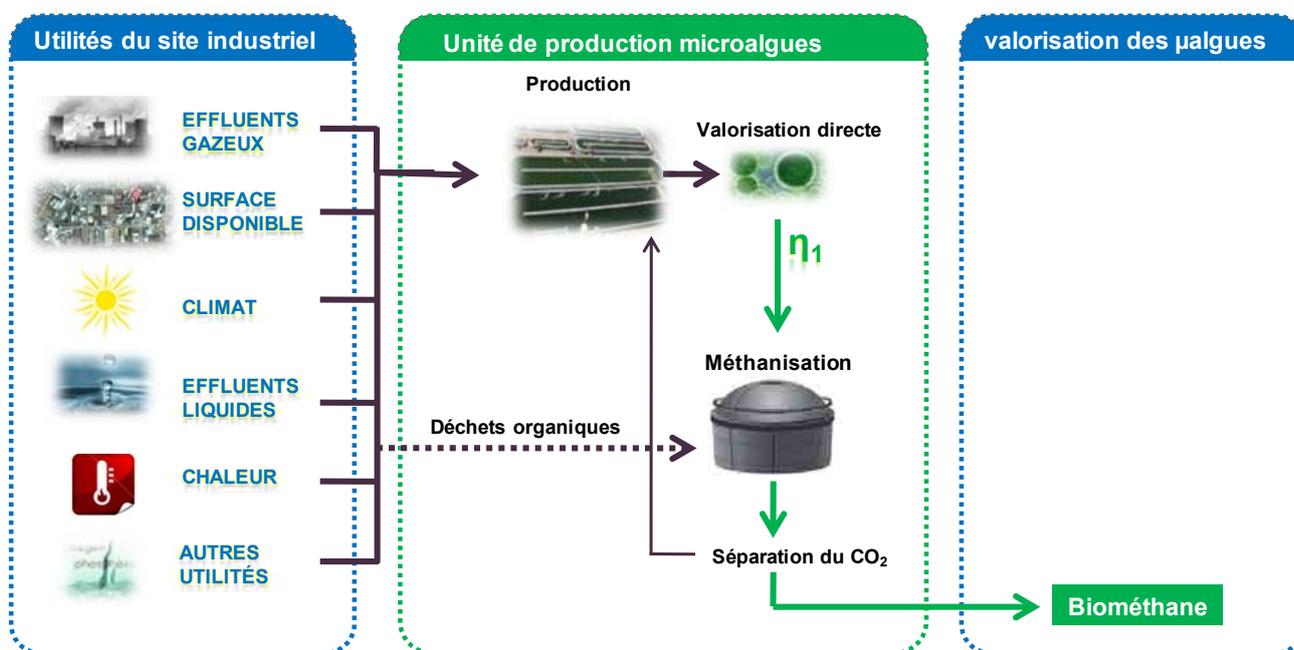


Figure 14 : Flux de biomasse microalgale dans le secteur Services à l'Environnement

Marché	Services à l'environnement	Production d'énergie verte
UTILISATION POSSIBLE DES MICROALGUES	<p>Les capacités de biorémédiation des microalgues permettent d'envisager le développement de nouveaux services à l'environnement en complément de technologies déjà exploitées à l'échelle industrielle pour traiter les fumées et les effluents liquides industriels ou municipaux.</p> <p>Le recyclage du CO₂ par les microalgues est une propriété applicable directement sur des</p>	<p>Les installations de traitement des eaux et de traitement et de stockage de déchets sont depuis plusieurs années engagées dans des programmes d'amélioration continue de leur bilan environnemental. La notion d'installation à énergie positive a été annoncée par plusieurs groupes tels que Veolia et Suez Environnement.</p> <p>La production sur site d'énergie renouvelable à partir des biomasses qui y transitent représente</p>

fumées brutes (sans étape de captage et concentration) et est réalisable à petite échelle ce que ne permettent pas les technologies conventionnelles disponibles à l'heure actuelle sur le marché.

une opportunité majeure d'atteindre cet objectif.

La production de biométhane est déjà effective sur de nombreux sites de stockage de déchets (ISDND) mais l'intégration de la brique microalgues pourrait apporter un niveau d'intégration et un gain environnemental inégalable par des technologies conventionnelles.

TAILLE DU MARCHÉ 3666 sites industriels potentiellement concernés – ne sont pas considérés les sites de petite taille et les installations spécifiques des industriels qui ne présentent pas les mêmes contraintes environnementales que les systèmes généralistes.

INTEGRATION DES MICROALGUES DANS CE MARCHÉ Evaluation du potentiel technique global

PART DU MARCHÉ CORRESPONDANT EN T 100 % à 2050 avec un remplacement progressif des technologies existantes par une rupture technologique apportant un bénéfice majeur et couplage de la production de biométhane avec des sites de méthanisation existants

HYPOTHESE TECHNIQUE DE PRODUCTIVITE SURFACIQUE DES MICROALGUES (PRODUCTIVITE HORIZON 2020, CF. 1.1.3) 27 à 76 t/ha/an selon le sous secteur considéré

PART DE LA BIOMASSE ALGALE PRODUITE ENTRANT DIRECTEMENT DANS LA FILIERE ENERGIE 100 % compte tenu des traitements amont qui la rendent incompatible avec une valorisation matière en nutrition. Une valorisation de certains compartiments en chimie étant aujourd'hui à l'étude mais n'a pas été pris en compte dans cette étude.

SURFACE DISPONIBLE A PROXIMITE DES SITES DE PRODUCTION 11802 ha

SURFACE COMPLEMENTAIRE NECESSAIRE DANS LE SECTEUR AGRICOLE 0 ha – aucune surface complémentaire nécessaire

COMPATIBILITE



Les surfaces disponibles sur les sites même des secteurs considérés sont suffisantes pour l'implémentation de réacteurs de culture de microalgues et assurer un niveau de service proche de 100 % en termes de traitement des effluents liquides et des fumées ainsi qu'une production significative de biométhane injectable.

3.3. Potentiel de production de biométhane 3G à horizon 2020

Les 3 secteurs identifiés comme premiers marchés ont été caractérisés afin de proposer une évaluation du potentiel technique de production de biométhane de 3^{ème} génération associé à leur développement à l'horizon 2020. Pour rappel, les hypothèses techniques retenues à cet horizon de temps prennent en compte les rendements actuels et des technologies qui sont ou seront disponibles sur le marché avant 2020 (pas de prise en compte d'améliorations techniques majeures via la R&D).

Pour les marchés de la nutrition animale et de la chimie verte, les composés et matières à haute valeur ajoutée sont le produit principal de ces filières, le biométhane représentant qu'un coproduit énergétique permettant de valoriser les reliquats de matière algale disponibles à différents niveaux de la chaîne industrielle. (cf. Figure 12, Figure 13 et Figure 14)

Dans le cas du marché des services à l'environnement, le biométhane reste le produit principal de la filière dont la valorisation via injection réseau constituera avec la valorisation du digestat et des services de dépollution amont l'une des sources majeures de revenu de l'unité industrielle.

L'étude du potentiel Biométhane 3G à l'horizon 2020 donne les résultats suivants pour la France métropolitaine :

- **1,1 TWh/an** dans le cas où seule la surface présente autour des sites industriels serait disponible ou accessible (sur la base de la législation 2012)

La Figure 15 montre la répartition de ce potentiel de production biométhane entre les différents secteurs bénéficiant de premiers marchés à l'horizon 2030.

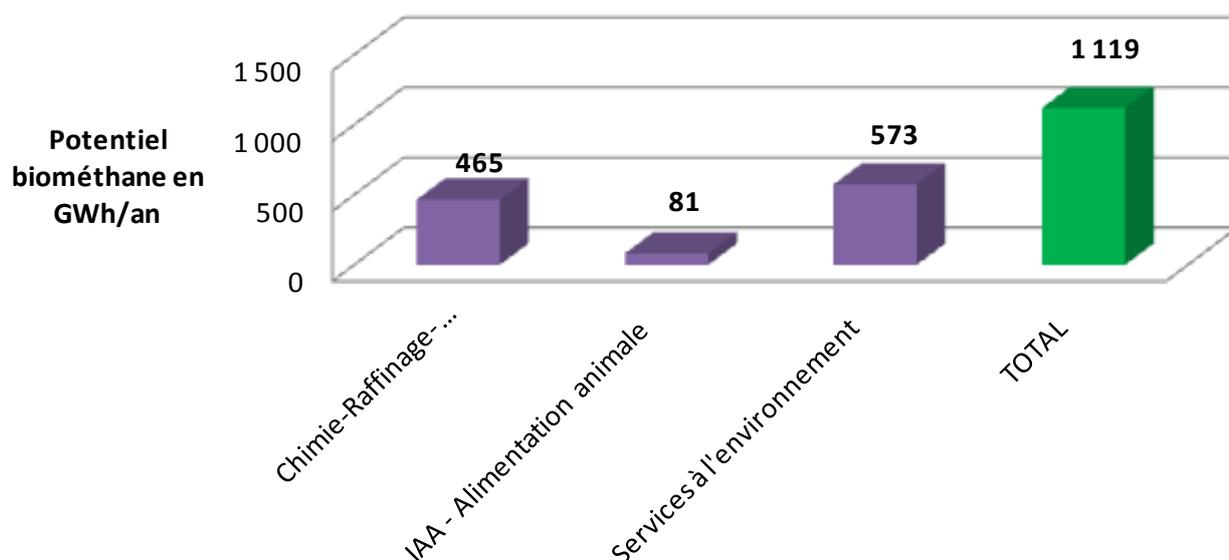


Figure 15 : Potentiel de production de biométhane de 3e génération dans les secteurs porteurs de croissance à horizon 2020 – hypothèse d'accès à la surface présente sur les sites industriels

Dans ces secteurs porteurs de croissance, les produits biosourcés constituent une nouvelle source de biomasse souvent indispensable pour leur marché. Une part d'incorporation des microalgues dans ces marchés a été estimée (cf. Tableau 9 et Tableau 10) si la viabilité technique et économique de la technologie microalgues est prouvée. Pour répondre à ces besoins de marché, la surface nécessaire pourra être mutualisée avec des surfaces agricoles dédiées pour certaines à ces mêmes marchés ou sur des surfaces actuellement non utilisées ou libérées (telles que les jachères) sous conditions d'accès aux sources de nutriments et d'eau nécessaires à la croissance des microalgues.

Hors surfaces des sites industriels, il serait nécessaire d'accéder à des surfaces complémentaires à l'horizon 2020 et 2050 afin de satisfaire les besoins marchés a hauteur de :

- Secteurs chimie-raffinage-pétrochimie : 13 615 ha
- Secteurs alimentation animale : 187 983 ha
- Secteurs services à l'environnement : 0 ha

Suite à l'analyse des données issues du Ministère de l'Agriculture, de dires d'experts du comité de pilotage de l'étude et de différents scénarios ADEME/Solagro,... il apparaît que ce besoin en surface peut être très largement satisfait compte tenu des surfaces disponibles dès aujourd'hui en France et des terres qui seraient susceptibles d'être libérées à l'horizon 2020 et 2050.

➤ **Un potentiel biométhane de 9,3 TWh/an a été estimé dans le cas où des surfaces supplémentaires seraient mobilisées afin de satisfaire les quantités demandées sur les premiers marchés (cf. hypothèses pour chacun des secteurs).** La Figure 16 montre la répartition de ce potentiel de production biométhane entre les différents secteurs porteurs de croissance.

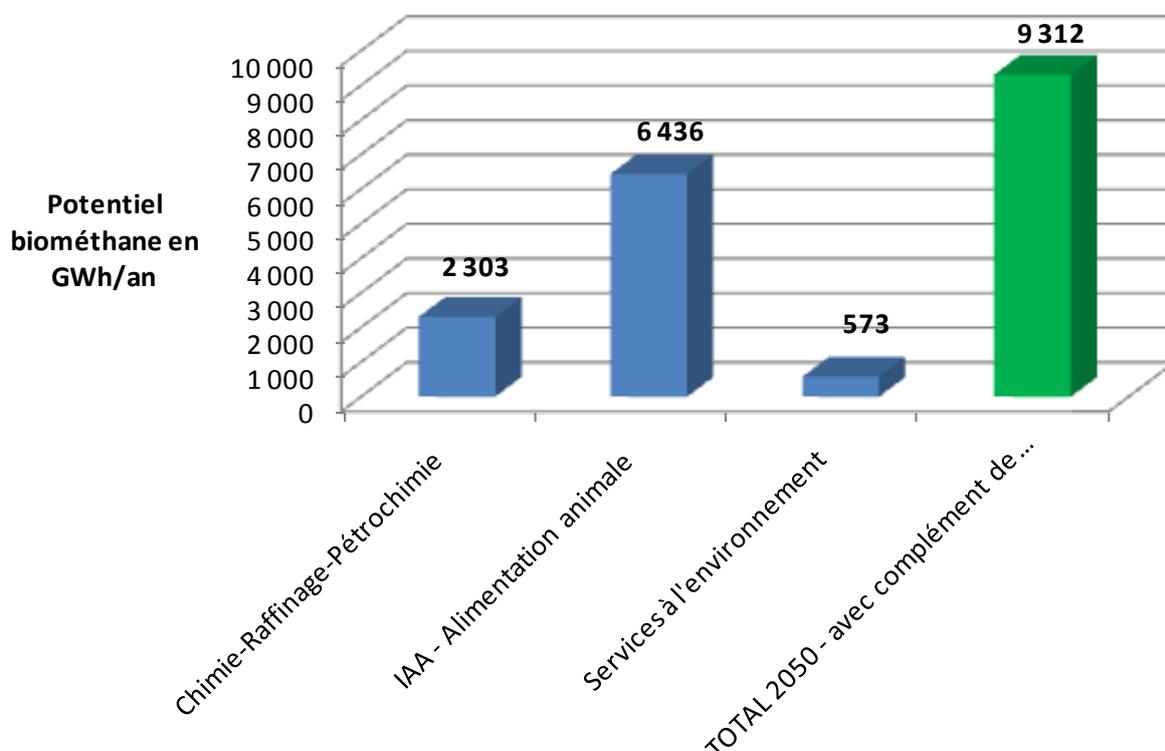


Figure 16 : Potentiel de production de biométhane 3G à horizon 2020 dans le cas où des surfaces supplémentaires seraient mobilisées afin de satisfaire les quantités demandées sur les marchés

L'analyse des autres secteurs ne permet pas, à l'heure actuelle, d'envisager leur développement avant 2020.

3.4. Potentiel de production de biométhane 3G à horizon 2050

A l'horizon 2050, des hypothèses d'améliorations technologiques sont prises en compte (cf. 2.2) et sont conditionnées aux efforts de recherche et développement amorcés depuis 2010 sur cette thématique. Un facteur d'amélioration technologique sur les rendements de conversion lumineuse et sur la productivité des technologies de culture a été implémenté au regard de l'état des connaissances scientifiques actuelles.

Le calcul de potentiel a été réalisé sur la base des premiers marchés en prenant en compte l'accès à des surfaces complémentaires de terres libérées (cf hypothèses des différentes études publiques consultées et dires d'experts). Une évaluation des marchés secondaires plus incertains est également proposée sur la base des études sectorielles réalisées en annexe 3.

- **Le potentiel obtenu est de 19,3 TWh/an en 2050 pour sur la base de l'évolution des 3 premiers marchés identifiés (voir figure 17).** Une évaluation est également proposée pour les autres secteurs de l'industrie (centrales électriques, métallurgie,...) qui ont été étudiés et qui pourraient voir émerger la brique microalgues sur leurs unités. **Avec environ 3,5 TWh, cette estimation du potentiel complémentaire (en rouge sur la figure 17)** est néanmoins à prendre avec précautions tant les hypothèses de contexte et les incertitudes sur la viabilité économique sont nombreuses.

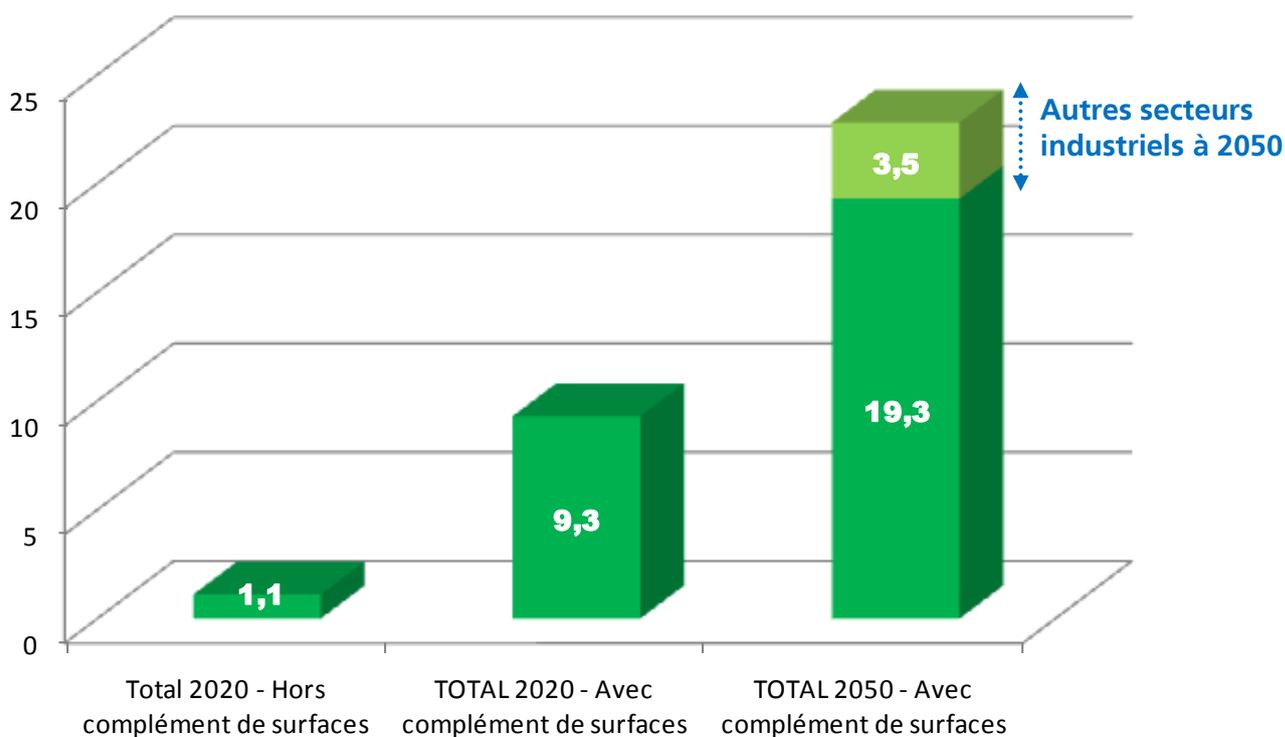


Figure 17 : synthèse des potentiels techniques de production de biométhane 3G aux horizons 2020 et 2050

Le développement de la technologie microalgues à horizon 2050 est fortement conditionné par les efforts de recherche et développement et les ruptures technologiques **permettant d'accéder à un procédé robuste**, fonctionnant de manière continue avec un optimum annuel de productivité, viable économiquement (ingénierie et matériaux à bas coûts) et présentant un bilan environnemental et énergétique favorable (**intégration énergétique et matière optimale, recyclages maximisés,...**).

A l'horizon 2050, il apparaît que l'effort de croissance du secteur est porté majoritairement par la valorisation matière sur des marchés grande masse tels que la nutrition animale. Le biométhane au travers de la digestion anaérobie apparaît comme un coproduit énergétique pertinent de ces filières. Son rendement de conversion **élevé et son niveau d'intégration soutient également le développement de ces secteurs économiques en leur permettant d'accéder à de** meilleurs bilans environnementaux et une meilleure rentabilité en assurant un recyclage optimal des matières et de l'énergie au sein même des unités de production.

CONCLUSION

Les résultats de cette étude concluent à un potentiel de production de biométhane de 3^e génération en France métropolitaine de :

- **2020 → 1,1 à 9,3 TWh/an,**
- **2050 → 19,3 TWh/an**

avec un potentiel complémentaire estimé à **3,5 TWh** sur l'ensemble des autres secteurs industriels.

L'intégralité de ce potentiel est injectable dans le réseau gaz naturel pour satisfaire l'ensemble des usages conventionnels du gaz naturel : chauffage domestique et collectifs, tertiaires et industriels ainsi que l'application carburant.

L'étude a mis en évidence que la production de biométhane de 3^{ème} génération est fortement conditionnée par le développement de marchés de masse permettant de valoriser la biomasse algale brute. Le biométhane apparaissant le plus souvent comme un coproduit énergétique de ces filières permettant au passage d'améliorer les bilans environnementaux et de baisser les coûts grâce à un recyclage des matières et de l'énergie au sein même des unités de production.

Les capacités innovantes des microalgues en matière de biorémédiation et de recyclage du CO₂ leur procurent également un potentiel de développement significatif en matière de services à l'environnement. Ces secteurs représentent également l'un des premiers marchés potentiels de développement de cette brique technologique aux horizons 2020 et 2050.

L'analyse des autres secteurs économiques démontre un intérêt plus limité en l'état des connaissances actuelles et ne permet pas d'envisager un développement massif des microalgues dans ces secteurs avant 2020 et très hypothétique à l'horizon 2050.

La méthodologie mise au point dans cette étude a permis de proposer une estimation réaliste du potentiel de production de microalgues et de biométhane 3G basée sur une disponibilité réelle et au même point géographique des surfaces et des intrants nécessaires ainsi que sur des perspectives de plan d'affaire et de marché démontrées dans la littérature.

L'exercice démontre l'impact majeur de l'amélioration des rendements de production et de conversion qu'il est possible d'envisager d'ici 2050. L'accès à ces améliorations reste néanmoins conditionné par un effort de recherche important qui sera à même de générer des ruptures techniques et économiques indispensables au développement de ces technologies à l'horizon 2050.

La faible maturité des technologies et des marchés ne permet à l'heure actuelle que de pousser l'analyse que sur un nombre réduit de secteur. En fonction de l'évolution des connaissances sur ce domaine, des études complémentaires et des mises à jour pourront être réalisées dans les prochaines années afin de confirmer et d'enrichir cette première analyse. Des études plus approfondies sur les secteurs clés identifiés permettront de préciser les conditions technico-économiques d'émergence de cette brique technologique en affinant les modèles d'affaires et la faisabilité technique sur des sites identifiés.

GLOSSAIRE

Biométhane 3^e génération : La biomasse utilisée pour les carburants de 3^e génération est issue des algues : « microalgues et également macroalgues en condition autotrophe (capacité à synthétiser de la matière organique à partir de la matière minérale) »¹⁸. Les microalgues cultivées en conditions hétérotrophes ne sont donc pas incluses dans cette étude.

DBO₅ : Demande Biologique en Oxygène

COT : Carbone Organique Total

COV : Composé Organique Volatil

CPCU : Compagnie Parisienne de Chauffage Urbain

DCE : **Directive Cadre sur l'Eau**

DCO : Demande Chimique en Oxygène

GIC : Grandes Installations de Combustion

HAP : Hydrocarbure Aromatique Polycyclique

iREP : Registre Français des Émissions Polluantes

ISDD : Installation de Stockage de Déchets Dangereux

ISDND : Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux

MES : Matières en Suspension

MS : Matière Sèche

MTD : Meilleures Techniques Disponibles

NEC : National Emission Ceilings

PBR : PhotoBioRéacteur

PNAQ : **Plan National d'Allocation des Quotas**

PNAR : **Plan National d'Action et de Réduction de substances dangereuses**

PPA : **Plan de Protection de l'Atmosphère**

REACH: Registration, Evaluation, Authorization of Chemicals

SAU : Surface Agricole Utile

STEU : Station de Traitement des Eaux Usées

UIC : Union des Industries Chimiques

¹⁸ Définition accessible sur : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Biocarburants.pdf>

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Chaîne de la valeur de la filière biométhane de 3 ^{ème} génération.....	2
Figure 2 : Panorama technique de la filière Biométhane de 3 ^{ème} génération	3
Figure 3 : Evaluation du potentiel de production de biométhane global en France à l’horizon 2020 et 2050	4
Figure 4 : Applications et marchés potentiels des microalgues (8)	17
Figure 5 : Les laboratoires de recherche et les entreprises de microalgues et de macro-algues en France en 2011 (5)	18
Figure 6 : Valorisation énergétique des microalgues	19
Figure 7 : Réaction de trans-estérification (26)	20
Figure 8 : Fermentation de la biomasse microalgale	21
Figure 9 : Filière microalgues : de la biorémédiation à la multivalorisation.....	22
Figure 10 : Schéma récapitulatif de la méthodologie employée pour l'estimation du potentiel biométhane 3G ..	24
Figure 11 : Ensemble des secteurs couverts dans l’étude de potentiel Biométhane 3G	25
Figure 12 : Flux estimé de biomasse microalgale dans le secteur chimie/raffinage/pétrochimie	37
Figure 13 : Flux de biomasse microalgale dans le secteur Alimentation pour animaux.....	41
Figure 14 : Flux de biomasse microalgale dans le secteur Services à l'Environnement	42
Figure 15 : Potentiel de production de biométhane de 3 ^e génération dans les secteurs porteurs de croissance à horizon 2020 – hypothèse d’accès à la surface présente sur les sites industriels	44
Figure 16 : Potentiel de production de biométhane 3G à horizon 2020 dans le cas où des surfaces supplémentaires seraient mobilisées afin de satisfaire les quantités demandées sur les marchés	45
Figure 17 : synthèse des potentiel techniques de production de biométhane 3G aux horizons 2020 et 2050 ...	46
Figure 18 : Ensoleillement en France métropolitaine en kWh/m ² /j(25)	55

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Composition des microalgues	12
Tableau 2 : Comparaison des deux systèmes de production de microalgues.....	13
Tableau 3 : Productivité actuelle obtenue par les systèmes de production de microalgues.....	14
Tableau 4 : Potentialités naturelles et industrielles des microalgues	15
Tableau 5 : Production de biométhane à partir des microalgues et d'autres biomasses conventionnelles	21
Tableau 6 : Définition de l'indice de potentiel de déploiement utilisé pour la classification des secteurs.....	29
Tableau 7 : Estimations de la productivité pour les deux technologies de culture de microalgues aux horizons de temps 2020 et 2050	30
Tableau 8 : Classification des secteurs selon l'indice de potentiel de déploiement	32
Tableau 9 : Intégration des microalgues dans le secteur chimie/raffinage/pétrochimie, cas de deux applications en chimie.....	35
Tableau 10 : Intégration des microalgues dans les secteurs alimentation pour animaux.....	38
Tableau 11 : Énergie lumineuse en France (25).....	55
Tableau 12 : Estimation du rendement photosynthétique et de la productivité associée (27)(28).....	57
Tableau 13 : Exemples de technologies de production de microalgues en systèmes ouverts (ponds)	60
Tableau 14 : Exemples de technologies de production de microalgues en systèmes fermés (photobioréacteurs)	61

BIBLIOGRAPHIE

1. **BOROWITZKA, M.A.** Commercial production of microalgae : ponds, tanks, tubes and fermenters. *Journal of Biotechnology*. 1999, 70, p. 313.
2. **BECKER, E.W.** *Microalgae - Biotechnology and Microbiology*. s.l. : Cambridge studies in Biotechnology, 1994.
3. **CADORET, J.P. and BERNARD, O.** La production de biocarburant lipidique avec des microalgues : promesses et défis. *Journal de la Société de Biologie*. 2008 йил, Vol. 202, 3, p. 201.
4. **LARDON, L., et al.** Life-cycle assessment of biodiesel production from microalgae. *Environmental Science & Technology*. 2009 йил, Vol. 43, 17, p. 6475.
5. **INRA.** GreenStars : vers une nouvelle génération de biocarburants et de produits à partir de microalgues. *INRA*. [Online] 2012 йил 9-Mars. [Cited: 2012 йил 11-October.] <http://www.inra.fr/presse/greenstars>.
6. **BIOFAT.** BIOFAT - BIOfuels From Algae Technologies. *BIOFAT*. [Online] [Cited: 2012 йил 11-October.] <http://www.biofatproject.eu/>.
7. **PERSON, Julie.** *Livre turquoise : Algues, filières du futur*. s.l. : AdebioTech, 2011.
8. **CHISTI, Y.** Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*. 2007, Vol. 25.
9. **SIALVE, B., BERNET, N. et BERNARD, O.** Anaerobic digestion of microalgae as a necessary step to make microalgal biodiesel sustainable. *Biotechnology Advances*. 2009, Vol. 27, p. 409.
10. **TAKESHITA, T.** Competitiveness, role, and impact of microalgal biodiesel in the global energy future. *Applied Energy*. 2011 йил.
11. **STEPHENS, E.& al.** Future prospects of microalgal biofuel production systems. *Trends in plant science*. 2010 йил.
12. **WIGMOSTA, M.S. & al.** National microalgae biofuel production potential and resource demand. *Water Resources Research*. 2011 йил.
13. **PATE, R. & al.** Resource demand implications for US algae biofuels production scale-up. *Applied Energy*. 2011 йил.
14. **VAN HARMELEN, T. & al.** *Microalgae biofixation processes : applications and potential contributions to greenhouse gas mitigation options*. 2006.
15. **MUSSGUG, J.H., et al.** Microalgae as substrates for fermentative biogas production in a combined biorefinery concept. *Journal of Biotechnology*. 2010 йил.
16. **GOLUEKE, C.G., OSWALD, W.J. and GOTAAS, H.B.** Anaerobic digestion of algae. *Applied Microbiology*. 1957 йил, Vol. 5, 1, p. 47.
17. **RAS, M., et al.** Experimental study on a coupled process of production and anaerobic digestion of *Chlorella vulgaris*. *Bioresource Technology*. 2010 йил.
18. **SOLAGRO.** *La digestion anaérobie des boues urbaines : état des lieux, état de l'art*. 2001.
19. **DENA.** Overview of European biomethane markets. *DENA*. [Online] [Cited: 2012 йил 12-octobre.] <http://www.dena.de/en/news/news/overview-of-european-biomethane-markets-published.html>.
20. **CEREPLAST.** CEREPLAST. [Online] [Cited: 2012 йил 12-October.] <http://www.cereplast.com/>.
21. **Wageningen University.** AlgiCoat : Coating components firing the economy biorefinery of algae. *Wageningen University : research on microalgae*. [Online] [Cited: 2012 йил 12-October.] <http://www.algae.wur.nl/UK/projects/AlgiCoat+Coating+Components+firing+the+Economic+Biorefinery+of+Algae/>.
22. **INSEE.** Utilisation du territoire et des terres arables en 2010. *INSEE*. [En ligne] [Citation : 15 Octobre 2012.] http://www.insee.fr/fr/themes/tableau.asp?ref_id=NATnon10206®_id=0.
23. **SOLAGRO.** *Afeterres2050, Scénario d'utilisation des terres agricoles et forestières pour satisfaire les besoins en alimentation, en énergie, en matériaux et réduire les gaz à effet de serre*. 2011.
24. **LARDON, L., et al.** Life-cycle assessment of biodiesel production from microalgae. *Environmental Science & Technology*. 2009, Vol. 43, 17.
25. **SHEEHAN, J., et al.** *A look back at the U.S. Department of Energy's Aquatic Species Program - Biodiesel from algae*. 1998.
26. **CARLSSON, A.S., et al.** *Micro- and macro-algae : utility for industrial applications*. 2007.

27. **HESPUL.** Le rayonnement solaire. *HESPUL*. [En ligne] [Citation : 4 octobre 2012.] <http://hespul.org/Le-rayonnement-solaire.html>.
28. **CADORET, JP et BERNARD, O.** La production de biocarburant lipidique avec des microalgues : promesses et défis. *Journal de la Société de Biologie*. 2008, Vol. 202, 3, p. 201.
29. **BEN-AMOTZ, A.** Document pdf. *Large scale open algae ponds*.
30. **BENEMANN, J.R.** Document pdf. *Open ponds and closed photobioreactors - comparative economics*. 2008.
31. **LEFEUVRE, A-L. et GUERRINI, O.** *Analyse technico-économique des procédés de biorémediation du CO2 par les algues pour des installations thermiques de moyenne puissance*. s.l. : GDF SUEZ, 2009. M.DU.CHENE.2009.0234.OG.
32. **CALU, G.** Biodiesel et microalgues. *SpectroSciences*. [En ligne] 2006. [Citation : 4 janvier 2010.] <http://www.spectrosciences.com/spip.php?article26>.
33. **AMIN, S.** Review on biofuel oil and gas production processes from microalgae. *Energy Conversion and Management*. 2009, 50, p. 1834.
34. **SIALVE, B., BERNET, N. et BERNARD, O.** Anaerobic digestion of microalgae as a necessary step to make microalgal biodiesel sustainable. *Biotechnology Advances*. 2009, 27, p. 409.

Annexe 1 : Aspects techniques de la production de microalgues : calcul du rendement photosynthétique

Néanmoins, ce rendement n'est jamais atteint dans les systèmes de culture de microalgues et ceci pour plusieurs raisons :

- Pertes dues à la réflexion et à la dispersion de la surface du réacteur
- Pertes dues à la photoinhibition¹⁹,
- **Pertes dues à la limitation de la transmission d'énergie lumineuse dans la profondeur de la culture,**
- Pertes dues à la saturation de la lumière²⁰,
- **Pertes dues à la photorespiration (jusqu'à 25 % de la biomasse produite pendant la journée peut être perdue durant la nuit à cause de la respiration (26)).**

En pratique, ce rendement est plutôt situé entre 1 et 3 % comme le montre le Tableau 12.

Les productivités associées annoncées ne sont valables que pour un accès aux nutriments correspondant aux besoins des microalgues ; la seule limite à la productivité dans ce calcul étant l'énergie lumineuse.

¹⁹ Inhibition de la photosynthèse causée par de trop fortes intensités lumineuses.

²⁰ Les microalgues situées à la surface font écran aux microalgues situées plus en profondeur pour le captage des photons nécessaires pour la photosynthèse.

Tableau 12 : Estimation du rendement photosynthétique et de la productivité associée (27)(28)

	RENDEMENT PHOTOSYNTHETIQUE ACTUEL – HORIZON 2020		RENDEMENT PHOTOSYNTHETIQUE HORIZON 2050		RENDEMENT PHOTOSYNTHETIQUE THEORIQUE MAXIMUM ²¹
	POND	PHOTOBIOREACTEUR	POND	PHOTOBIOREACTEUR	
Conversion de la lumière en biomasse microalgale (1 mole de carbone = 475 kJ, 1 mole photon (dans les longueurs d'onde désirées) = 217 kJ, il faut 10 moles de photons pour fixer une mole de CO ₂ ==> 475/(10*217)=22%)	22 %	22 %	22 %	22 %	22 %
Efficacité de la transmission de la lumière aux microalgues (correspond au spectre solaire exploitable par les photosystèmes, principalement dans le rouge et le bleu)	45 %	45 %	45 %	45 %	45 %
Pertes dues à la réflexion et à la dispersion à la surface du réacteur²²	10 %	3 %	10 %	2 %	/
Pertes dues à la photoinhibition	10 %	10 %	10 %	10 %	/
Pertes dues à la limitation de la transmission d'énergie lumineuse dans la profondeur de la culture	50 %	25 %	35 %	15 %	/
Pertes dues à la saturation de la lumière	65 %	40 %	45 %	20 %	/
Pertes dues à la respiration, excrétion	15 %	15 %	15 %	15 %	/
RENDEMENT PHOTOSYNTHETIQUE GLOBAL	1,19 %	3,31 %	2,44 %	5,05 %	9,9 %
PRODUCTIVITE BIOMASSE MICROALGALE					
Pouvoir calorifique moyen des microalgues = 22 GJ/t					
<i>Paris</i>	24 t/ha/an 6,4 g/m²/j	65 t/ha/an 17,7 g/m²/j	48 t/ha/an 13,1 g/m²/j	100 t/ha/an 27 g/m²/j	195 t/ha/an 53 g/m²/j
<i>Marseille</i>	37 t/ha/an 10,1 g/m²/j	103 t/ha/an 28 g/m²/j	76 t/ha/an 20,7 g/m²/j	157 t/ha/an 42,8 g/m²/j	307 t/ha/an 83,8 g/m²/j
<i>Moyenne France</i>	27 t/ha/an 7,4 g/m²/j	76 t/ha/an 20,6 g/m²/j	56 t/ha/an 15,2 g/m²/j	116 t/ha/an 31,4 g/m²/j	227 t/ha/an 61,6 g/m²/j

²¹ Le rendement photosynthétique théorique est le rendement pouvant être obtenu dans des conditions optimales, sans aucune perte. Certaines activités de Recherche et Développement ont pour objectif de se rapprocher de ce rendement optimal.

²² Ces pertes sont moins importantes lorsque la culture se fait dans des photobioréacteurs car la géométrie de ces derniers et les matériaux utilisés permettent d'optimiser la pénétration de la lumière.

Les améliorations technologiques des systèmes de culture portent principalement sur l'augmentation des rendements surfaciques ainsi que sur l'optimisation de l'efficacité énergétique du système tout en diminuant les coûts d'un tel système.

L'augmentation des rendements surfaciques passe principalement par l'amélioration du rendement photosynthétique. Comme mis en évidence dans le Tableau 12, **des pertes importantes de l'énergie lumineuse** grèvent le rendement photosynthétique. Une meilleure gestion des conditions de mélange **dans la culture** ainsi que **l'utilisation de nouveaux matériaux** pour le réacteur de culture permettront d'améliorer ce rendement à horizon 2050 (cf. perspectives d'améliorations dans le Tableau 12).

Annexe 2 : Exemples de technologies de production de microalgues

Tableau 13 : Exemples de technologies de production de microalgues en systèmes ouverts (ponds)

ACTEUR	PRINCIPE	AVANTAGES	INCONVENIENTS	DEGRE DE MATURETE	ANALYSE TECHNIQUE
<p>ALGAEVENTURE SYSTEMS Site internet : www.algaeventuresystems.com Année lancement : 1988 Nombre d'employés : 11</p>  <p>CA : 450 000 \$</p>	<p>Modèle d'affaire : Utilisation d'un système de culture de microalgues recouvert d'un plastique transparent afin de produire du biocarburant, des bioplastiques et des produits à forte valeur ajoutée.</p> <p>Ce système, appelé RAF (= Rapid Algae Farming), est complètement automatisé.</p> <p>Productivité annoncée : 180 000 L.ha⁻¹.an⁻¹ d'huile algale soit une productivité de 540 t.ha⁻¹.an⁻¹ en biomasse sèche.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Utilisation de fumées industrielles ✓ Permet d'éviter les contaminations ✓ Permet de traiter les eaux usées ✓ Système complètement automatisé 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aucune optimisation des transferts de gaz et de matière ✓ Transfert de lumière non optimisé 	<p>Ils possèdent actuellement une unité pilote mais n'ont pas encore vendu leur système à des industriels.</p>	<p>La productivité annoncée est supérieure à ce qui est obtenu actuellement dans les ponds (7000 – 15 000 L.ha⁻¹.an⁻¹).</p>
<p>PETROALGAE Site internet : www.petroalgae.com Année lancement : 2006 Nombre d'employés : 115 CA : 350 000 \$</p> 	<p>Modèle d'affaire : Culture de lentilles d'eau (et non de microalgues) dans des réacteurs ouverts automatisés pour une valorisation énergétique et une valorisation en produits à forte valeur ajoutée.</p> <p>Productivité annoncée : 90-100 t.ha⁻¹.an⁻¹ en biomasse sèche.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Possibilité d'utiliser le CO₂ issu des fumées industrielles ✓ Recyclage de l'eau ✓ Système automatisé (contrôle de la densité optique pour procéder à la récolte, contrôle des nutriments) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Évaporation importante ✓ Le système de mélange n'est pas optimisé pour un transfert de matière maximal 	<p>Ils ont un site R&D opérationnel. Ils ont vendu 10 licences à GTB Power pour faire des installations en Chine. Ils projettent de construire une unité pilote en Inde.</p>	<p>Les productivités annoncées sont supérieures à ce qui est obtenu actuellement dans les ponds (entre 25 et 50 t.ha⁻¹.an⁻¹ en biomasse sèche).</p>

Tableau 14 : Exemples de technologies de production de microalgues en systèmes fermés (photobioréacteurs)

ACTEUR	PRINCIPE	AVANTAGES	INCONVENIENTS	DEGRE DE MATURITE	ANALYSE TECHNIQUE
<p>ALGENOL BIOFUELS Site internet : www.algenolbiofuels.com Année lancement : 2006 Nombre d'employés : 120 CA : 82 000 \$</p> 	<p>Modèle d'affaire : Production d'éthanol à partir de microalgues.</p> <p>La technologie « Direct To Ethanol » permet de cultiver des microalgues dans des conteneurs en plastique transparent fermés. Ces microorganismes vont produire de l'éthanol directement à l'intérieur de leurs cellules.</p> <p>Productivité annoncée : 56 000 L.ha⁻¹.an⁻¹ d'éthanol.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Captage du CO₂ provenant des fumées industrielles ✓ Utilisation de l'eau de mer 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pas d'optimisation des transferts de matière et de lumière ✓ L'évaporation (permettant de récupérer l'éthanol) est un phénomène lent 	<p>Coopération avec DOW CHEMICALS pour faire une installation pilote de 10 ha. La construction débutera en 2010. Objectif à long terme: développement d'une installation dans le désert de Sonora (Mexico) sur 70 000 ha. Coopération avec LINDE pour la gestion optimale du CO₂ et de l'O₂ pour la technologie « Direct To Ethanol »(22).</p>	<p>L'éthanol, produit directement dans les cellules des microalgues, est récupéré sur les parois du photobioréacteur après évaporation. Ce mécanisme nécessite un ensoleillement important et est un phénomène lent. Le mélange eau purifiée/éthanol qui est récupéré sur les surfaces du réacteur nécessitera une étape de séparation.</p>
<p>SOLIX BIOFUELS Site internet : www.solixbiofuels.com Année lancement : 2006 Nombre d'employés : 16 CA : 1 400 000 \$</p> 	<p>Modèle d'affaire : Production de biocarburant et de produits à forte valeur ajoutée à partir de microalgues par la technologie AGS (= Algal Growth System).</p> <p>La culture de microalgues se fait dans des sacs fermés situés dans des bassins ouverts et remplis d'eau. Les membranes de ces sacs sont adaptées au passage du CO₂ et à l'élimination de l'O₂.</p> <p>Productivité annoncée : 20 000 L.ha⁻¹.an⁻¹ d'huile algale soit une productivité d'environ 60 t.ha⁻¹.an⁻¹ en biomasse sèche.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Captage des émissions de CO₂ ✓ Coût faible des réacteurs ✓ Traitement des eaux usées 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Nettoyage des plastiques non aisé ✓ Mélange non optimisé pour un transfert de matière maximal 	<p>Ils possèdent actuellement une installation pilote et une installation de démonstration de 2 ha. Cette dernière est couplée à une installation industrielle dont tous les rejets (eau + gaz) sont utilisés pour la culture de microalgues. SOLIX BIOFUELS prévoit d'ouvrir ses premières unités commerciales dans les 2 à 4 ans à venir.</p>	<p>La productivité annoncée correspond aux productivités obtenues actuellement dans les photobioréacteurs. Ce système de culture de microalgues peut être utilisé en pleine mer ou dans des lacs ce qui éviterait l'utilisation de l'eau (nécessaire en grande quantité pour la culture de microalgues) et d'espace.</p>

Annexe 3 : Fiches sectorielles d'analyse du potentiel d'implantation des technologies microalgues dans les différents secteurs de l'économie française aux horizons 2020 et 2050

Industries

1. Chimie – Raffinage – Pétrochimie

1. Chimie

Description du secteur de la Chimie					
CONTEXTE – ENJEUX	Le secteur de la chimie se répartit en quatre grands domaines : la chimie de base (chimie minérale et chimie organique), la chimie fine, la chimie de spécialité et la pharmacie ²³ . La France est le 5 ^e producteur mondial. Elle possède cinq plateformes industrielles de chimie.				
	L'industrie chimique française s'est engagée dans le cadre du Grenelle de l'Environnement à passer d'une utilisation de 5-8 % de matières premières végétales à 15 % d'ici 2017 et 50 % d'ici 2050. Ce secteur est habitué à traiter de nombreux coproduits et reste particulièrement intéressée par une évolution vers un concept de bioraffinerie compétitif avec les produits fossiles.				
CARACTERISTIQUES EFFLUENTS	Les caractéristiques des effluents liquides (eaux de procédé principalement) sont très différentes d'un site de production à l'autre en fonction des produits fabriqués et en fonction du domaine de la chimie concerné.				
		Émissions globales en t/an ²⁴	Émissions MTD ²⁵	Compatibilité pour les algues	
	Effluents gazeux				
	CO ₂	17 000 000		✓	
	COV	26 000		ND ²⁶	
	NOx	23 000	20 - 300 mg/Nm ³	✓	
	Poussières totales	4 700	5 - 15 mg/Nm ³	Filtration nécessaire	
	SOx	46 000	40 - 50 mg/Nm ³	✓	
	Effluents liquides				
	DCO	30 976	30 - 250 mg/L	✓	
	MES	17 886	10 - 20 mg/L	ND	
	P	541	0,5 - 1,5 mg/L	✓	
	COT	-	-	ND	
N _{tot}	7 225	30 - 50 mg/L	✓		
REGLEMENTATION	Effluents gazeux : GIC, NEC, quotas CO ₂ Effluents liquides : DCE, REACH, PNAR Grenelle de l'Environnement : utilisation de 15 % de matières premières végétales d'ici 2017 et 50 % d'ici 2050.				
TENDANCE DE CE SECTEUR SUR LE MARCHÉ FRANÇAIS	Légèrement à la baisse ou stable				
CONSOMMATEUR DE GAZ NATUREL	oui	Source : iREP			
NOMBRE DE SITES DE PRODUCTION ACTUELS EN FRANCE	2238 sites	Source : <i>Les industries chimiques, Synthèse Prospective emploi-compétences, Ministère de l'économie, de l'industrie et de l'emploi</i>			
SURFACE MOYENNE DISPONIBLE A PROXIMITÉ	6 ha	Source : moyenne sur 8 sites représentatifs du secteur			
		Usine	Activité	Milieu	Surface
		ARKEMA usine de Pierre-Bénite	Production de produits chimiques	urbain	0,35 ha

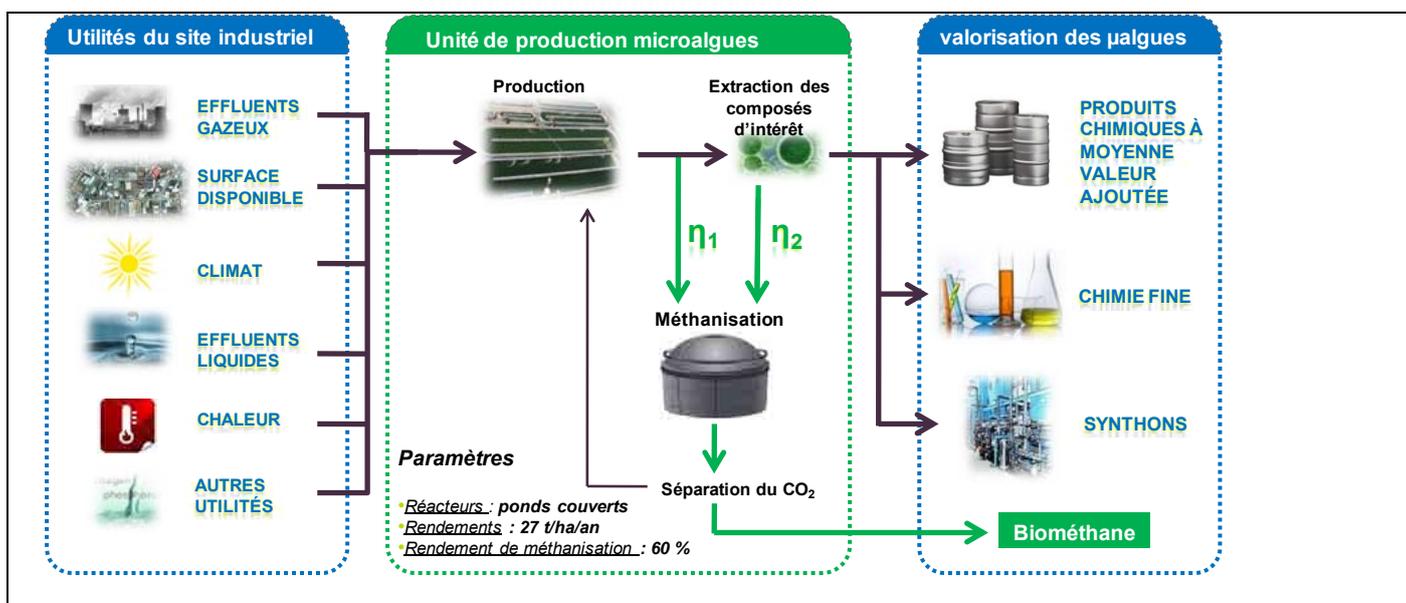
²³ http://www.uic.fr/Differents_secteurs_de_la_chimie.asp

²⁴ Enquête UIC 2008

²⁵ MTD 2003 « Systèmes communs de traitement des eaux et gaz résiduaux dans l'industrie chimique »

²⁶ ND : effet non démontré expérimentalement

		ARKEMA usine de Lannemezan RHODIA usine Belle Étoile RHODIA usine Clamecy RHODIA usine de Collonges-au-Mont-d'Or RHODIA usine de Salindres Oril Industrie usine de Bolbec Grande Paroisse SA	Production de produits chimiques et dérivés Production de polyamides et de plastiques Production de produits chimiques Production de produits chimiques Production de produits chimiques Production pharmaceutique Production de produits chimiques	rural urbain rural périurbain périurbain rural Zone portuaire	0,37 ha 1,97 ha 0,77 ha 1,05 ha 24,7 ha 4,59 ha 12,4 ha		
		Surface moyenne				5,78 ha	
OPPORTUNITES UTILISATION MICROALGUES	<ul style="list-style-type: none"> • Energétique : vecteur biométhane • Non énergétique : traitement des effluents, chimie verte (biofloculants, biopolymères, bioplastiques, lipides, tensio-actifs, agents de surfaces, peintures, colorants, pigments, ...) 						
PROBLEMATIQUES MAJEURES IDENTIFIEES	<ul style="list-style-type: none"> • Contraintes réglementaires fortes du secteur concernant le traitement des effluents de type : NOx et des eaux de procédé ; les eaux de procédé pouvant contenir un nombre important de composés chimiques, les microalgues ne constitueraient pas la solution de traitement alternative. • Problématique sur l'utilisation de matières premières d'origine végétale dont les microalgues pourraient constituer une des solutions pour certains produits. 						
POTENTIEL DEVELOPPEMENT DES MICROALGUES A TERME	Horizon de déploiement		2020 – secteur à fort intérêt avec importante création de valeur				
	Indice de potentiel de déploiement de la technologie		5/5				
	<p>Vecteurs de déploiement : les chimistes actuels visent à verdir progressivement une part importante de leurs molécules chimiques à un coût compétitif avec les bases pétrochimiques conventionnelles (objectif d'utiliser 15 % de matières premières végétales d'ici 2017 et 50 % d'ici 2050. Les substrats d'origine lignocellulosiques constitueront une source importante de briques chimique mais sera fortement limitée par les usages matériaux et énergie. Le secteur cherchera à maîtriser des ressources de qualité avec un minimum de conflits d'usage. Les microalgues disposent d'une gamme très large de composés dont la synthèse naturelle peut être contrôlée pendant le processus de culture. Elles peuvent être cultivée de manière autonome en synergie avec de nombreux sites industriels actuels avec des rendements attractifs (disponibilité d'utilités clés : eau, composés azotés, CO₂,...).</p>						
MODELE DE PRODUCTION DES MICROALGUES	Type de réacteur envisagé : Ponds couverts		Compte tenu de la surface disponible et des quantités nécessaires, ces réacteurs semblent les plus appropriés au modèle d'affaire envisagé				
	Rendements : 27 T/ha/an		Cf. Annexe 1				
Schéma technique envisagé pour l'insertion de la brique technologique µalgues dans le secteur de la Chimie :							



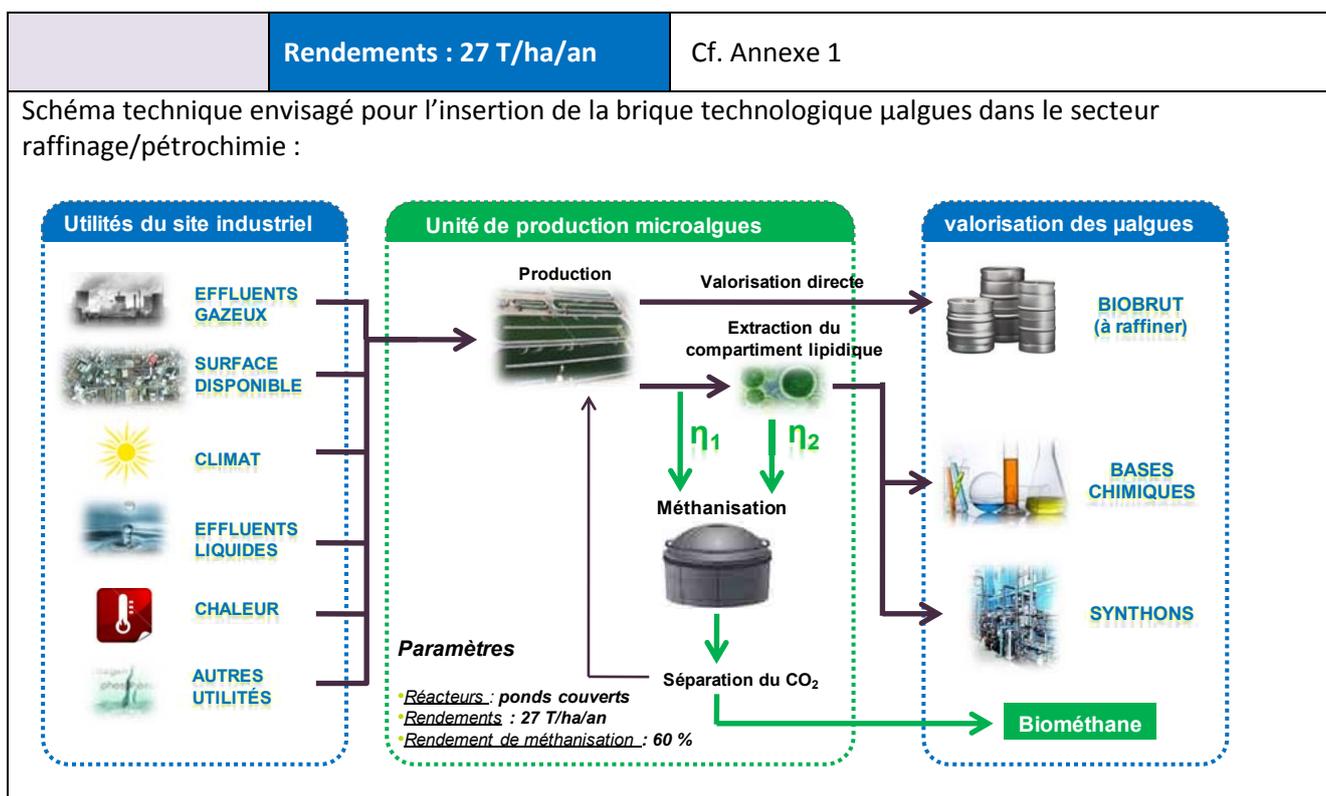
MODELE TECHNIQUE DE PRODUCTION D'ENERGIE A PARTIR DES MICROALGUES	Type d'énergie produite	Biométhane – valorisable directement sur site (procédé industriel, flotte captive,...) ou via injection réseau	
	Production du biométhane sur base de 2 substrats :	Le biométhane se révèle être le meilleur complément à une extraction de composés à valeur ajoutée qui va laisser un reliquat important de matière organique pouvant être traité par méthanisation ou co-méthanisation avec un très haut rendement. En fonction des flux de production nécessaires, une part de microalgues peut être affectée directement à la production d'énergie.	
	- Microalgues - Reliquat d'extraction		
	Type de technologie de méthanisation	Méthanisation simple ou co-méthanisation	
	Rendement de méthanisation	60%	Réf. : données internes GDF SUEZ validées expérimentalement
	Part de la biomasse algale produite entrant directement dans la filière énergie	$\eta_1 = 15\%$	Part liée à un ajustement de la production au regard des besoins en énergie renouvelables
Part de la biomasse algale disponible sous forme de reliquat et entrant dans la filière énergie	$\eta_2 = 66\%$	Réf. : moyenne des dires d'expert consultés (Rhodia/Abengoa/BFS) – techniques pour l'ingénieur	

2. Raffinage et pétrochimie

Description du secteur Raffinage - Pétrochimie				
CONTEXTE – ENJEUX	<p>L'objectif du raffinage est de produire des composés commercialisables à partir des pétroles bruts. Ces produits sont principalement destinés aux applications du transport (carburants automobiles, carburateurs pour l'aviation, gazoles moteurs et fuel oil domestique, des fuels lourds pour les navires ou à usage domestique) mais également de bases pétrochimiques destinées au secteur de la chimie. Ce secteur en décroissance dans les pays développés est un important émetteur de GES et d'effluents liquides.</p> <p>La pétrochimie représente 10% des débouchés du raffinage.</p>			
CARACTERISTIQUES EFFLUENTS	<p>Les effluents gazeux proviennent principalement des fours de process, des chaudières (lors de la combustion des fiouls lourds de la raffinerie), des régénérateurs de catalyseur du four de craquage catalytique, Les COV proviennent du stockage et de la manutention d'équipements, des unités de séparation des gaz, de la séparation eau/pétrole,</p> <p>Les effluents liquides peuvent provenir des unités de distillation, de l'hydrotraitement, du craquage catalytique, de l'hydrocraquage, Les principaux polluants sont de l'huile et des hydrocarbures.</p>			
		Émissions en t/an ²⁷	Concentration	Compatibilité pour les µalgues
	Effluents gazeux			
	COV	600 - 10 000	-	ND
	CO ₂	28 500 - 1 120 000	-	✓
	NO _x	50 - 5000	130 - 420 mg/Nm ³	✓
	SO _x	6 000	226 - 2064 mg/Nm ³	✓
	Particules (y compris les métaux lourds : principalement Arsenic, Nickel et Vanadium)	100 - 20 000	-	ND – l'impact des métaux lourds reste à valider
	Effluents liquides			
	Hydrocarbures		40 mg/L	✓
	DCO		300 mg/L	ND
	DBO ₅		150 mg/L	ND
	Matières en Suspension		10 - 20 mg/L	Traitement nécessaire
	Phénols		12 mg/L	✓
	Sulfures		5 mg/L	✓
	N _{tot}		25 mg/L	✓
	Phosphates		5 mg/L	✓
	Fluorure		0 - 30 mg/L	✓
	Cyanures		0 - 3 mg/L	ND
HAP		0,1 mg/L	ND	
Métaux lourds		1 mg/L	Traitement supplémentaire nécessaire	
REGLEMENTATION	<p>Effluents gazeux : Durcissement des spécifications européennes concernant les rejets atmosphériques notamment avec des normes sur la qualité des produits pétroliers, NEC, GIC, COV (application de l'arrêté du 29 mai 2000 : abaissement des valeurs limites pour les composés organiques volatils, prise en compte de COV spécifiques, des émissions diffuses, ...), quotas CO₂.</p> <p>Biocarburants : Objectif de production d'énergie en France de 23 % à partir de sources</p>			

²⁷ BREF Raffineries de pétrole et de gaz, 2003.

	renouvelables dans la consommation d'énergie finale brute avec un objectif d'incorporation de biocarburants et autres carburants d'origine renouvelable à hauteur de 10% d'ici 2020 dans le secteur des transports.			
TENDANCE DE CE SECTEUR SUR LE MARCHÉ FRANÇAIS	Secteur en décroissance			
CONSOMMATEUR DE GAZ NATUREL	oui	Source : iREP		
NOMBRE DE SITES DE PRODUCTION ACTUELS EN FRANCE	Pétrochimie : 9 Raffinage : 14	Source : CRIGEN/GDF SUEZ (2005)		
SURFACE MOYENNE DISPONIBLE A PROXIMITÉ	Pétrochimie : 13 ha Raffinage : 5 ha	Source : quelques sites représentatifs du secteur		
		Usine	Activité	Milieu
		TOTAL Raffinerie de Normandie	Raffinerie	Zone portuaire
		TOTAL Petrochemicals usine Carling – Saint Avold	Production de produits pétrochimiques	rural
				Surface
				5,27 ha
				12,5 ha
OPPORTUNITÉS UTILISATION MICROALGUES	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Energétique</u> : intérêt pour la production d'un BioBrut (objectif de raffinage pour production de carburants pour automobiles ou jet fuel pour les avions) utilisé comme matière première pour le raffinage, production de biométhane en complément • <u>Non énergétique</u> : traitement des effluents, production de bases chimiques vertes 			
PROBLÉMATIQUES MAJEURES IDENTIFIÉES	<ul style="list-style-type: none"> • Problématique forte sur le traitement des effluents gazeux qui deviendra de plus en plus contraignante avec la réglementation future. Néanmoins, de part les débits élevés en effluents liquides et gazeux émis par cette sur chaque site industriel, les microalgues ne constituent pas une solution unique de traitement et/ou captage de ces émissions mais plutôt complémentaire. • Problématique d'incorporation de 10% de biocarburants dans le secteur des transports d'ici 2020. L'approvisionnement via les produits issus de l'agriculture étant dorénavant restreint et la 2^{ème} génération disposant de limitations, un développement à long terme en synergie avec la 3^{ème} génération pourrait apporter un complément significatif à l'effort de déploiement des biocarburants. Cette stratégie est à relier au développement d'unités autonomes de production de biocarburants de 3^{ème} génération. • La problématique d'approvisionnement en bases carbonées renouvelables pour la pétrochimie est très proche de celle du secteur de la chimie et fortement intégrée à la stratégie de raffinage. 			
POTENTIEL DEVELOPPEMENT DES MICROALGUES A TERME	Horizon de déploiement	2020 – secteur à intérêt intermédiaire		
	Indice de potentiel de déploiement de la technologie	4/5		
	<u>Vecteurs de déploiement</u> : évolution vers l'utilisation de briques chimiques renouvelables. Développement de substrats renouvelables en synergie avec le besoin croissant de traitement avancé des effluents liquides et gazeux des unités de production basées dans les pays développés. Ce développement implique un abaissement des coûts importants			
MODELE DE PRODUCTION DES MICROALGUES	Type de réacteur envisagé : Ponds couverts	Compte tenu de la surface disponible et des quantités nécessaires, ces réacteurs semblent les plus appropriés au modèle d'affaire envisagé		



MODELE TECHNIQUE DE PRODUCTION D'ENERGIE A PARTIR DES MICROALGUES	Type d'énergie produite	<ul style="list-style-type: none"> • BioBrut : produit principal • Bases pétrochimiques : produit principal • Biométhane : coproduit issu principalement de la valorisation du reliquat de l'extraction du compartiment lipidique. 	
	Production du biométhane sur base de 2 substrats :	Le biométhane se révèle être le meilleur complément à une extraction de composés à valeur ajoutée qui va laisser un reliquat important de matière organique pouvant être traité par méthanisation ou co-méthanisation. Selon les besoins en biométhane et en traitement des effluents un part de la biomasse algale produite peut être directement affecté à une valorisation en biométhane.	
	- Microalgues		
	- Reliquat d'extraction		
	Type de technologie de méthanisation	Méthanisation simple ou co-méthanisation	
	Rendement de méthanisation	60%	Réf. : données internes GDF SUEZ validées expérimentalement
Part de la biomasse algale produite entrant directement dans la filière biométhane	η₁ = 15 %	Part liée à un ajustement de la production au regard des besoins en énergie renouvelables	
Part de la biomasse algale disponible sous forme de reliquat et entrant dans la filière énergie	η₂ = 50%	Réf. : moyenne des dires d'expert consultés – BP, STATOIL	

2. Industries Agro-alimentaires

1. Transformation et conservation de viande et préparation de produits à base de viande

Description du secteur de la Transformation et Conservation de la Viande				
CONTEXTE – ENJEUX	<p>L'industrie des viandes est segmentée en 4 secteurs selon la NAF : production de viandes de boucherie, production de viandes de volailles, préparation industrielle de produits à base de viande et charcuterie.</p> <p>La filière viande est composée de 5 étapes : l'élevage (traité dans le secteur « agriculture »), l'abattage, la découpe, la transformation (charcuterie ou plats cuisinés) et la distribution.</p> <p>La production d'eaux usées est la principale problématique pour le secteur des viandes. Des quantités importantes d'eaux sont nécessaires pour laver et décongeler la viande²⁸.</p>			
CARACTERISTIQUES EFFLUENTS	Les principaux polluants gazeux émis par les industries agro-alimentaires sont les poussières, les COV, les réfrigérants contenant de l'ammoniac et un halogène et les produits issus de la combustion (CO ₂ , NO _x , SO ₂). Les effluents liquides proviennent des déjections animales, des eaux de ruissellement ou de nettoyage des bâtiments. Ils sont composés de matières organiques (sang, suif, muqueuses) issus de l'abattage. Ils sont susceptibles de présenter une DCO et une DBO élevées. Ces eaux usées peuvent contenir une forte teneur en azote (dû au sang) et en phosphore ainsi que des virus et bactéries pathogènes et des œufs de parasites.			
		Émissions en g/kg carcasse ^{29,30}	Émissions MTD (en mg/L)	Compatibilité pour les algues
	Effluents gazeux			
	CO ₂	1 000 – 30 000	-	✓
	Effluents liquides			
	Consommation eau	Bovins : 6 - 9 L/kg carcasse Porcins : 5 - 11 L/kg carcasse Volailles : 8 L/kg carcasse		✓
	MES (matières en suspension)	Bovins : 11,8 +/- 2,5 Porcins : 9,3 +/- 3,4 Volailles : 4,5 +/- 1	< 50	A traiter avant entrée en production
	DCO	Bovins : 32,3 +/- 5,2 Porcins : 27,3 +/- 9 Volailles : 21 +/- 6	< 125	ND
	DBO ₅	Bovins : 13,2 +/- 2,2 Porcins : 13,2 +/- 4,3 Volailles : 9,3 +/- 2,5	< 25	ND
	N _{tot}	Bovins : 1,6 +/- 0,3 Porcins : 1,6 +/- 0,5	< 10	✓
Graisses	Bovins : 5,2 +/- 1,5		A prétraiter	
P		0,4 - 5	✓	
REGLEMENTATION	Effluents liquides : DCE, REACH, PNAR.			
TENDANCE DE CE SECTEUR SUR LE MARCHE FRANÇAIS	Légèrement à la baisse ou stable ³¹ (aujourd'hui environ -1,5% par an)			
CONSOMMATEUR DE GAZ NATUREL	oui	Source : iREP		
NOMBRE DE SITES DE PRODUCTION ACTUELS	1265 : 962 abattoirs + 303 entreprises de préparations industrielles à base de	Source : Filière Abattoir : Synthèse des études et données économiques et		

²⁸ BREF Industries Agro-alimentaires et laitières, 2006.

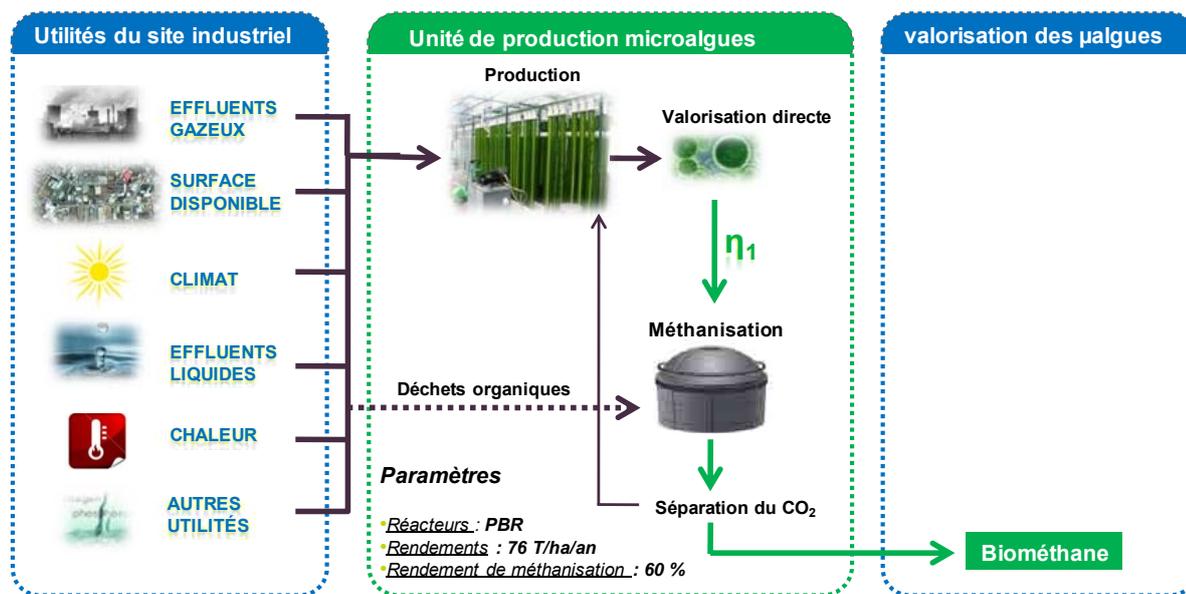
²⁹ Carcasse bovin = 320 - 350 kg ; carcasse porcine = 80 - 90 kg ; carcasse volaille = 1,4 - 1,5 kg.

³⁰ Mémento technique de l'eau

³¹ <http://panorama-iaa.alimentation.gouv.fr/Industrie-des-viandes>

EN FRANCE	viande.	sanitaires disponibles fin 2010, 2011, Ministère de l'Agriculture																																																													
SURFACE MOYENNE DISPONIBLE A PROXIMITE	1,5 ha	Source : moyenne sur 9 sites représentatifs du secteur																																																													
		<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="550 259 774 293">Usine</th> <th data-bbox="774 259 1077 293">Activité</th> <th data-bbox="1077 259 1212 293">Milieu</th> <th data-bbox="1212 259 1482 293">Surface</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="550 293 774 349">Fleury Michon, La Meilleraie-Tilly</td> <td data-bbox="774 293 1077 349">Charcuterie, plats préparés</td> <td data-bbox="1077 293 1212 349">rural</td> <td data-bbox="1212 293 1482 349">1,5 ha</td> </tr> <tr> <td data-bbox="550 349 774 439">Luissier Bordeau Chesnel, Champagné</td> <td data-bbox="774 349 1077 439">Usine de charcuterie et siège social</td> <td data-bbox="1077 349 1212 439">urbain</td> <td data-bbox="1212 349 1482 439">0,24 ha</td> </tr> <tr> <td data-bbox="550 439 774 506">Bigard, Quimperlé</td> <td data-bbox="774 439 1077 506">Usine (abattoir) et siège social</td> <td data-bbox="1077 439 1212 506">urbain</td> <td data-bbox="1212 439 1482 506">1,09 ha</td> </tr> <tr> <td data-bbox="550 506 774 539">Bigard, Castres</td> <td data-bbox="774 506 1077 539">Abattoir</td> <td data-bbox="1077 506 1212 539">rural</td> <td data-bbox="1212 506 1482 539">2,6 ha</td> </tr> <tr> <td data-bbox="550 539 774 573">Charal, Metz</td> <td data-bbox="774 539 1077 573">Abattoir</td> <td data-bbox="1077 539 1212 573">Périurbain</td> <td data-bbox="1212 539 1482 573">1,33 ha</td> </tr> <tr> <td data-bbox="550 573 774 629">Charal, Sablé-sur-Sarthe</td> <td data-bbox="774 573 1077 629">Boucherie</td> <td data-bbox="1077 573 1212 629">Périurbain</td> <td data-bbox="1212 573 1482 629">3,47 ha</td> </tr> <tr> <td data-bbox="550 629 774 685">Madrage, Feytiat</td> <td data-bbox="774 629 1077 685">Préparation industrielle de produits à base de viande</td> <td data-bbox="1077 629 1212 685">Périurbain</td> <td data-bbox="1212 629 1482 685">0,58 ha</td> </tr> <tr> <td data-bbox="550 685 774 797">La Choucroute de campagne, Campagne-lès-Hesdin</td> <td data-bbox="774 685 1077 797">Préparation industrielle de produits à base de viande</td> <td data-bbox="1077 685 1212 797">rural</td> <td data-bbox="1212 685 1482 797">0,93 ha</td> </tr> <tr> <td data-bbox="550 797 774 909">La Choucroute de campagne, Pouilly-sur-Serre</td> <td data-bbox="774 797 1077 909">Préparation industrielle de produits à base de viande</td> <td data-bbox="1077 797 1212 909">rural</td> <td data-bbox="1212 797 1482 909">2,26 ha</td> </tr> <tr> <td colspan="3" data-bbox="550 909 1482 920" style="text-align: right;">Surface moyenne 1,56 ha</td> </tr> <tr> <td data-bbox="113 920 375 1032">OPPORTUNITES UTILISATION MICROALGUES</td> <td colspan="2" data-bbox="375 920 1482 1032"> <ul style="list-style-type: none"> • Énergétique : biométhane • Non énergétique : traitement des effluents liquides et gazeux et complément pour nutrition animale </td> </tr> <tr> <td data-bbox="113 1032 375 1256">PROBLEMATIQUES MAJEURES IDENTIFIEES</td> <td colspan="2" data-bbox="375 1032 1482 1256"> <ul style="list-style-type: none"> • Principal impact environnemental dans le secteur de la transformation de la viande et la volaille : le rejet d'effluents liquides complexes à traiter (avec la contrainte d'éviter les effluents chargés en substances ayant un effet d'inhibition) et dans un environnement éloigné de tout système de retraitement mutualisé. • Production de compléments nutritionnels à destination des animaux (augmentation de l'appétence, ...) </td> </tr> <tr> <td data-bbox="113 1256 375 1783" rowspan="3">POTENTIEL DEVELOPPEMENT DES MICROALGUES A TERME</td> <td data-bbox="375 1256 909 1357">Horizon de déploiement</td> <td data-bbox="909 1256 1482 1357">2050 – secteur à intérêt intermédiaire - forte contrainte économique sur le cout de la tonne de biomasse algale</td> </tr> <tr> <td data-bbox="375 1357 909 1458">Indice de potentiel de déploiement de la technologie</td> <td data-bbox="909 1357 1482 1458">3/5</td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="375 1458 1482 1783"> Vecteurs de déploiement : <ul style="list-style-type: none"> - Traitement décentralisé des effluents liquides (procédé de production) et gazeux (système de production de froid et de vapeur) - Production d'énergie verte décentralisée utilisable pour une flotte captive et dans le procédé industriel - Production complémentaire de certains composés à forte valeur ajoutée (optionnelle) La brique des µalgues peut répondre à l'ensemble de ces enjeux en synergie technologique inabordable pour l'instant aux technologies conventionnelles actuelles. </td> </tr> <tr> <td data-bbox="113 1783 375 2098" rowspan="2">MODELE DE PRODUCTION DES MICROALGUES</td> <td data-bbox="375 1783 858 2029">Type de réacteur envisagé : photobioréacteurs fermés (type verticaux)</td> <td data-bbox="858 1783 1482 2029">Compte tenu de la surface disponible et du plan d'affaire envisagé, seuls des photobioréacteurs verticaux paraissent adaptés aux enjeux techniques et économiques du secteur. La contrainte de coût étant plus importante sur des réacteurs PBR, l'horizon de temps réaliste est repoussé à 2050.</td> </tr> <tr> <td data-bbox="375 2029 858 2098">Rendements : • PBR : 76 T/ha/an</td> <td data-bbox="858 2029 1482 2098">Cf. Annexe 1</td> </tr> </tbody></table>	Usine	Activité	Milieu	Surface	Fleury Michon, La Meilleraie-Tilly	Charcuterie, plats préparés	rural	1,5 ha	Luissier Bordeau Chesnel, Champagné	Usine de charcuterie et siège social	urbain	0,24 ha	Bigard, Quimperlé	Usine (abattoir) et siège social	urbain	1,09 ha	Bigard, Castres	Abattoir	rural	2,6 ha	Charal, Metz	Abattoir	Périurbain	1,33 ha	Charal, Sablé-sur-Sarthe	Boucherie	Périurbain	3,47 ha	Madrage, Feytiat	Préparation industrielle de produits à base de viande	Périurbain	0,58 ha	La Choucroute de campagne, Campagne-lès-Hesdin	Préparation industrielle de produits à base de viande	rural	0,93 ha	La Choucroute de campagne, Pouilly-sur-Serre	Préparation industrielle de produits à base de viande	rural	2,26 ha	Surface moyenne 1,56 ha			OPPORTUNITES UTILISATION MICROALGUES	<ul style="list-style-type: none"> • Énergétique : biométhane • Non énergétique : traitement des effluents liquides et gazeux et complément pour nutrition animale 		PROBLEMATIQUES MAJEURES IDENTIFIEES	<ul style="list-style-type: none"> • Principal impact environnemental dans le secteur de la transformation de la viande et la volaille : le rejet d'effluents liquides complexes à traiter (avec la contrainte d'éviter les effluents chargés en substances ayant un effet d'inhibition) et dans un environnement éloigné de tout système de retraitement mutualisé. • Production de compléments nutritionnels à destination des animaux (augmentation de l'appétence, ...) 		POTENTIEL DEVELOPPEMENT DES MICROALGUES A TERME	Horizon de déploiement	2050 – secteur à intérêt intermédiaire - forte contrainte économique sur le cout de la tonne de biomasse algale	Indice de potentiel de déploiement de la technologie	3/5	Vecteurs de déploiement : <ul style="list-style-type: none"> - Traitement décentralisé des effluents liquides (procédé de production) et gazeux (système de production de froid et de vapeur) - Production d'énergie verte décentralisée utilisable pour une flotte captive et dans le procédé industriel - Production complémentaire de certains composés à forte valeur ajoutée (optionnelle) La brique des µalgues peut répondre à l'ensemble de ces enjeux en synergie technologique inabordable pour l'instant aux technologies conventionnelles actuelles.		MODELE DE PRODUCTION DES MICROALGUES	Type de réacteur envisagé : photobioréacteurs fermés (type verticaux)	Compte tenu de la surface disponible et du plan d'affaire envisagé, seuls des photobioréacteurs verticaux paraissent adaptés aux enjeux techniques et économiques du secteur. La contrainte de coût étant plus importante sur des réacteurs PBR, l'horizon de temps réaliste est repoussé à 2050.	Rendements : • PBR : 76 T/ha/an	Cf. Annexe 1
		Usine	Activité	Milieu	Surface																																																										
		Fleury Michon, La Meilleraie-Tilly	Charcuterie, plats préparés	rural	1,5 ha																																																										
		Luissier Bordeau Chesnel, Champagné	Usine de charcuterie et siège social	urbain	0,24 ha																																																										
		Bigard, Quimperlé	Usine (abattoir) et siège social	urbain	1,09 ha																																																										
		Bigard, Castres	Abattoir	rural	2,6 ha																																																										
		Charal, Metz	Abattoir	Périurbain	1,33 ha																																																										
		Charal, Sablé-sur-Sarthe	Boucherie	Périurbain	3,47 ha																																																										
		Madrage, Feytiat	Préparation industrielle de produits à base de viande	Périurbain	0,58 ha																																																										
La Choucroute de campagne, Campagne-lès-Hesdin	Préparation industrielle de produits à base de viande	rural	0,93 ha																																																												
La Choucroute de campagne, Pouilly-sur-Serre	Préparation industrielle de produits à base de viande	rural	2,26 ha																																																												
Surface moyenne 1,56 ha																																																															
OPPORTUNITES UTILISATION MICROALGUES	<ul style="list-style-type: none"> • Énergétique : biométhane • Non énergétique : traitement des effluents liquides et gazeux et complément pour nutrition animale 																																																														
PROBLEMATIQUES MAJEURES IDENTIFIEES	<ul style="list-style-type: none"> • Principal impact environnemental dans le secteur de la transformation de la viande et la volaille : le rejet d'effluents liquides complexes à traiter (avec la contrainte d'éviter les effluents chargés en substances ayant un effet d'inhibition) et dans un environnement éloigné de tout système de retraitement mutualisé. • Production de compléments nutritionnels à destination des animaux (augmentation de l'appétence, ...) 																																																														
POTENTIEL DEVELOPPEMENT DES MICROALGUES A TERME	Horizon de déploiement	2050 – secteur à intérêt intermédiaire - forte contrainte économique sur le cout de la tonne de biomasse algale																																																													
	Indice de potentiel de déploiement de la technologie	3/5																																																													
	Vecteurs de déploiement : <ul style="list-style-type: none"> - Traitement décentralisé des effluents liquides (procédé de production) et gazeux (système de production de froid et de vapeur) - Production d'énergie verte décentralisée utilisable pour une flotte captive et dans le procédé industriel - Production complémentaire de certains composés à forte valeur ajoutée (optionnelle) La brique des µalgues peut répondre à l'ensemble de ces enjeux en synergie technologique inabordable pour l'instant aux technologies conventionnelles actuelles.																																																														
MODELE DE PRODUCTION DES MICROALGUES	Type de réacteur envisagé : photobioréacteurs fermés (type verticaux)	Compte tenu de la surface disponible et du plan d'affaire envisagé, seuls des photobioréacteurs verticaux paraissent adaptés aux enjeux techniques et économiques du secteur. La contrainte de coût étant plus importante sur des réacteurs PBR, l'horizon de temps réaliste est repoussé à 2050.																																																													
	Rendements : • PBR : 76 T/ha/an	Cf. Annexe 1																																																													

Schéma technique envisagé pour l'insertion de la brique technologique algues dans le secteur de la transformation et conservation de la viande :



MODELE TECHNIQUE DE PRODUCTION D'ENERGIE A PARTIR DES MICROALGUES	Type d'énergie produite	Biométhane : valorisable directement sur site (procédé industriel, flotte captive, ...) ou via injection réseau.	
	Production du biométhane à partir des microalgues directement	La biomasse peut être traitée très aisément par méthanisation ou co-méthanisation.	
	Type de technologie de méthanisation	Production de biométhane par méthanisation ou co-méthanisation avec d'autres substrats organiques issus du procédé industriel	
	Rendement de méthanisation	60%	Réf. : données internes GDF SUEZ validées expérimentalement
	Part de la biomasse algale brute entrant directement dans la filière biométhane	$\eta_1 = 100\%$	Part liée à un ajustement de la production au regard des besoins en énergies renouvelables

2. Transformation et conservation de poissons, crustacés et mollusques

Description du secteur de la Transformation et Conservation Poissons				
CONTEXTE – ENJEUX	L'industrie du poisson regroupe trois types d'activités : la conservation de poissons, crustacés et mollusques, la production de préparations telles que poisson cuit, filets, laitances, caviar et la production de plats préparés. Les impacts environnementaux majeurs de ce secteur sont la consommation importante d'eau, d'énergie et le rejet d'eaux usées.			
CARACTERISTIQUES EFFLUENTS	Les eaux usées contiennent une forte teneur en matières organiques (huiles, protéines et matières en suspension) et peuvent également contenir des teneurs élevées en phosphates, nitrates et en chlorure ³² . Les débits et caractéristiques des eaux usées dépendent fortement des lignes de production (étapes de préparation et de la transformation du poisson, poisson considéré, ...).			
		Émissions (mg/L)	Émissions MTD (en mg/L)	Compatibilité pour les µalgues
	Effluents gazeux			
	CO ₂	aucun		✓ (limitant)
	Effluents liquides			
	Volume d'eaux usées (m ³ /t de poisson)	Hareng : 17 - 40 Poisson frais : 8 Fumage du poisson : 8 Salage du saumon : 35 Poisson surgelé : 2 - 15		✓
	DBO ₅	2 000 - 28 000	< 25	ND
	N _{tot}	400 - 1 000	< 10	✓
	P	80 - 150	0,4 - 5	✓
	Matières grasses, huiles et graisses	500 - 25 000		A prétraiter
MES		< 50	ND	
DCO		< 125	ND	
REGLEMENTATION	Effluents liquides : DCE, REACH, PNAR.			
TENDANCE DE CE SECTEUR SUR LE MARCHÉ FRANÇAIS	Stable ³³ (aujourd'hui la tendance est légèrement à la hausse mais elle est limitée par la disponibilité de la ressource)			
CONSOMMATEUR DE GAZ NATUREL	Oui. La consommation d'énergie dépend de l'installation, de l'équipement et des procédés de fabrication du poisson utilisés. Des procédés comme par exemple la mise en boîte, qui implique un chauffage, refroidissement, la production de glace, le séchage, l'évaporation, et la production d'huile consomment plus d'énergie que ceux qui n'impliquent pas ces opérations, tels que le découpage en filets, opération demandant peu d'énergie. En moyenne, le découpage en filets consomme entre 65 et 87 kWh/tonne de poisson, tandis que la mise en boîte consomme entre 150 et 190 kWh/tonne ³² .			
NOMBRE DE SITES DE	250 ³⁴	Il s'agit de nombreuses PME ³⁵ et de quelques entreprises de		

³² BREF Industries Agro-alimentaires et laitières, 2006.

³³ <http://panorama-iaa.alimentation.gouv.fr/Industrie-du-poisson>

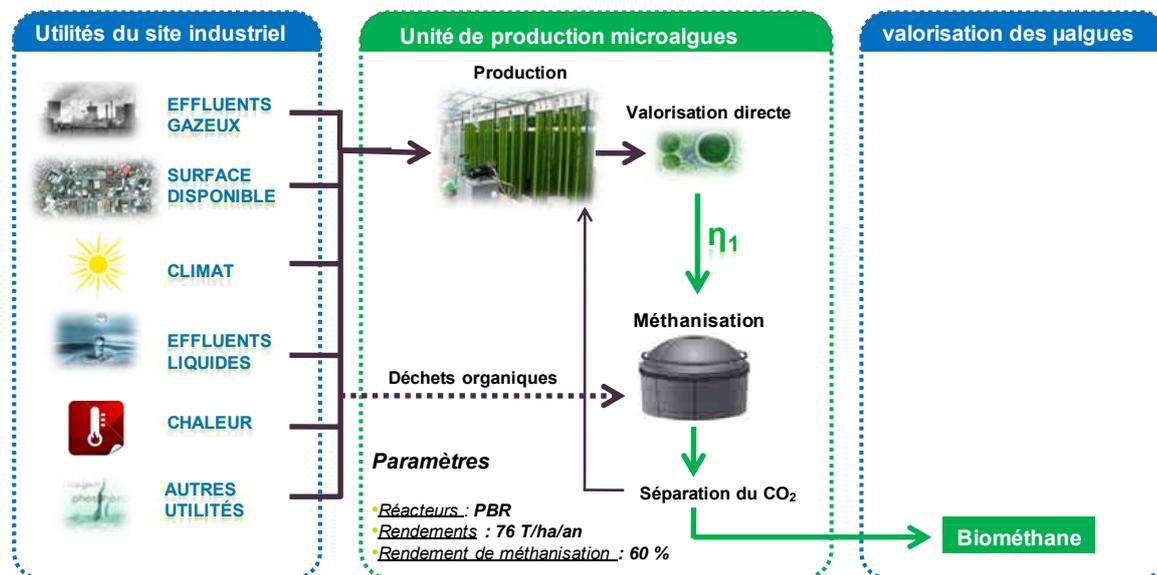
PRODUCTION ACTUELS EN FRANCE		plus grandes dimensions (Labeyrie, Findus, ...).																												
SURFACE MOYENNE DISPONIBLE A PROXIMITE	2 ha	Source : moyenne sur 5 sites représentatifs du secteur <table border="1"> <thead> <tr> <th>Usine</th> <th>Activité</th> <th>Milieu</th> <th>Surface</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AQUALANDE, Roquefort</td> <td>Conserves de poissons, de fruits de mer et d'escargots</td> <td>Périurbain</td> <td>1,04 ha</td> </tr> <tr> <td>COUDENE MICHEL, St Christol Les Ales</td> <td>Conserves de poissons, de fruits de mer et d'escargots, fabricant de brandades de morue, soupes de poisson</td> <td>Périurbain</td> <td>0,94 ha</td> </tr> <tr> <td>MYTILEA, Le Vivier sur Mer</td> <td>Coquillages en conserve, moules</td> <td>Périurbain, en bord de mer</td> <td>5 ha</td> </tr> <tr> <td>RAYMOND GEOFFROY, Nîmes</td> <td>Conserves de poissons, de fruits de mer et d'escargots, brandades de morue</td> <td>Périurbain</td> <td>1,9 ha</td> </tr> <tr> <td>UNIMER, Marseille</td> <td>Conserves de poissons, de fruits de mer et d'escargots, soupes de poissons et de légumes</td> <td>Urbain</td> <td>0,89 ha</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: right;">Surface moyenne</td> <td>1,95 ha</td> </tr> </tbody> </table>	Usine	Activité	Milieu	Surface	AQUALANDE, Roquefort	Conserves de poissons, de fruits de mer et d'escargots	Périurbain	1,04 ha	COUDENE MICHEL, St Christol Les Ales	Conserves de poissons, de fruits de mer et d'escargots, fabricant de brandades de morue, soupes de poisson	Périurbain	0,94 ha	MYTILEA, Le Vivier sur Mer	Coquillages en conserve, moules	Périurbain, en bord de mer	5 ha	RAYMOND GEOFFROY, Nîmes	Conserves de poissons, de fruits de mer et d'escargots, brandades de morue	Périurbain	1,9 ha	UNIMER, Marseille	Conserves de poissons, de fruits de mer et d'escargots, soupes de poissons et de légumes	Urbain	0,89 ha	Surface moyenne			1,95 ha
Usine		Activité	Milieu	Surface																										
AQUALANDE, Roquefort		Conserves de poissons, de fruits de mer et d'escargots	Périurbain	1,04 ha																										
COUDENE MICHEL, St Christol Les Ales		Conserves de poissons, de fruits de mer et d'escargots, fabricant de brandades de morue, soupes de poisson	Périurbain	0,94 ha																										
MYTILEA, Le Vivier sur Mer		Coquillages en conserve, moules	Périurbain, en bord de mer	5 ha																										
RAYMOND GEOFFROY, Nîmes		Conserves de poissons, de fruits de mer et d'escargots, brandades de morue	Périurbain	1,9 ha																										
UNIMER, Marseille	Conserves de poissons, de fruits de mer et d'escargots, soupes de poissons et de légumes	Urbain	0,89 ha																											
Surface moyenne			1,95 ha																											
OPPORTUNITES UTILISATION MICROALGUES	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Énergétique</u> : biométhane • <u>Non énergétique</u> : traitement des effluents liquides et gazeux 																													
PROBLEMATIQUES MAJEURES IDENTIFIEES	<ul style="list-style-type: none"> • Principal impact environnemental dans le secteur de la transformation du poisson : le rejet d'effluents liquides (complexes à traiter avec la contrainte d'éviter les effluents chargés en substances ayant un effet d'inhibition) et dans un environnement éloigné de tout système de retraitement mutualisé. • Production optionnelle de compléments nutritionnels à destination des élevages de poissons travaillant en synergie avec ces mêmes usines travaillant sur de la production de farines de poissons (augmentation de l'appétence, ...) 																													
POTENTIEL DEVELOPPEMENT DES MICROALGUES A TERME	Horizon de déploiement	2050 – secteur à intérêt intermédiaire																												
	Indice de potentiel de déploiement de la technologie	3/5																												
	Vecteurs de déploiement : <ul style="list-style-type: none"> - Traitement décentralisé des effluents liquides (procédé de production) et gazeux (système de production de froid et de vapeur) - Production d'énergie verte décentralisée utilisable pour une flotte captive et dans le procédé industriel - Production complémentaire de certains composés à forte valeur ajoutée (optionnelle) La brique des algues peut répondre à l'ensemble de ces enjeux en synergie technologique inabordable pour l'instant aux technologies conventionnelles actuelles.																													
MODELE DE PRODUCTION DES MICROALGUES	Type de réacteur envisagé : photobioréacteurs fermés (type verticaux)	Compte tenu de la surface disponible et du plan d'affaire envisagé, seuls des photobioréacteurs verticaux paraissent adaptés aux enjeux techniques et économiques du secteur.																												

³⁴ Selon AGRESTE – Enquête annuelle d'entreprise sur les IAA, les entreprises du secteur « Poisson » de plus de 20 salariés sont 107.

³⁵ <http://panorama-iaa.alimentation.gouv.fr/Transformation-et-conservation-de,104>
 GrDF - 6, rue Condorcet - 75009 Paris - Société Anonyme au capital de 1 800 000 000 euros - RCS : PARIS 444 786 511

		La contrainte de coût étant plus importante sur des réacteurs PBR, l'horizon de temps réaliste est repoussé à 2050.
	Rendements : • PBR : 76 T/ha/an	Cf. Annexe 1

Schéma technique envisagé pour l'insertion de la brique technologique algues dans le secteur de la transformation et conservation des poissons :



MODELE TECHNIQUE DE PRODUCTION D'ENERGIE A PARTIR DES MICROALGUES	Type d'énergie produite	Biométhane : valorisable directement sur site (procédé industriel, flotte captive, ...) ou via injection réseau.	
	Production du biométhane directement à partir de microalgues	La biomasse peut être traitée très aisément par méthanisation ou co-méthanisation	
	Type de technologie de méthanisation	Production de biométhane par méthanisation ou co-méthanisation avec d'autres substrats organiques issus du procédé industriel	
	Rendement de méthanisation	60%	Réf. : données internes GDF SUEZ validées expérimentalement
	Part de la biomasse algale brute entrant directement dans la filière biométhane	η₁ = 100 %	Part liée à un ajustement de la production au regard des besoins en énergies renouvelables

3. Transformation et conservation de fruits et légumes

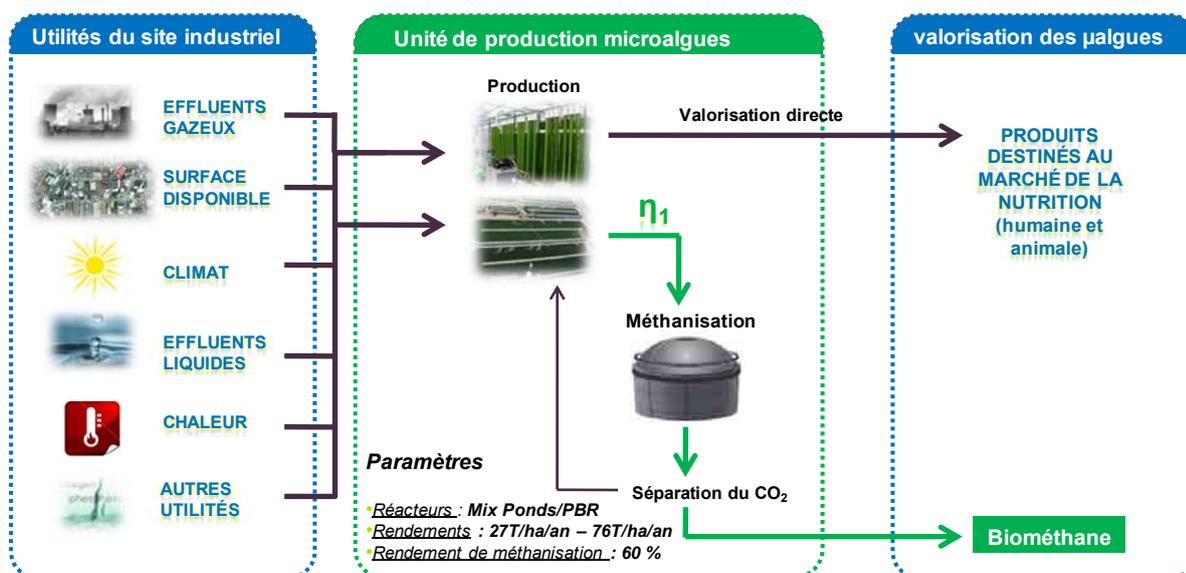
Description du secteur des Fruits et légumes				
CONTEXTE – ENJEUX	<p>Ce secteur comprend 4 sous-secteurs : la transformation et la conservation de pommes de terre, la production de jus de fruits et de légumes, les autres transformations et conservation de légumes et la transformation et conservation des fruits.</p> <p>Les problématiques environnementales majeures de ce secteur sont la consommation d'énergie et la consommation d'eau.</p> <p>De grandes quantités de déchets solides sont produites. Il s'agit de matières organiques comprenant les fruits et légumes rebutés pendant la sélection, et de celles provenant de procédés comme le pelage ou le dénoyautage. Ces déchets ont généralement une haute valeur nutritive et peuvent servir d'aliments pour animaux.</p>			
CARACTERISTIQUES EFFLUENTS	La qualité et la quantité de l'effluent liquide dépendent fortement de la nature du fruit ou du légume. Les eaux usées contiennent des matières organiques mais peu d'azote et de phosphore, nutriments nécessaires pour la culture des microalgues.			
		Émissions (mg/L) ³⁶	Émissions MTD (en mg/L)	Compatibilité pour les algues
	Effluents gazeux			
	CO ₂			⬆️ Apport externe nécessaire
	Effluents liquides			
	Volume d'eaux usées (m ³ /t de produit)	11 - 23		✔️
	MES	9 - 24 300	< 50	ND
	DCO	4 000 - 10 000	< 125	ND
	DBO ₅	500 - 5 000	< 25	ND
	N _{tot}	13,5 - 200	< 10	✔️
P	9 - 200	0,4 - 5	✔️	
REGLEMENTATION	Effluents liquides : DCE, REACH, PNAR.			
TENDANCE DE CE SECTEUR SUR LE MARCHÉ FRANÇAIS	Globalement stable			
CONSOMMATEUR DE GAZ NATUREL	Oui			
NOMBRE DE SITES DE PRODUCTION ACTUELS EN FRANCE	190 ³⁷ , dont une dizaine d'usines de transformation des pommes de terre (2500 salariés) et 31 usines (12 000 salariés) de transformation et conservation des légumes.		Le secteur est composé par de PME sauf pour l'industrie de transformation et conservation des légumes, très concentré (quatre groupes privés et coopératifs assurent la plus grande partie de la production : ARDO et BONDUELLE (privés), CECAB d'AUCY et GELAGRI Bretagne).	
SURFACE MOYENNE DISPONIBLE A PROXIMITE	3 ha	Source : moyenne sur 5 sites représentatifs du secteur		
		Usine	Activité	Milieu
		Surface		
		ST DALFOUR, Marmande	Préparations à base de fruits (confitures, conserverie, plats cuisinés fruits, desserts, nappages)	Urbain
		CHARLES FARAUD,	Conserves de fruits et	Périurbain
				2 ha

³⁶ BREF Industries Agro-alimentaires et laitières, 2006.

³⁷ <http://panorama-iaa.alimentation.gouv.fr/Industrie-des-fruits-et-legumes>.

		Monteux	confitures		
		COLOR FOODS, Marseille	Conserves de fruits et confitures	Urbain	0 ha
		ANDROS France, Biars Sur Cere	Conserves de fruits et confitures	Périurbain	2,67 ha
		PELLORCE ET JULLIEN, Massy	Châtaignes et marrons, alimentation haut de gamme, coulis de fruits	Périurbain	0,79 ha
		CONSERVES DE PROVENCE LE CABANON, Camaret-sur-Aigues	Conserves de légumes, tomates en conserves, conserves de fruits	Périurbain	7,03 ha
		BONDUELLE, Renescure	Conserves de légumes	Périurbain	15,3 ha
		BOCAGE RESTAURATION, Loudun	Conserves appertisées	Rural	0,14 ha
		GELAGRI BRETAGNE, Landerneau	Transformation et conservation de légumes	Périurbain	2,4 ha
		CONSERVERIE DE BERGERAC	Transformation et conservation de légumes	Périurbain	1,3 ha
		Surface moyenne			
OPPORTUNITES UTILISATION MICROALGUES	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Énergétique</u> : biométhane • <u>Non énergétique</u> : production de produits alimentaires à valeur ajoutée, le traitement des effluents liquides étant secondaire compte tenu que ce secteur recycle au maximum ses utilités premières. De plus, il y a peu de nutriments (N et P) dans les eaux usées de ce secteur. 				
PROBLEMATIQUES MAJEURES IDENTIFIEES	<ul style="list-style-type: none"> • Extension du plan d'affaire vers une plus haute productivité surfacique de produits nutritionnels de base • Production optionnelle de compléments nutritionnels et d'ingrédients à destination des marchés de l'alimentation animale ou humaine 				
POTENTIEL DEVELOPPEMENT DES MICROALGUES A TERME	Horizon de déploiement		2050 – secteur à intérêt faible		
	Indice de potentiel de déploiement de la technologie		2/5		
	<p><u>Vecteurs de déploiement :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Extension du plan d'affaire vers une plus haute productivité surfacique - Production de compléments nutritionnels et d'ingrédients à destination des marchés de l'alimentation animale ou humaine - Traitement décentralisé des effluents liquides (procédé de production) - Production d'énergie verte décentralisée utilisable pour une flotte captive et dans le procédé industriel <p>La brique des µalgues peut répondre à l'ensemble de ces enjeux en synergie technologique inabordable pour l'instant aux technologies conventionnelles actuelles.</p>				
MODELE DE PRODUCTION DES MICROALGUES	Type de réacteur envisagé : Mix entre Ponds couverts et photobioréacteurs fermés (type verticaux)		Compte tenu de la surface disponible et du plan d'affaire envisagé, un agencement séquentiel ou parallèle de réacteurs horizontaux et verticaux peut être envisagé afin de couvrir l'ensemble des enjeux du secteur économique.		
	Rendements :				
	<ul style="list-style-type: none"> • Ponds : 27 T/ha/an • PBR : 76 T/ha/an 		Cf. Annexe 1		

Schéma technique envisagé pour l'insertion de la brique technologique algues dans le secteur des fruits et légumes :



MODELE TECHNIQUE DE PRODUCTION D'ENERGIE A PARTIR DES MICROALGUES	Type d'énergie produite	Biométhane : valorisable directement sur site (procédé industriel, flotte captive, ...) ou via injection réseau	
	Production du biométhane directement à partir de microalgues	La biomasse peut être traitée très aisément par méthanisation ou co-méthanisation.	
	Type de technologie de méthanisation	Production de biométhane par méthanisation ou co-méthanisation avec d'autres substrats organiques issus du procédé industriel	
	Rendement de méthanisation	60%	Réf. : données internes GDF SUEZ validées expérimentalement
	Part de la biomasse algale brute entrant directement dans la filière biométhane	$\eta_1 = 100\%$	Part liée à un ajustement de la production au regard des besoins en énergies renouvelables

4. Industrie des corps gras

Description du secteur des Corps gras				
CONTEXTE – ENJEUX	<p>Les huiles et les graisses sont naturellement présentes dans une large gamme mais seulement 22 huiles végétales sont transformées à une échelle commerciale dans le monde.</p> <p>Dans ce secteur, la production est répartit en : production d'huile à partir de graines oléagineuses (graine de tournesol, graine de soja, graine de colza, ...), production d'huiles extraites de la pulpe de fruit (olives), production de graisses animales et production d'huiles de poisson.</p> <p>La fabrication d'huile à partir de graines oléagineuses se fait en 2 étapes : la trituration (extraction de l'huile de la graine) et le raffinage.</p> <p>La production de biocarburants de première génération est prise en compte dans ce secteur : la filière oléagineuse est fortement impliquée dans la production de biodiesel et débouchés pour coproduits animaux.</p>			
CARACTERISTIQUES EFFLUENTS	<p>Les effluents liquides non traités ont des teneurs élevées en huiles et en graisses. Des teneurs importantes en phosphore peuvent également être retrouvées (utilisation d'acide phosphorique dans certains procédés).</p> <p>La qualité et la quantité de l'effluent liquide dépend fortement de la chaîne de production.</p> <p>Dans les établissements vinicoles et de production d'huile d'olive, on utilise des lagunes d'évaporation où on laisse les eaux usées s'évaporer pendant des mois. Dans le cas de l'huile d'olive, il est habituellement très difficile d'envoyer les eaux usées dans une STEU car les moulins à huile d'olive sont majoritairement situés dans les zones rurales où il n'existe pas de STEU ou bien, si elles existent, elles ne sont pas conçues pour traiter des eaux usées de cette nature.</p>			
		Émissions (mg/L) ³⁸	Émissions MTD (en mg/L)	Compatibilité pour les µalgues
	Effluents gazeux			
	CO ₂			
	Effluents liquides			
	Volume d'eaux usées (m ³ /t de produit)	10 - 80		✓
	DBO ₅	200 - 100 000	< 25	
	DCO	1 000 - 162 000	< 125	
	Matières Grasses, huiles et graisses	200 - 700		A prétraiter
	MES	100 - 120 000	< 50	✓
N _{tot}		< 10	⏸ à compléter	
P		0,4 – 5	✓	
REGLEMENTATION	Effluents liquides : DCE, REACH, PNAR.			
TENDANCE DE CE SECTEUR SUR LE MARCHÉ FRANÇAIS	A la hausse			
CONSOMMATEUR DE GAZ NATUREL	Oui			
NOMBRE DE SITES DE	29 ³⁹			

³⁸ BREF Industries Agro-alimentaires et laitières, 2006.

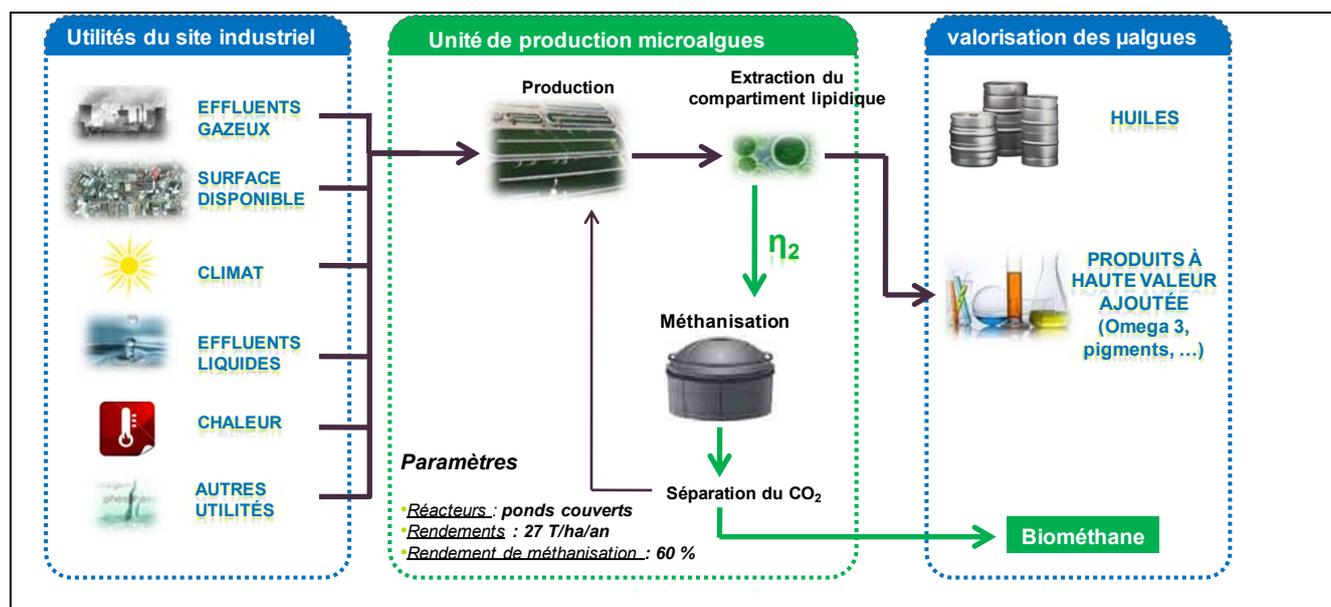
³⁹ AGRESTE – Enquête annuelle d'entreprise sur les IAA.

Selon (<http://panorama-iaa.alimentation.gouv.fr/Industrie-des-corps-gras-CODE-NAF>), au niveau français, l'industrie de la trituration est organisée entre deux grands groupes : CARGILL France (Brest, Saint-Nazaire) et SAIPOL (Rouen, Dieppe, Compiègne, Bordeaux, Sète, Lezoux, Le Mériot).

Les sites de raffinage et de conditionnement des huiles sont situés à Coudekerque, Bordeaux, Rouen, Sète pour le groupe Saipol et à Saint-Nazaire et Château-Gontier pour la société Cargill.

PRODUCTION ACTUELS EN FRANCE																														
SURFACE MOYENNE DISPONIBLE A PROXIMITE	2 ha	Source : moyenne sur 5 sites représentatifs du secteur <table border="1"> <thead> <tr> <th>Usine</th> <th>Activité</th> <th>Milieu</th> <th>Surface</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>HUILERIES Lapalisse</td> <td>Fabricants d'huiles pures et vierges, à base de noix, noisette, avocat, ...</td> <td>Périurbain</td> <td>0,87 ha</td> </tr> <tr> <td>SAIPOL, Grand-Couronne</td> <td>Triturateur</td> <td>Périurbain</td> <td>5,6 ha</td> </tr> <tr> <td>CARGIL Saint Nazaire</td> <td>Transformateur de tournesol</td> <td>Urbain</td> <td>0 ha</td> </tr> <tr> <td>CARGIL Brest</td> <td>Huile de soja</td> <td>Urbain</td> <td>1,8 ha</td> </tr> <tr> <td>VHV 18, Dun Sur Auron</td> <td>Producteur d'huile végétale pure à partir de colza</td> <td>Rural</td> <td>1,6 ha</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: right;">Surface moyenne</td> <td>1,97 ha</td> </tr> </tbody> </table>	Usine	Activité	Milieu	Surface	HUILERIES Lapalisse	Fabricants d'huiles pures et vierges, à base de noix, noisette, avocat, ...	Périurbain	0,87 ha	SAIPOL, Grand-Couronne	Triturateur	Périurbain	5,6 ha	CARGIL Saint Nazaire	Transformateur de tournesol	Urbain	0 ha	CARGIL Brest	Huile de soja	Urbain	1,8 ha	VHV 18, Dun Sur Auron	Producteur d'huile végétale pure à partir de colza	Rural	1,6 ha	Surface moyenne			1,97 ha
Usine	Activité	Milieu	Surface																											
HUILERIES Lapalisse	Fabricants d'huiles pures et vierges, à base de noix, noisette, avocat, ...	Périurbain	0,87 ha																											
SAIPOL, Grand-Couronne	Triturateur	Périurbain	5,6 ha																											
CARGIL Saint Nazaire	Transformateur de tournesol	Urbain	0 ha																											
CARGIL Brest	Huile de soja	Urbain	1,8 ha																											
VHV 18, Dun Sur Auron	Producteur d'huile végétale pure à partir de colza	Rural	1,6 ha																											
Surface moyenne			1,97 ha																											
OPPORTUNITES UTILISATION MICROALGUES	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Énergétique</u> : biométhane • <u>Non énergétique</u> : traitement des effluents liquides (dans certains procédés comme la production d'huile d'olive, la transformation a lieu par campagnes, et pendant une partie de l'année, ces secteurs produisent peu ou pas d'eaux usées). 																													
PROBLEMATIQUES MAJEURES IDENTIFIEES	Contraintes règlementaires du secteur concernant le traitement des effluents de type : CO ₂ et NOx et des eaux de procédé.																													
POTENTIEL DEVELOPPEMENT DES MICROALGUES A TERME	Horizon de déploiement	2020 – secteur à fort intérêt avec importante création de valeur																												
	Indice de potentiel de déploiement de la technologie	4/5																												
	<p><u>Vecteurs de déploiement</u> : la production des biocarburants à partir des oléagineux constitue aujourd'hui un relais de croissance fort des coopératives agricoles et industriels (Sofiprotéol,...). La 1^{ère} génération ayant été plafonnée par l'État compte tenu de ses dérives environnementales, le secteur cherche aujourd'hui de nouveaux relais de croissances. La culture de microalgues bénéficiant de rendements élevés et d'une qualité de produits lipidiques élevée intéresse tout particulièrement ces secteurs qui y voient un prolongement de leur métier d'origine.</p> <p>Les microalgues permettraient également à terme d'orienter les développements vers la chimie des oléagineux.</p>																													
MODELE DE PRODUCTION DES MICROALGUES	Type de réacteur envisagé : Ponds couverts	Compte tenu de la surface disponible et des quantités nécessaires, ces réacteurs semblent les plus appropriés au modèle d'affaire envisagé																												
	Rendements : 27 T/ha/an	Cf. Annexe 1																												
Schéma technique envisagé pour l'insertion de la brique technologique algues dans le secteur des Corps gras :																														

En 2008, Cargill et Sofiprotéol ont réalisé un investissement commun, il s'agit d'une usine de trituration de graines de colza (Montoir). Cette usine assure le broyage de 600 000 tonnes de graines de colza chaque année et sert à la production de biocarburant de Diester industrie dont l'installation est proche (250 000 tonnes acheminée par canalisation).



MODELE TECHNIQUE DE PRODUCTION D'ENERGIE A PARTIR DES MICROALGUES	Type d'énergie produite	Biométhane – valorisable directement sur site (procédé industriel, flotte captive,...) ou via injection réseau	
	Production du biométhane sur base des substrats suivants :	La valorisation biométhane se révèle être l'une des valorisations les plus pertinentes du reliquat de matière organique récupéré après extraction du compartiment lipidique. Ce résidu peut être traité très aisément par méthanisation ou co-méthanisation avec un très haut rendement.	
	- Uniquement via le reliquat d'extraction lipidique		
	Type de technologie de méthanisation	Méthanisation simple ou co-méthanisation	
	Rendement de méthanisation	60 %	Réf. : données internes GDF SUEZ validées expérimentalement
	Part de la biomasse algale produite entrant directement dans la filière énergie	$\eta_1 = 0 \%$	Compte tenu de la valeur élevée de la partie oléagineuse, aucune valorisation directe en biométhane n'est envisagée
Part de la biomasse algale biomasse disponible sous forme de reliquat et entrant dans la filière énergie	$\eta_2 = 66 \%$	Réf. : moyenne des dires d'expert consultés (Roquette, Sofiprotéol, IFP, Onidol)	

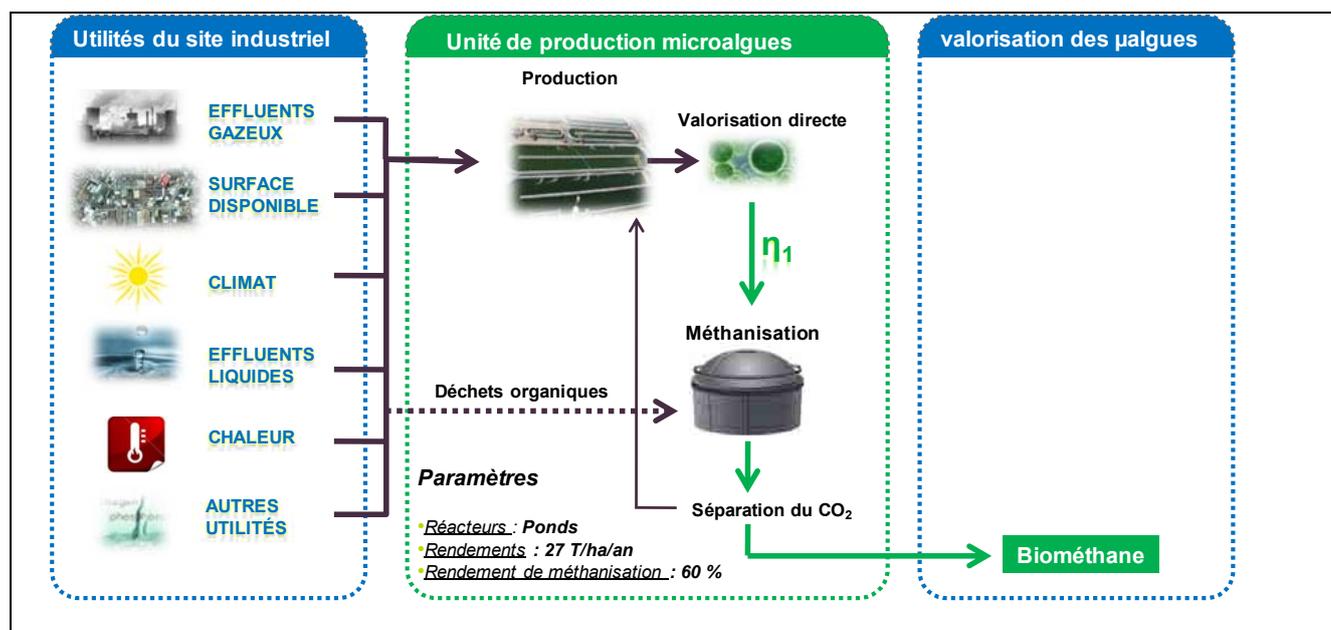
5. Laiteries

Description du secteur des Laiteries					
CONTEXTE – ENJEUX	Il existe 4 familles de produits laitiers : lait liquide/lait de conserve, crème/beurre, fromages, yaourts. Différents procédés permettent de conduire à ces différents produits et notamment les opérations thermiques qui occupent une place prépondérante (séchage, pasteurisation, stérilisation, ...). Les eaux usées sont la principale problématique environnementale de ce secteur.				
CARACTERISTIQUES EFFLUENTS	Le secteur utilise d'importantes quantités d'eau et, par conséquent, génère de grandes quantités d'eaux usées principalement pour maintenir le niveau requis d'hygiène et de propreté. Les pertes du produit lors du procédé contribuent fortement aux teneurs importantes en DCO, azote et phosphore. Les effluents gazeux proviennent de la production d'énergie sur site : émissions de CO ₂ , NOx et SOx.				
		Émissions moyennes ⁴⁰	Émissions MTD	Compatibilité pour les algues	
	Effluents gazeux				
	CO ₂ (t/an)	45 000		✓	
	NOx (t/an)	230		✓	
	SOx (t/an)	360		✓	
	Effluents liquides				
	MES (mg/L)	24 - 5 700	< 50	A prétraiter	
	DCO (mg/L)	500 - 4 500	< 125	A prétraiter	
	DBO ₅ (mg/L)	450 - 4 790	< 25	A prétraiter	
	Protéine (mg/L)	210 - 560		ⓘ A prétraiter	
	Matière Grasse (mg/L)	35 - 500		✓	
	Hydrate de carbone (mg/L)	252 - 931		✓	
	N (mg/L)	15 - 180	< 10	✓	
	P (mg/L)	20 - 250	0,4 - 5	✓	
	Sodium (mg/L)	60 - 807		✓	
	Chlorure (mg/L)	48 - 2 000		✓ à confirmer	
Calcium (mg/L)	57 - 112		✓		
Magnésium (mg/L)	22 - 49		✓		
Potassium (mg/L)	11 - 160		✓		
REGLEMENTATION	Effluents liquides : DCE, REACH, PNAR. Effluents gazeux : PNAQ, NEC.				
TENDANCE DE CE SECTEUR SUR LE MARCHÉ FRANÇAIS	Stable ou à la baisse ⁴¹				
CONSOMMATEUR DE GAZ NATUREL	Oui				
NOMBRE DE SITES DE PRODUCTION ACTUELS EN FRANCE	591	Réf. : MEDDEM			
SURFACE MOYENNE DISPONIBLE A PROXIMITÉ	2 ha	Source : moyenne sur 5 sites représentatifs du secteur			
		Usine	Activité	Milieu	Surface
		AGRODOUBS, Flagey	Plats préparés surgelés, gâteaux, préparations desserts lactés, ...	Périurbain	3,9 ha

⁴⁰ BREF Industries Agro-alimentaires et laitières, 2006

⁴¹ <http://panorama-iaa.alimentation.gouv.fr/Industrie-laitiere>

		RÉGILAIT, Saint-Martin-Belle-Roche	Lait en poudre et condensé, produits laitiers, lait maternisé, ...	Périurbain	2,7 ha
		ARMOR PROTEINES, Saint-Brice-en-Coglès	Lait en poudre et condensé, lait infantile maternisé, ingrédient pour la nutrition et diététique	Périurbain	0,72 ha
		LE PETIT BASQUE, Saint-Médard-d'Eyrans	Desserts lactés, yaourts au lait de brebis, yaourts biologiques	Périurbain	2,27 ha
		ISIGNY SAINTE-MERE, Isigny Sur Mer	Produits laitiers, desserts lactés, fromages	Périurbain	2,09 ha
	Surface moyenne				2,34 ha
OPPORTUNITES UTILISATION MICROALGUES	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Énergétique</u> : biométhane Les laiteries consomment une quantité non négligeable d'énergie. Environ 80 % de l'énergie est consommée sous forme d'énergie thermique issue de la combustion de combustibles fossiles dans le but de produire de la vapeur et de l'eau chaude (opérations de chauffage et de nettoyage). • <u>Non énergétique</u> : traitement effluents liquides et gazeux 				
PROBLEMATIQUES MAJEURES IDENTIFIEES	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Effluents liquides</u> : quantité importante d'eaux usées à traiter. • <u>Effluents gazeux</u> : Les émissions de dioxyde de carbone, de dioxyde de soufre et d'oxydes d'azote proviennent de la production d'énergie dans les chaudières. Certaines installations sont suffisamment importantes pour être éligibles aux quotas de CO₂ sans pour autant disposer de solutions de gestion de leurs émissions. 				
POTENTIEL DEVELOPPEMENT DES MICROALGUES A TERME	Horizon de déploiement		2050 – secteur à intérêt intermédiaire		
	Indice de potentiel de déploiement de la technologie		3/5		
	Vecteurs de déploiement : <ul style="list-style-type: none"> - Intérêt environnemental marqué avec une gestion des effluents liquides pouvant devenir problématique dans les prochaines décennies - Certains déchets organiques de type coproduits peuvent nécessiter un traitement de type méthanisation sur place - Besoin d'énergie verte de nature thermique - Possibilité d'alimenter des flottes captives en environnement rural nécessitant une forte autonomie des véhicules 				
MODELE DE PRODUCTION DES MICROALGUES	Type de réacteur envisagé : Ponds couverts		Compte tenu de la visée orientée « traitement des effluents liquides », ces réacteurs semblent les plus appropriés au modèle d'affaire envisagé		
	Rendements : 27 T/ha/an		Cf. Annexe 1		
Schéma technique envisagé pour l'insertion de la brique technologique algues dans le secteur des laiteries :					



MODELE TECHNIQUE DE PRODUCTION D'ENERGIE A PARTIR DES MICROALGUES	Type d'énergie produite	Biométhane – valorisable directement sur site (procédé industriel, flotte captive,...) ou via injection réseau	
	Production du biométhane à partir de microalgues directement	Le procédé industriel pouvant rejeter une quantité significative de résidus organiques, la méthanisation sur site apparaît comme une synergie à fort intérêt pour ce type d'industries. Une correction du rapport C/N peut s'avérer nécessaire par introduction de matières carbonées supplémentaires dans le réacteur.	
	Type de technologie de méthanisation	Méthanisaton simple ou co-méthanisaton	
	Rendement de méthanisation	60 %	Réf. : données internes GDF SUEZ validées expérimentalement
	Part de la biomasse algale produite entrant directement dans la filière énergie	$\eta_1 = 100 \%$	Part liée à un ajustement de la production au regard des besoins en énergies renouvelables.

6. Amylacées

Description du secteur des Amylacées																							
CONTEXTE – ENJEUX	3 principales matières premières permettent de fabriquer l'amidon : le maïs, le blé et les pommes de terre. Il faut 1,85 t de maïs, 2,35 t de blé ou 6,6 t de pommes de terre pour obtenir 1 t d'amidon. Les consommations d'eau et d'énergie sont les principales problématiques de ce secteur.																						
CARACTERISTIQUES EFFLUENTS	Les eaux usées contiennent un taux élevé de matières organiques facilement biodégradables. La teneur en MES n'est pas importante. De l'azote est également présent dans les eaux usées. Les effluents gazeux proviennent des procédés thermiques nécessaires aux opérations d'évaporation et de séchage. La consommation d'énergie dépend fortement de l'amidon et des sous-produits fabriqués sur site ⁴² .																						
		Émissions moyennes	Émissions MTD	Compatibilité pour les algues																			
	Effluents gazeux																						
	CO ₂ (t/an)	A déterminer		✓																			
	NOx (t/an)	A déterminer		✓																			
	SOx (t/an)	A déterminer		✓																			
	Effluents liquides																						
	Volume d'eaux usées (m ³ /t de produit)	A déterminer		✓																			
	DBO ₅	A déterminer		A prétraiter																			
	DBO ₅ après traitement (mg/L)	A déterminer		A prétraiter																			
	DCO après traitement (mg/L)	A déterminer		ⓘ A prétraiter																			
	MES après traitement (mg/L)	A déterminer		✓																			
N _{tot} après traitement (mg/L)	Présence		✓																				
P après traitement (mg/L)	Présence		✓																				
REGLEMENTATION	Effluents liquides : DCE, REACH, PNAQ. Effluents gazeux : PNAQ, NEC, GIC.																						
TENDANCE DE CE SECTEUR SUR LE MARCHÉ FRANÇAIS	Stable ou à la baisse ⁴³																						
CONSOMMATEUR DE GAZ NATUREL	Oui																						
NOMBRE DE SITES DE PRODUCTION ACTUELS EN FRANCE	10 ⁴⁴																						
SURFACE MOYENNE DISPONIBLE A PROXIMITÉ	16 ha	Source : moyenne sur 5 sites représentatifs du secteur <table border="1"> <thead> <tr> <th>Usine</th> <th>Activité</th> <th>Milieu</th> <th>Surface</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CARGILL HAUBOURDIN, Haubourdin</td> <td>Producteur d'amidons et produits dérivés et d'amidons industriels</td> <td>Urbain</td> <td>2,9 ha</td> </tr> <tr> <td>ROQUETTE FRERES, Beinheim</td> <td>Amidonnerie de maïs et de blé</td> <td>Rural</td> <td>15,5 ha</td> </tr> <tr> <td>SYRAL HAUSSIMONT, Marne</td> <td>Féculerie de pommes de terre</td> <td>Rural</td> <td>27,6 ha</td> </tr> <tr> <td>PECNER COGNAC,</td> <td>Caramels, colorant</td> <td>Périurbain</td> <td>2,9 ha</td> </tr> </tbody> </table>		Usine	Activité	Milieu	Surface	CARGILL HAUBOURDIN, Haubourdin	Producteur d'amidons et produits dérivés et d'amidons industriels	Urbain	2,9 ha	ROQUETTE FRERES, Beinheim	Amidonnerie de maïs et de blé	Rural	15,5 ha	SYRAL HAUSSIMONT, Marne	Féculerie de pommes de terre	Rural	27,6 ha	PECNER COGNAC,	Caramels, colorant	Périurbain	2,9 ha
Usine	Activité	Milieu	Surface																				
CARGILL HAUBOURDIN, Haubourdin	Producteur d'amidons et produits dérivés et d'amidons industriels	Urbain	2,9 ha																				
ROQUETTE FRERES, Beinheim	Amidonnerie de maïs et de blé	Rural	15,5 ha																				
SYRAL HAUSSIMONT, Marne	Féculerie de pommes de terre	Rural	27,6 ha																				
PECNER COGNAC,	Caramels, colorant	Périurbain	2,9 ha																				

⁴² BREF Industries Agro-alimentaires et laitières, 2006.

⁴³ <http://panorama-iaa.alimentation.gouv.fr/Industrie-laitiere>

⁴⁴ Source : CRIGEN/GDF SUEZ (2012)

		Charente			
		CHAMTOR BAZANCOURT, Marne	Amidonnerie de blé	Périurbain	31,2 ha
		Surface moyenne			16 ha
OPPORTUNITES UTILISATION MICROALGUES	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Énergétique</u> : biométhane • <u>Non énergétique</u> : traitement des effluents liquides et gazeux 				
PROBLEMATIQUES MAJEURES IDENTIFIEES	<ul style="list-style-type: none"> • Consommation énergétique importante : traitement des effluents gazeux • Traitement des eaux usées 				
POTENTIEL DEVELOPPEMENT DES MICROALGUES A TERME	Horizon de déploiement		2050 – secteur à intérêt intermédiaire		
	Indice de potentiel de déploiement de la technologie		3/5		
	Vecteurs de déploiement : <ul style="list-style-type: none"> - Intérêt environnemental marqué avec une gestion des effluents liquides pouvant devenir problématique dans les prochaines décennies - Certains déchets organiques de type coproduits peuvent nécessiter un traitement de type méthanisation sur place - Besoin d'énergie verte de nature thermique - Possibilité d'alimenter des flottes captives en environnement rural nécessitant une forte autonomie des véhicules 				
MODELE DE PRODUCTION DES MICROALGUES	Type de réacteur envisagé : Ponds couverts		Compte tenu de la visée orientée « traitement des effluents liquides », ces réacteurs semblent les plus appropriés au modèle d'affaire envisagé		
	Rendements : 27 T/ha/an		Cf. Annexe 1		
Schéma technique envisagé pour l'insertion de la brique technologique algues dans le secteur des amylacées :					
MODELE TECHNIQUE DE PRODUCTION D'ENERGIE A PARTIR DES MICROALGUES	Type d'énergie produite		Biométhane – valorisable directement sur site (procédé industriel, flotte captive,...) ou via injection réseau		
	Production du biométhane à partir de microalgues directement		Le procédé industriel pouvant rejeter une quantité significative de résidus organiques, la méthanisation sur site apparaît comme une synergie à fort intérêt		

		pour ce type d'industries. Une correction du rapport C/N pouvant s'avérer nécessaire par introduction de matières carbonées supplémentaires dans le réacteur.	
	Type de technologie de méthanisation	Méthanisation simple ou co-méthanisation	
	Rendement de méthanisation	60 %	Réf. : données internes GDF SUEZ validées expérimentalement
	Part de la biomasse algale produite entrant directement dans la filière énergie	$\eta_1 = 100 \%$	Part liée à un ajustement de la production au regard des besoins en énergies renouvelables.

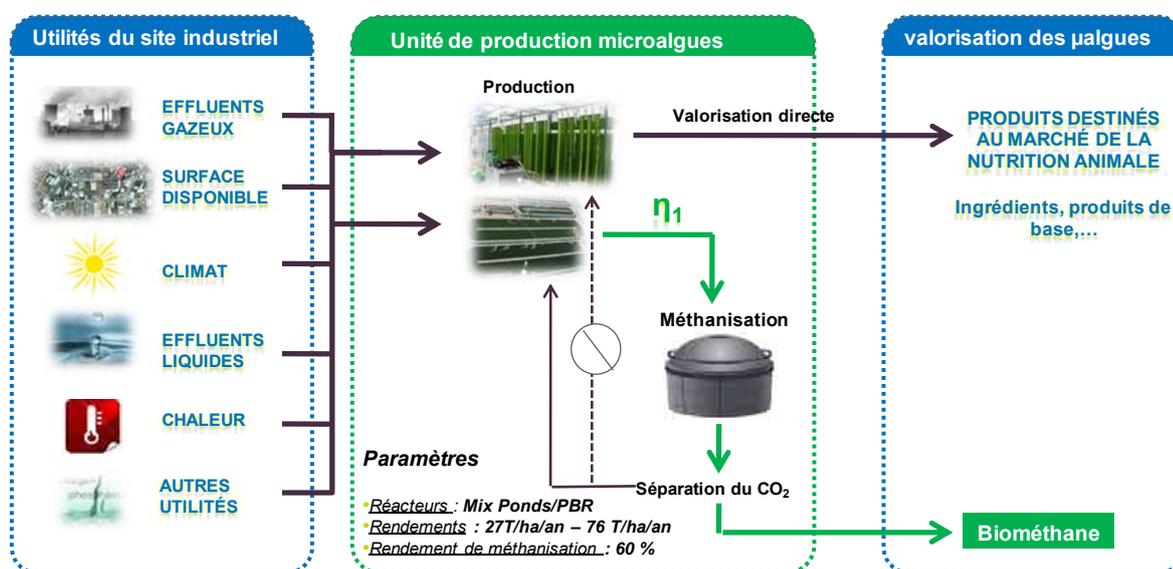
7. Fabrication d'aliments pour animaux

Description du secteur des Aliments pour animaux					
CONTEXTE – ENJEUX	Ce secteur regroupe deux activités : fabrication d'aliments pour animaux de ferme et fabrication d'aliments pour animaux de compagnie. Les aliments pour chiens et chats constituent la part la plus importante de ce secteur. Les matières premières constituant ces aliments peuvent être des coproduits ou des sous-produits des autres secteurs agro-alimentaires.				
CARACTERISTIQUES EFFLUENTS	La principale problématique identifiée pour ce secteur est la consommation d'énergie. Les effluents gazeux proviennent majoritairement de ces opérations.				
		Émissions moyennes (t/an)	Compatibilité pour les algues		
	Effluents gazeux				
	CO ₂	A déterminer	✓		
	CO	A déterminer	Traitement indispensable		
	NOx	A déterminer	✓		
	Poussières	A déterminer	ND		
	SOx	A déterminer	✓		
	Effluents Liquides				
	N	Présence avérée – à déterminer	✓		
P	Présence avérée – à déterminer	✓			
K	Présence avérée – à déterminer	✓			
REGLEMENTATION	Effluents gazeux : PNAQ. NEC.				
TENDANCE DE CE SECTEUR SUR LE MARCHÉ FRANÇAIS	A la baisse mais avec un fort développement du marché de la nourriture halieutique				
CONSOMMATEUR DE GAZ NATUREL	oui				
NOMBRE DE SITES DE PRODUCTION ACTUELS EN FRANCE	337, dont 301 sites de production fabrication d'aliments pour animaux de ferme). Il s'agit d'une industrie de proximité, située à l'interface entre la production agricole, l'industrie agroalimentaire, dont elle valorise de nombreux coproduits, et l'élevage ⁴⁵ .		Source : DIANA foods		
SURFACE MOYENNE DISPONIBLE A PROXIMITE	11 ha	Source : moyenne sur 5 sites représentatifs du secteur			
		Usine	Activité	Milieu	Surface
		LACTO, Montauban de Bretagne	Aliments pour bétail et volaille, noyaux laitiers, nourriture animale	Rural	1,5 ha
		NESTLE PURINA PETCARE France, Saint-Philbert-sur-Risle	Fabrication d'aliments haut de gamme pour chiens et chats	Périurbain	1,12 ha
		ROYAL CANIN, Aimargues	Aliments pour chiens	Périurbain	0,88 ha
		CODICO, Saint-Amans-Valtoret	Aliments pour chiens	Rural	0,95ha
		ATM, Longue Jumelles	Fabrication, conditionnement et commercialisation de croquettes pour chiens et chats	Périurbain	51 ha
	Surface moyenne		11,09 ha		
OPPORTUNITES UTILISATION MICROALGUES	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Énergétique</u> : biométhane • <u>Non énergétique</u> : matière première pour ce secteur notamment grâce à la valeur nutritive importante des microalgues (protéines et lipides ainsi que compléments types oméga 3,...) destinée à la nourriture halieutique ou à 				

⁴⁵ <http://panorama-iaa.alimentation.gouv.fr/Fabrication-d-aliments-pour-animaux>, 400 GrDF - 6, rue Condorcet - 75009 Paris - Société Anonyme au capital de 1 800 000 000 euros - RCS : PARIS 444 786 511

	<p>l'apport d'ingrédients dans la nourriture des bovins,...</p> <p>La majeure partie du flux de microalgues sera dédiée à la production d'énergie et celle dédiée aux produits d'alimentation animale dépendra entre autre de l'attractivité économique de ces deux secteurs.</p>	
PROBLEMATIQUES MAJEURES IDENTIFIEES	<ul style="list-style-type: none"> • Contraintes règlementaires du secteur concernant le traitement des effluents de type : CO₂ et NOx et des eaux issues des procédés de séchage et de lavage des produits alimentaires. • Un fort besoin de diversifier le sourcing des matières premières sur différents marchés et d'apporter des sources à bas coût de matières premières. 	
POTENTIEL DEVELOPPEMENT DES MICROALGUES A TERME	Horizon de déploiement	2020 – secteur à fort intérêt avec importante création de valeur
	Indice de potentiel de déploiement de la technologie	5/5
	<p><u>Vecteurs de déploiement</u> : besoin croissant d'ingrédients alimentaires à forte appétence et valeur nutritive, forte demande du secteur de l'halieutique, recherche de compléments alimentaires à destination des bovins et ovins,... la teneur en lipides insaturés, oméga 3 et protéines des microalgues en font des candidats idéaux pour ces marchés à valeur ajoutée mais qui nécessitent des capacités de production élevées.</p> <p><u>Contraintes technico-économiques</u> : un coût de la biomasse algale inférieur à 2 €/t ce qui implique un besoin intermédiaire de R&D et une maturité technologique à l'horizon 2020.</p>	
MODELE DE PRODUCTION DES MICROALGUES	<p>Type de réacteur envisagé : Agencement séquentiel de PBR et Ponds</p>	<p>Le niveau de contrôle et de qualité élevés nécessaires impliquent le recours à des réacteurs fermés avec des procédés hétérotrophes. Le démarrage du secteur pouvant être accéléré par la mise en place de systèmes hétérotrophes ou mixotrophes qui devront rapidement évoluer vers l'hétérotrophie afin d'éviter les compétitions d'usages.</p>
	<p>Rendements :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ponds : 27 T/ha/an • PBR : 76 T/ha/an 	Cf. Annexe 1

Schéma technique envisagé pour l'insertion de la brique technologique algues dans le secteur des aliments pour animaux :



MODELE TECHNIQUE DE PRODUCTION D'ENERGIE A PARTIR DES MICROALGUES	Type d'énergie produite	Biométhane – valorisable directement sur site (procédé industriel, flotte captive,...) ou via injection réseau	
	Production du biométhane sur base de microalgues uniquement	La biomasse peut être traitée très aisément par méthanisation ou co-méthanisation.	
	Type de technologie de méthanisation	Méthanisation simple ou co-méthanisation avec déchets organiques de la filière	
	Rendement de méthanisation	60 %	Réf. : données internes GDF SUEZ validées expérimentalement
	Part de la biomasse algale totale produite entrant directement dans la filière énergie	$\eta_1 = 10\%$	Part liée à un ajustement de la production au regard des besoins en énergies renouvelables.

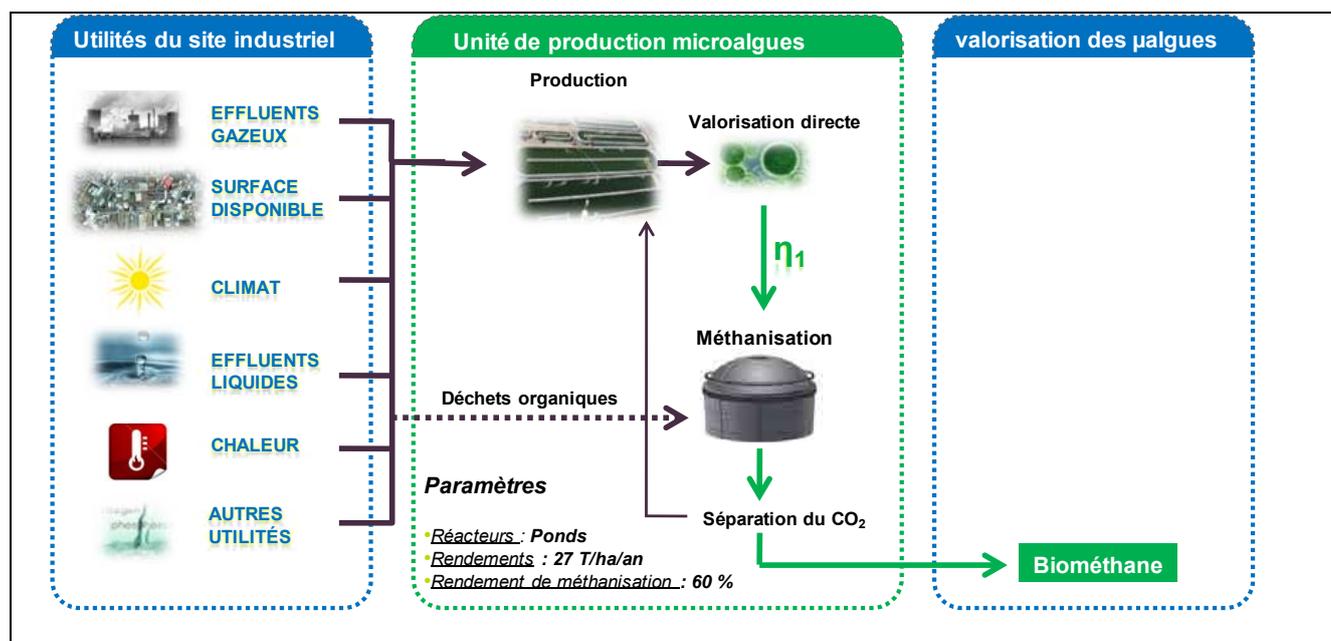
3. Papier-Carton

Description du secteur du Papier - Carton				
CONTEXTE – ENJEUX	<p>La production de papier s'articule en trois étapes : production de pâte à papier, production de bobines à papier et transformation des bobines en produits finis. Il y a peu d'usines intégrées à partir de pâte vierge en France.</p> <p>On distingue trois sortes de produits finaux : papiers à usage graphique (papiers journaux, papiers d'impression écriture), papiers d'emballage (carton plat, carton ondulé) et papiers à usage sanitaire et domestique (couches, mouchoirs, masques, ...).</p> <p>La réduction des impacts environnementaux est un enjeu majeur de l'industrie papetière.</p> <p>D'un point de vue énergétique, l'optimisation de l'efficacité énergétique est une problématique majeure pour le secteur.</p>			
CARACTERISTIQUES EFFLUENTS	<p>La consommation énergétique et le rejet des eaux usées sont les principales problématiques du secteur papetier. Les effluents de ce secteur ont généralement une forte teneur en DCO, deux à trois fois plus importante que la DBO₅, et présentent également des traces de substances toxiques et corrosives. La concentration en pollution organique dissoute est particulièrement élevée dans le cas de production à partir de vieux papiers.</p> <p>Dans toutes les activités de ce secteur, des résidus de cadmium, chloroforme, cuivre, mercure, nickel, chrome et zinc peuvent être retrouvés.</p> <p>Les caractéristiques des effluents liquides dépendent fortement du type de fabrication de papier considéré.</p> <p>Les effluents gazeux proviennent principalement des étapes de séchage et de chauffage.</p>			
		Émissions moyennes (kg/t de produit) ⁴⁶	Émissions MTD (kg/t de produit)	Compatibilité pour les algues
	Effluents gazeux			
	CO ₂	A déterminer		✓
	NO _x	A déterminer		✓
	SO _x	A déterminer		✓
	Effluents liquides			
	MES	5 - 110	0,05 - 2	✓
	DCO		0,4 - 30	Traitement indispensable
	DBO ₅	2 - 60	0,05 - 2	ND
N _{tot}	-	0,04 - 0,5	✓	
REGLEMENTATION	Effluents liquides : arrêté papetier, REACH, DCE. Effluents gazeux : quotas CO ₂ , NEC, PPA, GIC.			
TENDANCE DE CE SECTEUR SUR LE MARCHE FRANÇAIS	A la baisse			
CONSOMMATEUR DE GAZ NATUREL	oui			
NOMBRE DE SITES DE PRODUCTION ACTUELS EN FRANCE	166 ⁴⁷	Source : INSEE		
SURFACE MOYENNE DISPONIBLE A PROXIMITE	3 ha	Source : moyenne sur 10 sites représentatifs du secteur		
	Usine	Activité	Milieu	Surface
	ARJOWIGGINS	Fabrique de papiers	rural	0,37 ha

⁴⁶ Mémento technique de l'eau.

⁴⁷ Source : nombre d'établissement selon le SESSI (Service des Etudes et des Statistiques Industrielles) (code NAF F32) <http://www.insee.fr/sessi/enquetes/eae/eae/f32.htm#tableau9>

	PAPIERS, Amélie-les-Bains-Palalda	médicaux et hospitaliers		
	MUNKSJO, Arches	Fabrication de papiers et de cartons	rural	1,33 ha
	UPM Kymmene France, Grand Couronne	Fabrication de papiers et de cartons	Périurbain	5,7 ha
	CONDAT, Le-Lardin-Saint-Lazare	Fabrication de papiers	rural	4,76 ha
	Papeteries de Mauduit – PDM Industries, Quimperlé	Fabrication de papiers	rural	11,4 ha
	STORA ENSO, Usine de Corbehem	Fabrication de papiers	Périurbain	1,67 ha
	NORAMPAC AVOT VALLEE SA, Blendecques	Papeterie	Périurbain	0,36 ha
	AHLSTROM LABELPACK, Saint Séverin	Papeterie	Rural	2,05 ha
	AHLSTROM PAPER GROUP – AHLSTROM SIBILLE SA, Stenay	Papeterie	Rural	0,88 ha
	Papeteries de CLAIREFONTAINE, Etival Clairefontaine	Papeterie	Périurbain	2,5 ha
	Surface moyenne			3,1 ha
	OPPORTUNITES UTILISATION MICROALGUES	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Énergétique</u> : biométhane • <u>Non énergétique</u> : traitement partiel des effluents liquides et gazeux 		
PROBLEMATIQUES MAJEURES IDENTIFIEES	Contraintes règlementaires du secteur concernant le traitement des effluents de type : CO ₂ et NO _x et des eaux issues des procédés de production de pâte à papier et de séchage (l'usage de biomasse dans ces procédés limite néanmoins la problématique relative aux quotas de CO ₂).			
POTENTIEL DEVELOPPEMENT DES MICROALGUES A TERME	Horizon de déploiement		2050 – secteur à intérêt faible	
	Indice de potentiel de déploiement de la technologie		2/5	
	<u>Vecteurs de déploiement</u> : besoins d'énergie verte et de systèmes de traitement et valorisation des déchets organiques			
MODELE DE PRODUCTION DES MICROALGUES	Type de réacteur envisagé : Ponds	Peu de valeur ajoutée à tirer de l'insertion de la brique technologique ce qui implique un choix de technologies à faible intensité capitalistique		
	Rendements : • Ponds : 27 T/ha/an	Cf. Annexe 1		
Schéma technique envisagé pour l'insertion de la brique technologique algues dans le secteur du Papier/Carton :				



MODELE TECHNIQUE DE PRODUCTION D'ENERGIE A PARTIR DES MICROALGUES	Type d'énergie produite	Biométhane – valorisable directement sur site (procédé industriel, flotte captive,...) ou via injection réseau	
	Production du biométhane à partir de l'ensemble de la production de microalgues	La biomasse peut être traitée très aisément par méthanisation ou co-méthanisation avec des déchets de l'industrie papetière avec un très haut rendement.	
	Type de technologie de méthanisation	Méthanisation simple ou co-méthanisation avec déchets organiques de la filière	
	Rendement de méthanisation	60 %	Réf. : données internes GDF SUEZ validées expérimentalement
	Part de la biomasse algale totale produite entrant directement dans la filière énergie	$\eta_1 = 100 \%$	La biomasse algale étant essentiellement amenée à traiter des effluents sa valorisation est entièrement tournée vers l'énergie

4. Caoutchouc

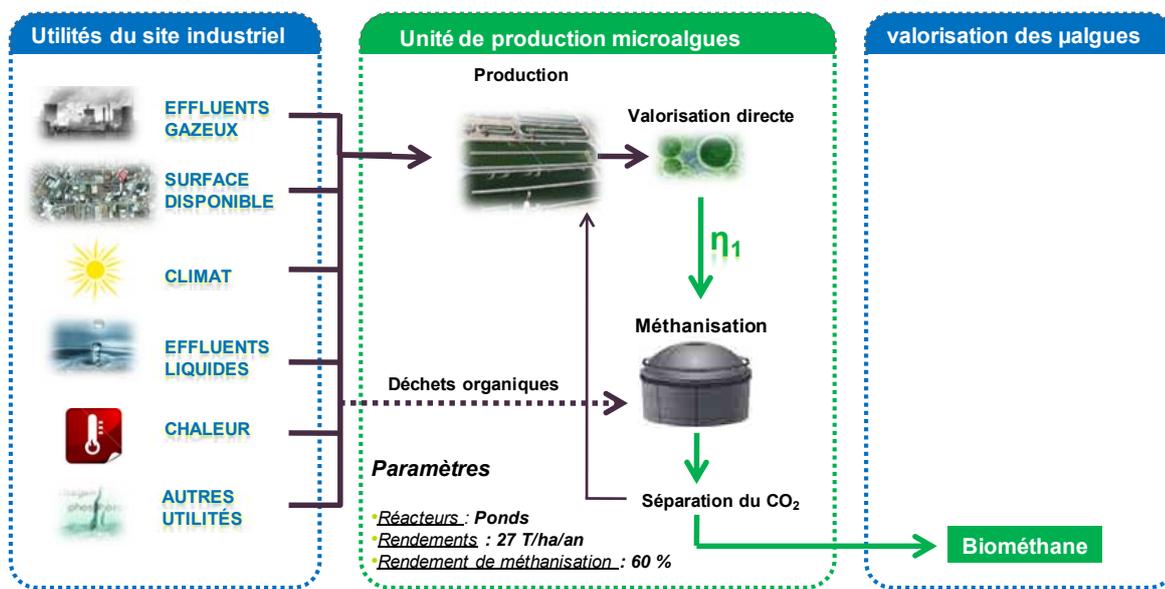
Description du secteur du Caoutchouc					
CONTEXTE – ENJEUX	<p>Le secteur du caoutchouc se divise en 2 sous-secteurs : les pneumatiques et le caoutchouc industriel.</p> <p>La réglementation REACH est la plus contraignante pour le secteur du caoutchouc ; certaines substances utilisées auparavant sont considérées comme trop dangereuses (noir de carbone, ...) et les procédés de fabrication sont remis en cause par la réglementation. Certaines entités de ce secteur doivent modifier fortement leur activité⁴⁸.</p>				
CARACTERISTIQUES EFFLUENTS	<p>Les effluents gazeux proviennent principalement des différentes étapes du procédé ainsi que de l'utilisation de chaudières.</p> <p>Les COV sont la problématique majeure environnementale de ce secteur.</p>				
		Émissions moyennes (kg/t de produit)	Émissions MTD (kg/t de produit)	Compatibilité pour les algues	
	Effluents gazeux				
	CO2	A déterminer		✓	
	NOx	A déterminer		✓	
	SOx	A déterminer		✓	
COV	A déterminer		ND		
REGLEMENTATION	<p>Produits : REACH</p> <p>Effluents gazeux : quotas CO₂, COV</p>				
TENDANCE DE CE SECTEUR SUR LE MARCHÉ FRANÇAIS	A la baisse				
CONSOMMATEUR DE GAZ NATUREL	oui				
NOMBRE DE SITES DE PRODUCTION ACTUELS EN FRANCE	157 ⁴⁹				
SURFACE MOYENNE DISPONIBLE A PROXIMITE	2 ha	Source : moyenne sur 10 sites représentatifs du secteur			
		Usine	Activité	Milieu	Surface
		Usine Michelin à Bourges	Production de pneumatiques	Périurbain	0,87 ha
		Usine Michelin de Cataroux	Production de pneumatiques	Urbain	0,26 ha
		Usine Michelin de Cholet	Production de pneumatiques	Périurbain	7,49 ha
		Usine Michelin de La Roche sur Yon	Production de pneumatiques	Périurbain à rural	3,1 ha
		Usine Michelin de Montceau	Production de pneumatiques	Périurbain	1,77 ha
		HUTCHINSON SNC, usine de Joué-Lès-Tours	Transformation de caoutchouc industriel	Urbain	0,91 ha
		HUTCHINSON SNC, usine de Sougé-Le-Ganelon	Transformation de caoutchouc industriel	Rural	2,5 ha
		HUTCHINSON SNC, usine de Persan	Transformation de caoutchouc industriel	Périurbain	2,77 ha
		Le Joint Français SNC, Roubaix	Transformation de caoutchouc industriel	Urbain	0,08 ha

⁴⁸ Source GDF SUEZ, 2010.

⁴⁹ Source : CRIGEN – GDF SUEZ/CEREN (données 2006).

		Standard Cooper France, Rennes	Transformation de caoutchouc industriel	Périurbain	4,05 ha	
		Surface moyenne			2,38 ha	
OPPORTUNITES UTILISATION MICROALGUES	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Énergétique</u> : biométhane • <u>Non énergétique</u> : traitement partiel des effluents liquides et gazeux 					
PROBLEMATIQUES MAJEURES IDENTIFIEES	<ul style="list-style-type: none"> • La problématique majeure de ce secteur est l'utilisation de solvants et l'émission de COV. La composition des effluents liquides est peu adaptée à la croissance des microalgues. 					
POTENTIEL DEVELOPPEMENT DES MICROALGUES A TERME	Horizon de déploiement			2050 – secteur à intérêt faible		
	Indice de potentiel de déploiement de la technologie			2/5		
	<u>Vecteurs de déploiement</u> : besoins d'énergie verte et de systèmes de traitement et valorisation des déchets organiques					
MODELE DE PRODUCTION DES MICROALGUES	Type de réacteur envisagé : Ponds		Peu de valeur ajoutée à tirer de l'insertion de la brique technologique ce qui implique un choix de technologies à faible intensité capitalistique			
	Rendements : • Ponds : 27 T/ha/an		Cf. Annexe 1			

Schéma technique envisagé pour l'insertion de la brique technologique algues dans le secteur du caoutchouc :



MODELE TECHNIQUE DE PRODUCTION D'ENERGIE A PARTIR DES MICROALGUES	Type d'énergie produite	Biométhane – valorisable directement sur site (procédé industriel, flotte captive,...) ou via injection réseau	
	Production du biométhane à partir de l'ensemble de la production de microalgues	La biomasse peut être traitée très aisément par méthanisation ou co-méthanisation	
	Type de technologie de méthanisation	Méthanisation simple ou co-méthanisation avec des déchets organiques récoltés à proximité	
	Rendement de méthanisation	60 %	Réf. : données internes GDF SUEZ validées expérimentalement

	Part de la biomasse algale totale produite entrant directement dans la filière énergie	$\eta_1 =$ 100 %	La biomasse algale étant essentiellement amenée à traiter des effluents sa valorisation est entièrement tournée vers l'énergie
--	--	-------------------------------	--

5. Textile

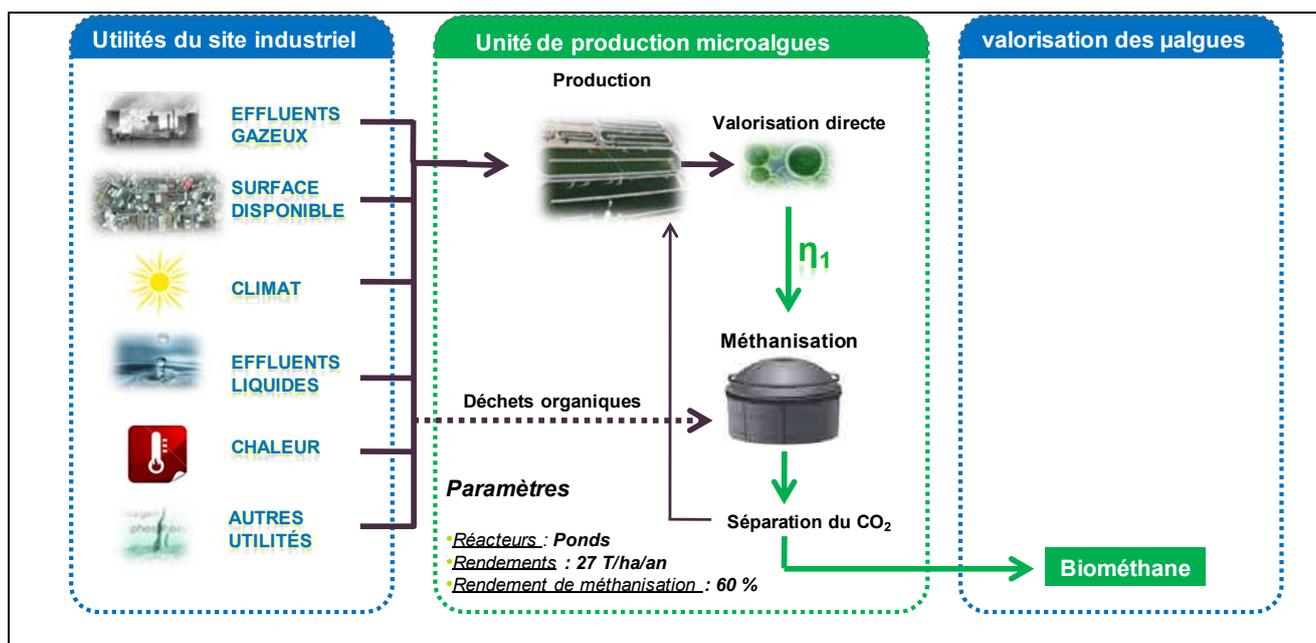
Description du secteur du Textile					
CONTEXTE – ENJEUX	Ce secteur est caractérisé par 2 grands sous-secteurs : la production/transformation de matières textiles (filature, tissage, tressage, tricotage et ennoblissement) et l'habillement (confectionne les étoffes en vêtements). Les problématiques environnementales de ce secteur concernent essentiellement les rejets dans l'eau (produits toxiques, métalliques ou organiques utilisés dans le procédé) mais également les émissions dans l'air ainsi que la consommation d'énergie.				
	L'ennoblissement (rassemble les activités de désencollage, blanchiment, teinture, impression et apprêts) est l'activité textile la plus polluante notamment en termes d'émissions de COV ⁵⁰ . La quantité et les caractéristiques des effluents liquides sont très dépendants de la chaîne de production ainsi que du type de textile considéré. Des biocides peuvent être retrouvés dans les effluents. Les principales utilisations de l'énergie dans ce secteur sont le chauffage des bains de traitement et les opérations de polymérisation.				
CARACTERISTIQUES EFFLUENTS		Émissions moyennes (g/kg de produit) ⁵¹	Compatibilité pour les algues		
	Effluents liquides ⁵¹				
	Usine de lavage				
	Exemple de consommation d'eau brute (l par kg)	5-20	/		
	DCO	150-500	✓		
	Usine spécialisée principalement dans l'ennoblissement de floc en viscose, polyester, polyacrylique ou coton				
	Exemple de consommation d'eau brute (l par kg)	10-34	/		
	DCO	13-67	✓		
	DBO5	4-29	ND		
	usines d'ennoblissement de rubans de laine peignée/fils en laine				
	Exemple de consommation d'eau brute (l par kg)	30-180	/		
	DCO	22-65	✓		
	Usine de teinture de fils				
	DCO	16-59	✓		
MES	0,2-1,85	ND			
REGLEMENTATION	Effluents liquides : REACH, DCE. Effluents gazeux : NEC, PPA.				
TENDANCE DE CE SECTEUR SUR LE MARCHÉ FRANÇAIS	A la baisse				
CONSOMMATEUR DE GAZ NATUREL	oui				
NOMBRE DE SITES DE PRODUCTION ACTUELS EN FRANCE	1570 ⁵²				
SURFACE MOYENNE DISPONIBLE A PROXIMITE	1 ha	Source : moyenne sur 10 sites représentatifs du secteur			
		Usine	Activité	Milieu	Surface
		FAURECIA, usine de Mouzon	Fabrication de textile pour automobiles et autres activités	Rural	0,83 ha

⁵⁰ Source GDF SUEZ 2003.

⁵¹ BREF Industrie Textile, 2003.

⁵² Source : CRIGEN-GDF SUEZ/CEREN (données 2008).

		ETS LUCIEN NOYON ET CIE, Calais	Fabrication de textile	Urbain	0,66 ha
		SA APLIX, Le Cellier	Fabrication de textile	Rural	1,25 ha
		CHEYNET & FILS, Saint-Just-Malmont	Fabrication de textile	Périurbain	0,16 ha
		BERTHEAS ET CIE, Saint-Chamond	Fabrication de textile	Périurbain	1,04 ha
		FREMAUX-DELORME, usine de Belmont	Fabrication de textile	Périurbain	0,3 ha
		FREMAUX-DELORME, usine de Houplines	Fabrication de textile	Périurbain	2,16 ha
		FREMAUX-DELORME, usine de Haubourdin	Fabrication de textile	Périurbain	0,04 ha
		DODO Usine Foch, Saint-Avold	Fabrication de textile	Urbain	0,28 ha
		DODO Usine, Saint-Avold	Fabrication de textile	Périurbain	0,56 ha
		Surface moyenne			
OPPORTUNITES UTILISATION MICROALGUES	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Énergétique</u> : biométhane • <u>Non énergétique</u> : traitement partiel des effluents liquides et gazeux 				
PROBLEMATIQUES MAJEURES IDENTIFIEES	Contraintes réglementaires du secteur concernant le traitement des effluents de type : CO ₂ et NO _x et des eaux issues des procédés de production.				
POTENTIEL DEVELOPPEMENT DES MICROALGUES A TERME	Horizon de déploiement	2050 – secteur à intérêt faible			
	Indice de potentiel de déploiement de la technologie	1/5			
Vecteurs de déploiement : besoins d'énergie verte et de systèmes de traitement et valorisation des déchets organiques					
MODELE DE PRODUCTION DES MICROALGUES	Type de réacteur envisagé : Ponds	Peu de valeur ajoutée à tirer de l'insertion de la brique technologique ce qui implique un choix de technologies à faible intensité capitalistique			
	Rendements : • Ponds : 27 T/ha/an	Cf. Annexe 1			
Schéma technique envisagé pour l'insertion de la brique technologique algues dans le secteur du textile :					



MODELE TECHNIQUE DE PRODUCTION D'ENERGIE A PARTIR DES MICROALGUES	Type d'énergie produite	Biométhane – valorisable directement sur site (procédé industriel, flotte captive,...) ou via injection réseau	
	Production du biométhane à partir de l'ensemble de la production de microalgues	La biomasse peut être traitée très aisément par méthanisation ou co-méthanisation	
	Type de technologie de méthanisation	Méthanisation simple ou co-méthanisation avec déchets organiques (récolte à proximité nécessaire)	
	Rendement de méthanisation	60 %	Réf. : données internes GDF SUEZ validées expérimentalement
	Part de la biomasse algale totale produite entrant directement dans la filière énergie	$\eta_1 = 100 \%$	La biomasse algale étant essentiellement amenée à traiter des effluents sa valorisation est entièrement tournée vers l'énergie

6. Plasturgie

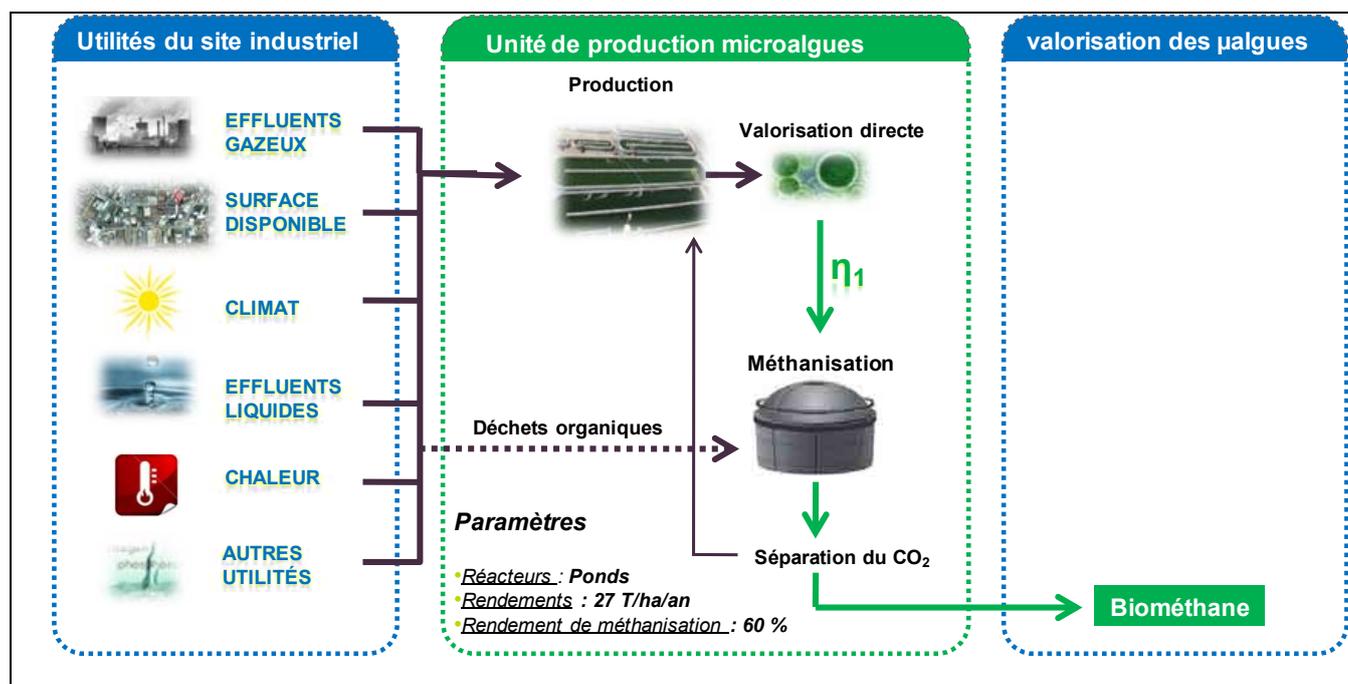
Description du secteur de la Plasturgie																												
CONTEXTE – ENJEUX	<p>La plasturgie est l'industrie de transformation de la plastique, qui compte les sous-secteurs suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fabrication de plaques, feuilles, tubes et profilés en matières plastiques (25.2A) - Fabrication d'emballages en matières plastiques (25.2C) - Fabrication d'éléments en matières plastiques pour la construction (25.2E) - Fabrication d'articles divers en matières plastiques (25.2G) - Fabrication de pièces techniques en matières plastiques (25.2H) <p>Il existe plus de 20 techniques de transformation, parmi lesquelles on retrouve le plus souvent⁵³ : injection, injection soufflage, extrusion, extrusion gonflage, calandrage, enduction, rotomoulage – expansion, compression, thermoformage, pultrusion, stratification, chaudronnerie, et plusieurs techniques pour les composites.</p> <p>Les produits plastiques sont retrouvés dans de nombreux secteurs : emballage, bâtiment (profilés, revêtements), automobile (carrosserie, pièces sous capot), électrique et électronique (électroménager, télécommunications), médical, ...</p> <p>Parmi les enjeux environnementaux et économiques du secteur : la consommation et les rejets dans l'eau, les émissions dans l'air (notamment les COV), la consommation d'énergie et l'accès aux matières premières (pétrole).</p>																											
CARACTERISTIQUES EFFLUENTS	<p>L'eau est directement utilisée pour les rinçages ou en appoint pour les systèmes de recirculation de l'eau de rinçage. Dans une moindre mesure, elle est nécessaire pour compenser des pertes par évaporation des réservoirs de traitement et le lavage des équipements de filtration et d'échange thermique. Elle peut également être utilisée dans les systèmes de refroidissement.</p> <p>Les effluents peuvent être chargés en métaux, solvants, DCO,...</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Émissions moyennes (kg/t de produit)</th> <th>Compatibilité pour les algues</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="3">Effluents gazeux</td> </tr> <tr> <td>CO2</td> <td>A déterminer</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>NOx</td> <td>A déterminer</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>SOx</td> <td>A déterminer</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>COV</td> <td>A déterminer</td> <td>ND</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Effluents liquides</td> </tr> <tr> <td>MES</td> <td>A déterminer</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>DCO</td> <td>A déterminer</td> <td>Traitement indispensable</td> </tr> </tbody> </table>		Émissions moyennes (kg/t de produit)	Compatibilité pour les algues	Effluents gazeux			CO2	A déterminer	✓	NOx	A déterminer	✓	SOx	A déterminer	✓	COV	A déterminer	ND	Effluents liquides			MES	A déterminer	✓	DCO	A déterminer	Traitement indispensable
	Émissions moyennes (kg/t de produit)	Compatibilité pour les algues																										
Effluents gazeux																												
CO2	A déterminer	✓																										
NOx	A déterminer	✓																										
SOx	A déterminer	✓																										
COV	A déterminer	ND																										
Effluents liquides																												
MES	A déterminer	✓																										
DCO	A déterminer	Traitement indispensable																										
REGLEMENTATION	<p>Effluents liquides : REACH, DCE. Effluents gazeux : NEC, PPA</p>																											
TENDANCE DE CE SECTEUR SUR LE MARCHE FRANÇAIS	Stable ou légèrement à la hausse ⁵⁴																											
CONSOMMATEUR DE GAZ NATUREL	<p>Oui,</p> <p>Il y a consommation d'électricité pour les réactions électrochimiques ainsi que pour le fonctionnement des installations. D'autres combustibles sont utilisés, essentiellement pour le chauffage des cuves de traitement et des espaces de travail, ainsi que pour le séchage.</p>																											
NOMBRE DE SITES DE PRODUCTION ACTUELS EN	1366 ⁵⁵																											

⁵³ <http://www.laplasturgie.fr/techniques.php>

⁵⁴ <http://www.industrie.gouv.fr/sessi/conjonct/fiches/page22.pdf>

⁵⁵ Source : CRIGEN-GDF SUEZ/CEREN (données 2006)

FRANCE					
SURFACE MOYENNE DISPONIBLE A PROXIMITE	2 ha	Source : moyenne sur 10 sites représentatifs du secteur			
		Usine	Activité	Milieu	Surface
		ARKEMA, Balan	Transformation de matières plastiques	Rural	11,9 ha
		Resinoplast (ARKEMA), Reims	Transformation de matières plastiques	Rural	0,74 ha
		VISTEON SYSTEMES INTERIEURS, usine de Gondécourt	Transformation de matières plastiques	Rural	1,08 ha
		VISTEON SYSTEMES INTERIEURS, usine de Rougegoutte	Transformation de matières plastiques	Rural	0,07 ha
		MGI COUTIER, usine des Mureaux	Transformation de matières plastiques	Périurbain	0,52 ha
		PLASTIC OMNIUM AUTO EXTERIEUR, Langres	Transformation de matières plastiques	Rural	0,5 ha
		DAHER LHOTELLIER, Montrichard	Transformation de matières plastiques	Rural	0,49 ha
		VALOIS, usine de Neubourg	Transformation de matières plastiques	Rural	0,16 ha
		INERGY AUTOMOTIVE SYSTEMS FRANCE, Laval	Transformation de matières plastiques	Rural	1,12 ha
		SAITEC, Challans	Transformation de matières plastiques	Périurbain	1,17 ha
			Surface moyenne	1,78 ha	
OPPORTUNITES UTILISATION MICROALGUES	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Énergétique</u> : biométhane • <u>Non énergétique</u> : traitement partiel des effluents liquides et gazeux 				
PROBLEMATIQUES MAJEURES IDENTIFIEES	<p>Il est possible que des prétraitements soient nécessaires afin de rendre compatible les boues à la culture d'algues.</p> <p>Ce secteur industriel consomme majoritairement de l'électricité (suivie par le gaz naturel).</p>				
POTENTIEL DEVELOPPEMENT DES MICROALGUES A TERME	Horizon de déploiement		2050 – secteur à intérêt faible		
	Indice de potentiel de déploiement de la technologie		1/5		
	<u>Vecteurs de déploiement</u> : besoins d'énergie verte et de systèmes de traitement et valorisation des déchets organiques				
MODELE DE PRODUCTION DES MICROALGUES	Type de réacteur envisagé :	Peu de valeur ajoutée à tirer de l'insertion de la brique technologique ce qui implique un choix de technologies à faible intensité capitalistique			
	Ponds				
	Rendements :				
	• Ponds : 27 T/ha/an	Cf. Annexe 1			
Schéma technique envisagé pour l'insertion de la brique technologique algues dans le secteur de la plasturgie :					



MODELE TECHNIQUE DE PRODUCTION D'ENERGIE A PARTIR DES MICROALGUES	Type d'énergie produite	Biométhane – valorisable directement sur site (procédé industriel, flotte captive,...) ou via injection réseau	
	Production du biométhane à partir de l'ensemble de la production de microalgues	La biomasse peut être traitée très aisément par méthanisation ou co-méthanisation (récolte à proximité nécessaire)	
	Type de technologie de méthanisation	Méthanisation simple ou co-méthanisation avec déchets organiques (récolte à proximité nécessaire)	
	Rendement de méthanisation	60 %	Réf. : données internes GDF SUEZ validées expérimentalement
	Part de la biomasse algale totale produite entrant directement dans la filière énergie	$\eta_1 = 100$ %	La biomasse algale étant essentiellement amenée à traiter des effluents sa valorisation est entièrement tournée vers l'énergie

7. Sidérurgie/Métallurgie

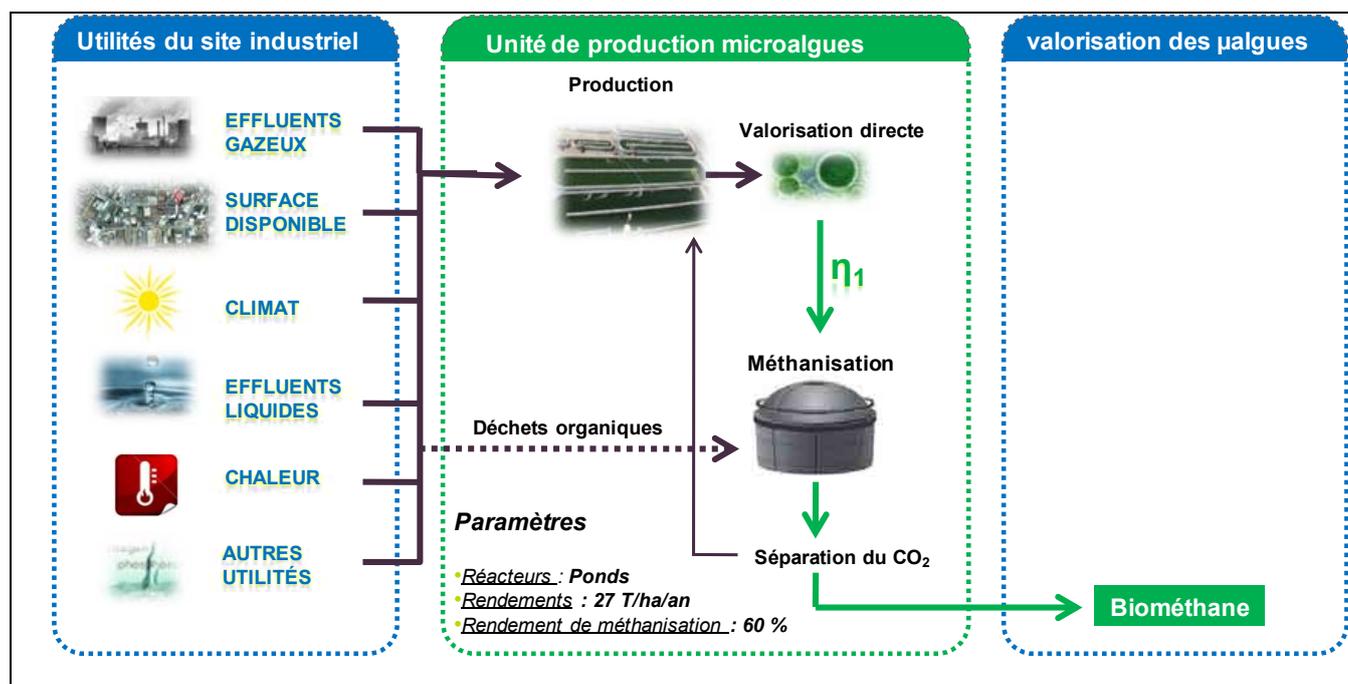
Description du secteur de la Sidérurgie																																											
CONTEXTE – ENJEUX	<p>La métallurgie s’organise dans les secteurs suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sidérurgie et première transformation de l’acier (F51) - Production de métaux non ferreux (F52) - Fonderie (F53) - Services industriels du travail des métaux (F54) - Fabrication de produits métalliques (F55) - Récupération (F56) <p>Il s’agit d’un secteur assez concentré.</p>																																										
CARACTERISTIQUES EFFLUENTS	<p>Les principaux polluants dus à la sidérurgie sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les émissions de poussières - Les émissions de NOx - Les émissions de CO et de CO₂ <p>Les solvants sont éliminés à haute température ; le coke produit beaucoup de cendres, de CO et de CO₂, surtout si le process est ancien.</p> <p>Les effluents liquides sont issus des eaux de rinçage, des eaux polluées par la peinture. Les principaux polluants présents dans ces eaux sont les métaux (Cd, Cr, Ni, Cu, ...), les composés toxiques tels que les cyanures, les fluorures mais également les hydrocarbures, les graisses et les solvants.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">Émissions moyennes (t/an/site de produit)⁵⁶</th> <th style="text-align: center;">Compatibilité pour les µalgues</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="3">Effluents gazeux</td> </tr> <tr> <td>CO₂</td> <td style="text-align: center;">440 000</td> <td style="text-align: center;">✓</td> </tr> <tr> <td>NOx</td> <td style="text-align: center;">1 000</td> <td style="text-align: center;">✓</td> </tr> <tr> <td>SO₂</td> <td style="text-align: center;">1 400</td> <td style="text-align: center;">✓</td> </tr> <tr> <td>Poussières</td> <td style="text-align: center;">A déterminer</td> <td style="text-align: center;">ND</td> </tr> <tr> <td>Manganèse</td> <td style="text-align: center;">A déterminer</td> <td style="text-align: center;">ND</td> </tr> <tr> <td>HAP</td> <td style="text-align: center;">A déterminer</td> <td style="text-align: center;">ND</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Effluents liquides</td> </tr> <tr> <td>MES</td> <td style="text-align: center;">79 000</td> <td style="text-align: center;">✓</td> </tr> <tr> <td>DCO</td> <td style="text-align: center;">260</td> <td style="text-align: center;">Traitement indispensable</td> </tr> <tr> <td>N_{tot}</td> <td style="text-align: center;">110</td> <td style="text-align: center;">✓</td> </tr> <tr> <td>P</td> <td style="text-align: center;">6</td> <td style="text-align: center;">✓</td> </tr> <tr> <td>Métaux lourds (Cadmium, Cuivre, Chrome, Nickel, Plomb, Zinc, ...)</td> <td style="text-align: center;">A déterminer</td> <td style="text-align: center;">ND</td> </tr> </tbody> </table>		Émissions moyennes (t/an/site de produit) ⁵⁶	Compatibilité pour les µalgues	Effluents gazeux			CO ₂	440 000	✓	NOx	1 000	✓	SO ₂	1 400	✓	Poussières	A déterminer	ND	Manganèse	A déterminer	ND	HAP	A déterminer	ND	Effluents liquides			MES	79 000	✓	DCO	260	Traitement indispensable	N _{tot}	110	✓	P	6	✓	Métaux lourds (Cadmium, Cuivre, Chrome, Nickel, Plomb, Zinc, ...)	A déterminer	ND
	Émissions moyennes (t/an/site de produit) ⁵⁶	Compatibilité pour les µalgues																																									
Effluents gazeux																																											
CO ₂	440 000	✓																																									
NOx	1 000	✓																																									
SO ₂	1 400	✓																																									
Poussières	A déterminer	ND																																									
Manganèse	A déterminer	ND																																									
HAP	A déterminer	ND																																									
Effluents liquides																																											
MES	79 000	✓																																									
DCO	260	Traitement indispensable																																									
N _{tot}	110	✓																																									
P	6	✓																																									
Métaux lourds (Cadmium, Cuivre, Chrome, Nickel, Plomb, Zinc, ...)	A déterminer	ND																																									
REGLEMENTATION	<p>Effluents liquides : REACH, DCE.</p> <p>Effluents gazeux NEC, PPA, Quotas CO₂</p>																																										
TENDANCE DE CE SECTEUR SUR LE MARCHÉ FRANÇAIS	En décroissance progressive																																										
CONSOMMATEUR DE GAZ NATUREL	Oui ⁵⁷ , mais surtout coke, charbon, électricité et d’autres combustibles																																										

⁵⁶ Etude GDF SUEZ 2011, données pour le secteur de l’acier

⁵⁷ http://www.insee.fr/sessi/secteurs/eacei/nrj_9_F5.htm

NOMBRE DE SITES DE PRODUCTION ACTUELS EN FRANCE	175⁵⁸	Sites de dimensions importantes.			
SURFACE MOYENNE DISPONIBLE A PROXIMITE	25 ha	Source : moyenne sur 4 sites représentatifs du secteur			
		Usine	Activité	Milieu	Surface
		ARCELOR MITTAL, usine de Dunkerque et Mardyck	Usine métallurgique	Périurbain	8,3 ha
		ARCELOR MITTAL, Fos sur Mer	Usine métallurgique	Zone portuaire	68 ha
		AUBERT & DUVAL, usine d'Imphy	Usine métallurgique	Rural	2,1 ha
SAINT GOBAIN, usine de Toul	Usine métallurgique	Rural	23 ha		
		Surface moyenne		25,35 ha	
OPPORTUNITES UTILISATION MICROALGUES	<u>Energétique</u> : biométhane <u>Non énergétique</u> : traitement des eaux				
PROBLEMATIQUES MAJEURES IDENTIFIEES	Les principaux problèmes environnementaux de cette industrie sont la pollution de l'air et de l'eau et la consommation d'énergie. Il est possible que des prétraitements soient nécessaires afin de rendre compatible les boues à la culture d'algues.				
POTENTIEL DEVELOPPEMENT DES MICROALGUES A TERME	Horizon de déploiement		2050 – secteur à intérêt faible		
	Indice de potentiel de déploiement de la technologie		1/5		
	<u>Vecteurs de déploiement</u> : besoins d'énergie verte et de systèmes de traitement des effluent gazeux et liquides en complément de technologies conventionnelles				
MODELE DE PRODUCTION DES MICROALGUES	Type de réacteur envisagé : Ponds		Peu de valeur ajoutée à tirer de l'insertion de la brique technologique ce qui implique un choix de technologies à faible intensité capitalistique		
	Rendements : • Ponds : 27 T/ha/an		Cf. Annexe 1		
Schéma technique envisagé pour l'insertion de la brique technologique algues dans le secteur de la sidérurgie :					

⁵⁸ <http://www.insee.fr/sessi/enquetes/eae/eae/f5.htm>



MODELE TECHNIQUE DE PRODUCTION D'ENERGIE A PARTIR DES MICROALGUES	Type d'énergie produite	Biométhane – valorisable directement sur site (procédé industriel, flotte captive,...) ou via injection réseau	
	Production du biométhane à partir de l'ensemble de la production de microalgues	La biomasse peut être traitée très aisément par méthanisation ou co-méthanisation	
	Type de technologie de méthanisation	Méthanisation simple ou co-méthanisation avec déchets organiques (récolte à proximité nécessaire)	
	Rendement de méthanisation	60 %	Réf. : données internes GDF SUEZ validées expérimentalement
	Part de la biomasse algale totale produite entrant directement dans la filière énergie	η₁ = 100 %	La biomasse algale étant essentiellement amenée à traiter des effluents sa valorisation est entièrement tournée vers l'énergie

Description du secteur de la Métallurgie				
CONTEXTE – ENJEUX	La métallurgie s'organise dans les secteurs suivants : <ul style="list-style-type: none"> - Sidérurgie et première transformation de l'acier (F51) - Production de métaux non ferreux (F52) - Fonderie (F53) - Services industriels du travail des métaux (F54) - Fabrication de produits métalliques (F55) - Récupération (F56) Il s'agit d'un secteur assez concentré.			
	Les principaux polluants dus à la métallurgie sont : <ul style="list-style-type: none"> - Les émissions de poussières - Les émissions de NOx - Les émissions de CO et de CO₂ Les solvants sont éliminés à haute température ; le coke produit beaucoup de cendres, de CO et de CO ₂ , surtout si le process est ancien. Les effluents liquides sont issus des eaux de rinçage, des eaux polluées par la peinture. Les principaux polluants présents dans ces eaux sont les métaux (Cd, Cr, Ni, Cu, ...), les composés toxiques tels que les cyanures, les fluorures mais également les hydrocarbures, les graisses et les solvants.			
CARACTERISTIQUES EFFLUENTS		Émissions moyennes (t/an/site de produit) ⁵⁹	Compatibilité pour les µalgues	
	Effluents gazeux			
	CO ₂	440 000	✓	
	NOx	1 000	✓	
	SO ₂	1 400	✓	
	Poussières	A déterminer	ND	
	Manganèse	A déterminer	ND	
	HAP	A déterminer	ND	
	Effluents liquides			
	MES	79 000	✓	
	DCO	260	Traitement indispensable	
	N _{tot}	110	✓	
	P	6	✓	
	Métaux lourds (Cadmium, Cuivre, Chrome, Nickel, Plomb, Zinc, ...)	A déterminer	ND	
REGLEMENTATION	Effluents liquides : REACH, DCE. Effluents gazeux NEC, PPA, Quotas CO ₂			
TENDANCE DE CE SECTEUR SUR LE MARCHE FRANÇAIS	Stable ou légèrement à la hausse			
CONSOMMATEUR DE GAZ NATUREL	Oui ⁶⁰			
NOMBRE DE SITES DE PRODUCTION ACTUELS EN FRANCE	34 ⁶¹	Sites aux dimensions très réduites		
SURFACE MOYENNE DISPONIBLE A PROXIMITE	0,7 ha	Source : moyenne sur 6 sites représentatifs du secteur		
		Usine	Activité	Milieu
				Surface

⁵⁹ Etude GDF SUEZ 2011, données pour le secteur de l'acier

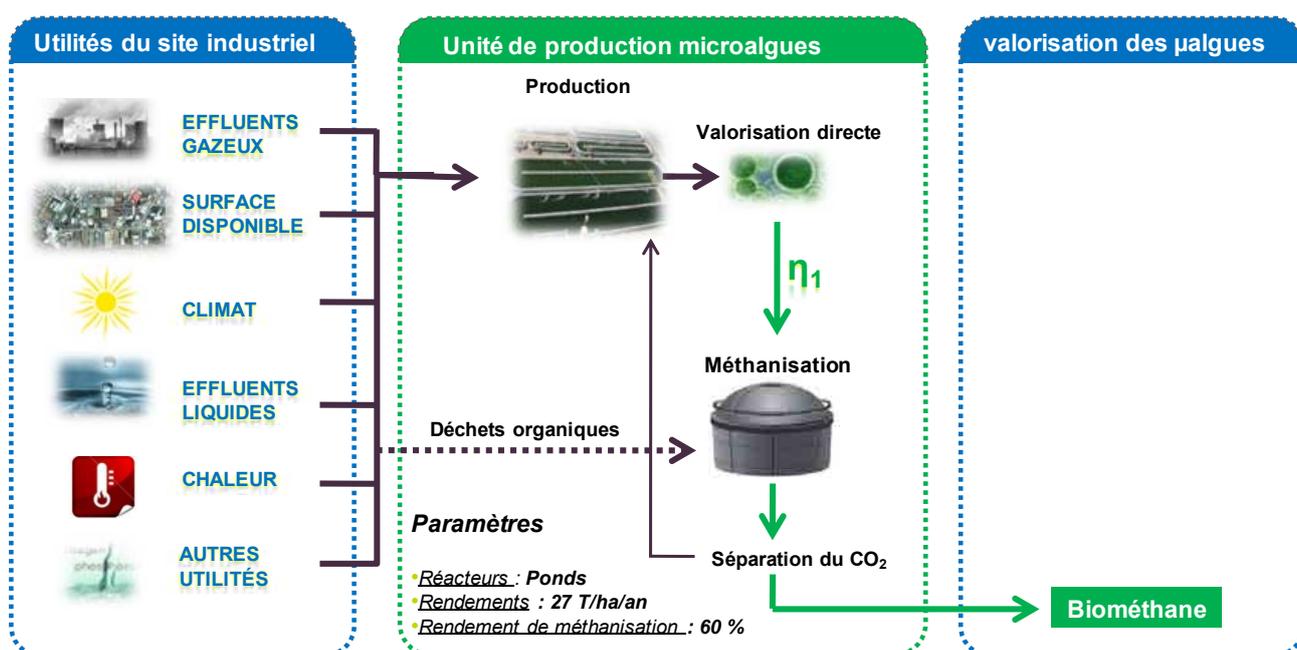
⁶⁰ http://www.insee.fr/sessi/secteurs/eacei/nrj_9_F5.htm

⁶¹ <http://www.insee.fr/sessi/enquetes/eae/eae/f5.htm>

	ENDEL, usine de Saint Amand-les-Eaux	Usine métallurgique	Rural	0,34 ha
	AUBERT & DUVAL, usine de Pamiers	Usine métallurgique	Périurbain	0,21 ha
	AUBERT & DUVAL, usine de Firminy	Usine métallurgique	Périurbain	1,05 ha
	AUBERT & DUVAL, usine de Gennevilliers	Usine métallurgique	Urbain	0,1 ha
	SAINT GOBAIN, usine de Bayard sur Marne	Usine métallurgique	Rural	1,63 ha
	SAINT GOBAIN, usine de Foug	Usine métallurgique	Rural	0,9 ha
	Surface moyenne			

OPPORTUNITES UTILISATION MICROALGUES	<u>Energétique</u> : biométhane <u>Non énergétique</u> : traitement des eaux	
PROBLEMATIQUES MAJEURES IDENTIFIEES	Les principaux problèmes environnementaux de cette industrie sont la pollution de l'air et de l'eau et la consommation d'énergie. Il est possible que des prétraitements soient nécessaires afin de rendre compatible les boues à la culture d'algues.	
POTENTIEL DEVELOPPEMENT DES MICROALGUES A TERME	Horizon de déploiement	2050 – secteur à intérêt faible
	Indice de potentiel de déploiement de la technologie	1/5
	<u>Vecteurs de déploiement</u> : besoins d'énergie verte et de systèmes de traitement des effluents gazeux	
MODELE DE PRODUCTION DES MICROALGUES	Type de réacteur envisagé : Ponds	Peu de valeur ajoutée à tirer de l'insertion de la brique technologique ce qui implique un choix de technologies à faible intensité capitalistique
	Rendements : • Ponds : 27 T/ha/an	Cf. Annexe 1

Schéma technique envisagé pour l'insertion de la brique technologique algues dans le secteur de la métallurgie :



MODELE TECHNIQUE DE PRODUCTION D'ENERGIE A PARTIR DES MICROALGUES	Type d'énergie produite	Biométhane – valorisable directement sur site (procédé industriel, flotte captive,...) ou via injection réseau	
	Production du biométhane à partir de l'ensemble de la production de microalgues	La biomasse peut être traitée très aisément par méthanisation ou co-méthanisation	
	Type de technologie de méthanisation	Méthanisation simple ou co-méthanisation avec déchets organiques (récolte à proximité nécessaire)	
	Rendement de méthanisation	60 %	Réf. : données internes GDF SUEZ validées expérimentalement
	Part de la biomasse algale totale produite entrant directement dans la filière énergie	$\eta_1 = 100 \%$	La biomasse algale étant essentiellement amenée à traiter des effluents sa valorisation est entièrement tournée vers l'énergie

8. Matériaux

1. Industrie du ciment

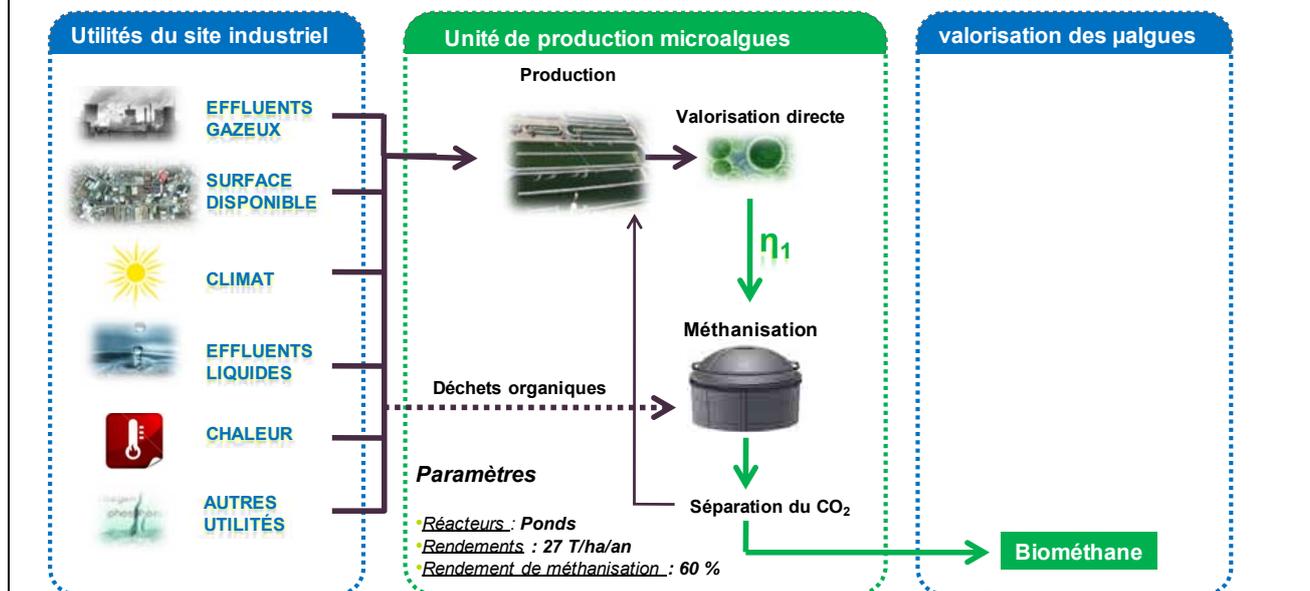
Description du secteur des Matériaux/sous-secteur du Ciment																																									
CONTEXTE – ENJEUX⁶²	<p>Le ciment est le matériau de base utilisé pour la construction de bâtiments et d'ouvrages de génie civil. Après extraction, puis concassage, broyage et homogénéisation des matières premières, la première étape de la fabrication du ciment consiste en la calcination du carbonate de calcium, suivie de la réaction de l'oxyde de calcium ainsi obtenu avec de la silice, de l'alumine et de l'oxyde ferreux à température élevée pour former le « clinker ». Le clinker est ensuite broyé avec du gypse et d'autres constituants pour donner du ciment.</p> <p>La cuisson du clinker est l'étape qui contribue le plus aux problèmes environnementaux associés à la fabrication du ciment, à savoir la consommation d'énergie et les émissions dans l'air. En fonction des procédés de production mis en œuvre, les cimenteries rejettent des émissions dans l'air et produisent des déchets.</p> <p>L'industrie cimentière est une grande consommatrice d'énergie, avec un poste énergie représentant classiquement 40 % des coûts de production (coûts d'investissement exclus mais coûts de l'électricité compris). Divers combustibles fossiles traditionnels ou à base de déchets (coke de pétrole, charbon, lignite, fioul et gaz naturel) peuvent être utilisés pour fournir l'énergie thermique nécessaire au procédé.</p> <p>En fait, les caractéristiques du procédé de cuisson du clinker permettent d'utiliser des déchets comme matières premières et/ou comme combustibles.</p>																																								
CARACTERISTIQUES EFFLUENTS	<p>Le type et le volume des polluants atmosphériques dépendent de plusieurs paramètres, notamment des intrants (matières premières et combustibles utilisés) ainsi que du type de procédé mis en œuvre.</p> <p>Dans de rares cas, des rejets dans l'eau sont possibles.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Émissions moyennes (t/an/site de produit)⁶³</th> <th>Compatibilité pour les algues</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Effluents gazeux</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CO₂</td> <td>500 000</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>NOx</td> <td>900</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>SO₂</td> <td>500</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>Poussières</td> <td>Quantités importantes (A déterminer)</td> <td>ND</td> </tr> <tr> <td>CO</td> <td>A déterminer</td> <td>ND</td> </tr> <tr> <td>Dibenzo-p-dioxines</td> <td>A déterminer</td> <td>ND</td> </tr> <tr> <td>Dibenzofurannes polychlorés</td> <td>A déterminer</td> <td>ND</td> </tr> <tr> <td>COT</td> <td>A déterminer</td> <td>ND</td> </tr> <tr> <td>Métaux</td> <td>A déterminer</td> <td>ND</td> </tr> <tr> <td>Chlorure d'hydrogène</td> <td>A déterminer</td> <td>ND</td> </tr> <tr> <td>Fluorure d'hydrogène</td> <td>A déterminer</td> <td>ND</td> </tr> </tbody> </table>			Émissions moyennes (t/an/site de produit) ⁶³	Compatibilité pour les algues	Effluents gazeux			CO ₂	500 000	✓	NOx	900	✓	SO ₂	500	✓	Poussières	Quantités importantes (A déterminer)	ND	CO	A déterminer	ND	Dibenzo-p-dioxines	A déterminer	ND	Dibenzofurannes polychlorés	A déterminer	ND	COT	A déterminer	ND	Métaux	A déterminer	ND	Chlorure d'hydrogène	A déterminer	ND	Fluorure d'hydrogène	A déterminer	ND
	Émissions moyennes (t/an/site de produit) ⁶³	Compatibilité pour les algues																																							
Effluents gazeux																																									
CO ₂	500 000	✓																																							
NOx	900	✓																																							
SO ₂	500	✓																																							
Poussières	Quantités importantes (A déterminer)	ND																																							
CO	A déterminer	ND																																							
Dibenzo-p-dioxines	A déterminer	ND																																							
Dibenzofurannes polychlorés	A déterminer	ND																																							
COT	A déterminer	ND																																							
Métaux	A déterminer	ND																																							
Chlorure d'hydrogène	A déterminer	ND																																							
Fluorure d'hydrogène	A déterminer	ND																																							
REGLEMENTATION	<p>Effluents liquides : REACH, DCE.</p> <p>Effluents gazeux : NEC, PPA, Quotas CO₂ (limites plus souples dans le cas de combustibles spéciaux)</p>																																								
TENDANCE DE CE SECTEUR	Stable																																								

⁶² Bref Ciment, chaux et magnésie (2010), http://www.ineris.fr/ipcc/sites/default/files/files/clm_bref_0510_VF_1.pdf

⁶³ Source : Etude GDF SUEZ 2011

SUR LE MARCHÉ FRANÇAIS																					
CONSUMMATEUR DE GAZ NATUREL	Oui, mais en quantité inférieures à d'autres combustibles																				
NOMBRE DE SITES DE PRODUCTION ACTUELS EN FRANCE	91 ⁶⁴																				
SURFACE MOYENNE DISPONIBLE A PROXIMITE	Source : moyenne sur 3 sites représentatifs du secteur																				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Usine</th> <th>Activité</th> <th>Milieu</th> <th>Surface</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LAFARGE CEMENTS, usine de Teil</td> <td>Cimenterie</td> <td>Rural</td> <td>11 ha</td> </tr> <tr> <td>LAFARGE CEMENTS, usine de Couronne</td> <td>Cimenterie</td> <td>Périurbain</td> <td>2 ha</td> </tr> <tr> <td>LAFARGE CEMENTS, usine de la Malle</td> <td>Cimenterie</td> <td>Rural</td> <td>2 ha</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Surface moyenne</td> <td>5 ha</td> </tr> </tbody> </table>	Usine	Activité	Milieu	Surface	LAFARGE CEMENTS, usine de Teil	Cimenterie	Rural	11 ha	LAFARGE CEMENTS, usine de Couronne	Cimenterie	Périurbain	2 ha	LAFARGE CEMENTS, usine de la Malle	Cimenterie	Rural	2 ha	Surface moyenne			5 ha
	Usine	Activité	Milieu	Surface																	
	LAFARGE CEMENTS, usine de Teil	Cimenterie	Rural	11 ha																	
LAFARGE CEMENTS, usine de Couronne	Cimenterie	Périurbain	2 ha																		
LAFARGE CEMENTS, usine de la Malle	Cimenterie	Rural	2 ha																		
Surface moyenne			5 ha																		
OPPORTUNITES UTILISATION MICROALGUES	<u>Energétique</u> : biométhane <u>Non énergétique</u> : traitement des eaux (faible potentiel)																				
PROBLEMATIQUES MAJEURES IDENTIFIEES	Les principaux problèmes environnementaux de cette industrie sont la pollution de l'air et de l'eau et la consommation d'énergie. Il est possible que des prétraitements soient nécessaires afin de rendre compatible les boues à la culture d'algues.																				
POTENTIEL DEVELOPPEMENT DES MICROALGUES A TERME	Horizon de déploiement : 2050 – secteur à intérêt intermédiaire																				
	Indice de potentiel de déploiement de la technologie : 2/5																				
<u>Vecteurs de déploiement</u> : Traitement du CO2 et des effluents gazeux, gestion des quotas de CO2																					
MODELE DE PRODUCTION DES MICROALGUES	Type de réacteur envisagé : Ponds Peu de valeur ajoutée à tirer de l'insertion de la brique technologique ce qui implique un choix de technologies à faible intensité capitalistique.																				
	Rendements : • Ponds : 27 T/ha/an Cf. Annexe 1																				

Schéma technique envisagé pour l'insertion de la brique technologique algues dans le secteur du ciment :



⁶⁴ <http://www.insee.fr/sessi/enquetes/eae/eae/265a.htm>

MODELE TECHNIQUE DE PRODUCTION D'ENERGIE A PARTIR DES MICROALGUES	Type d'énergie produite	Biométhane – valorisable directement sur site (procédé industriel, flotte captive,...) ou via injection réseau	
	Production du biométhane à partir de l'ensemble de la production de microalgues	La biomasse peut être traité très aisément par méthanisation ou co-méthanisation avec des déchets organiques de l'installation ou récoltés à proximité	
	Type de technologie de méthanisation	Méthanisation simple	
	Rendement de méthanisation	60 %	Réf. : données internes GDF SUEZ validées expérimentalement
	Part de la biomasse algale totale produite entrant directement dans la filière énergie	$\eta_1 = 100 \%$	La biomasse algale étant essentiellement amenée à traiter des effluents sa valorisation est entièrement tournée vers l'énergie

2. Industrie de la chaux

Description du secteur des Matériaux/sous-secteur de la chaux																																																																			
CONTEXTE – ENJEUX⁶⁵	<p>Le terme «chaux» comprend la chaux vive (CaO) et la chaux éteinte (Ca(OH)₂). La fabrication de la chaux consiste à cuire des carbonates de calcium et/ou de magnésium pour libérer du dioxyde de carbone et obtenir l'oxyde dérivé. À la sortie du four, l'oxyde de calcium est habituellement concassé, broyé et/ou tamisé avant d'être transporté vers les silos de stockage. Du silo, la chaux calcinée est soit livrée au client final pour utilisation sous forme de chaux vive, soit transférée dans une installation d'hydratation où elle est mise à réagir avec de l'eau pour produire de la chaux éteinte. La chaux a des usages très divers ; elle sert par exemple de fondant dans l'affinage de l'acier, de liant dans le BTP (bâtiment-travaux publics) et d'agent de précipitation des impuretés dans le traitement des eaux. Elle est également largement utilisée pour la neutralisation des constituants acides des effluents industriels et des gaz de carneau. La capacité des fours se situe en général entre 50 et 500 tonnes de chaux par jour, pour les fours verticaux.</p> <p>L'industrie de la chaux est une industrie à très forte intensité énergétique, dont le poste énergie peut représenter jusqu'à 60 % des coûts de production. Les fours sont alimentés avec des combustibles gazeux (gaz naturel, gaz de cokeries), solides (charbon, coke/anthracite) ou liquides (fioul lourd/léger). En outre, différents types de déchets sont utilisés comme combustibles (huile, plastique, papier, farines animales, sciure de bois).</p>																																																																		
CARACTERISTIQUES EFFLUENTS	<p>Les questions environnementales cruciales associées à la fabrication de la chaux sont la pollution de l'air et la consommation d'énergie. Le procédé de cuisson de la chaux est la principale source d'émissions et également le principal consommateur d'énergie. Les procédés secondaires d'extinction et de broyage de la chaux peuvent également jouer un certain rôle à cet égard. En fonction des procédés de production mis en œuvre, les usines de chaux rejettent des émissions dans l'air et produisent des déchets.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Émissions moyennes en g/t chaux⁶⁶</th> <th>Émissions MTD⁶⁷</th> <th>Compatibilité pour les µalgues</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="4">Effluents gazeux</td> </tr> <tr> <td>CO₂</td> <td>844 000 – 1 080 000</td> <td></td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>COV</td> <td>23 - 29</td> <td></td> <td>ND</td> </tr> <tr> <td>NOx</td> <td>689 - 832</td> <td>100 - 500 mg/Nm³</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>Poussières totales</td> <td>62 - 64</td> <td>1 - 10 mg/Nm³</td> <td>Filtration nécessaire</td> </tr> <tr> <td>SOx</td> <td>153 - 185</td> <td>50 - 200 mg/Nm³</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>CO</td> <td>700 - 894</td> <td>< 500 mg/Nm³</td> <td>ND</td> </tr> <tr> <td>Hg</td> <td>A déterminer</td> <td>< 0,05 mg/Nm³</td> <td>ND</td> </tr> <tr> <td>Autres métaux lourds (As, Sb, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V)</td> <td>A déterminer</td> <td>< 0,5 mg/Nm³</td> <td>ND</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Effluents liquides</td> </tr> <tr> <td>DCO</td> <td>587 - 656</td> <td></td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>MES</td> <td>A déterminer</td> <td></td> <td>ND</td> </tr> <tr> <td>P</td> <td>0,11 – 0,13</td> <td></td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>DBO₅</td> <td>0,28 – 0,36</td> <td></td> <td>ND</td> </tr> <tr> <td>N_{tot}</td> <td>0,22 – 0,26</td> <td></td> <td>✓</td> </tr> </tbody> </table>				Émissions moyennes en g/t chaux ⁶⁶	Émissions MTD ⁶⁷	Compatibilité pour les µalgues	Effluents gazeux				CO ₂	844 000 – 1 080 000		✓	COV	23 - 29		ND	NOx	689 - 832	100 - 500 mg/Nm ³	✓	Poussières totales	62 - 64	1 - 10 mg/Nm ³	Filtration nécessaire	SOx	153 - 185	50 - 200 mg/Nm ³	✓	CO	700 - 894	< 500 mg/Nm ³	ND	Hg	A déterminer	< 0,05 mg/Nm ³	ND	Autres métaux lourds (As, Sb, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V)	A déterminer	< 0,5 mg/Nm ³	ND	Effluents liquides				DCO	587 - 656		✓	MES	A déterminer		ND	P	0,11 – 0,13		✓	DBO ₅	0,28 – 0,36		ND	N _{tot}	0,22 – 0,26		✓
	Émissions moyennes en g/t chaux ⁶⁶	Émissions MTD ⁶⁷	Compatibilité pour les µalgues																																																																
Effluents gazeux																																																																			
CO ₂	844 000 – 1 080 000		✓																																																																
COV	23 - 29		ND																																																																
NOx	689 - 832	100 - 500 mg/Nm ³	✓																																																																
Poussières totales	62 - 64	1 - 10 mg/Nm ³	Filtration nécessaire																																																																
SOx	153 - 185	50 - 200 mg/Nm ³	✓																																																																
CO	700 - 894	< 500 mg/Nm ³	ND																																																																
Hg	A déterminer	< 0,05 mg/Nm ³	ND																																																																
Autres métaux lourds (As, Sb, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V)	A déterminer	< 0,5 mg/Nm ³	ND																																																																
Effluents liquides																																																																			
DCO	587 - 656		✓																																																																
MES	A déterminer		ND																																																																
P	0,11 – 0,13		✓																																																																
DBO ₅	0,28 – 0,36		ND																																																																
N _{tot}	0,22 – 0,26		✓																																																																

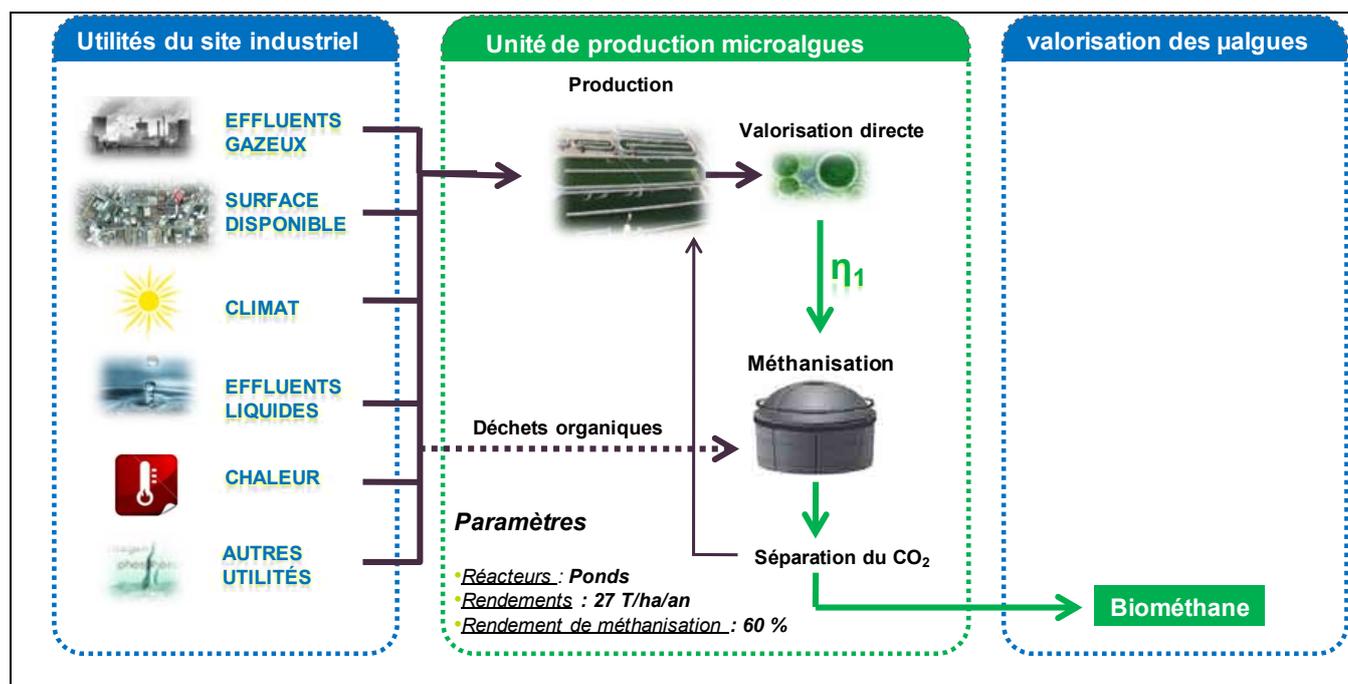
⁶⁵ Bref Ciment, chaux et magnésie (2010) http://www.ineris.fr/ipcc/sites/default/files/files/clm_bref_0510_VF_1.pdf

⁶⁶ UP'Chaux, ICV 2010.

⁶⁷ Bref Ciment, chaux et magnésie (2010) http://www.ineris.fr/ipcc/sites/default/files/files/clm_bref_0510_VF_1.pdf

REGLEMENTATION	Effluents gazeux : NEC, PPA, Quotas CO ₂ (limites plus souples dans le cas de combustibles spéciaux)																									
TENDANCE DE CE SECTEUR SUR LE MARCHE FRANÇAIS	Stable																									
CONSOMMATEUR DE GAZ NATUREL	Oui, mais en quantité inférieures à d'autres combustibles																									
NOMBRE DE SITES DE PRODUCTION ACTUELS EN FRANCE	52 ⁶⁸																									
SURFACE MOYENNE DISPONIBLE A PROXIMITE	4,5 ha	Source : moyenne sur 4 sites représentatifs du secteur <table border="1"> <thead> <tr> <th>Usine</th> <th>Activité</th> <th>Milieu</th> <th>Surface</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BALTHAZARD & COTTE, Sassenage</td> <td>Producteur de chaux</td> <td>Périurbain</td> <td>2,4 ha</td> </tr> <tr> <td>CESA – Chaux de Saint-Astier</td> <td>Producteur de chaux</td> <td>Urbain</td> <td>0,4 ha</td> </tr> <tr> <td>CHAUX ET DOLOMIES DU BOULONNAIS SAS, Rety</td> <td>Producteur de chaux</td> <td>Périurbain</td> <td>1,8 ha</td> </tr> <tr> <td>ETABLISSEMENTS BOCAHUT SAS, Haut-Lieu</td> <td>Producteur de chaux</td> <td>Périurbain</td> <td>13,7 ha</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: right;">Surface moyenne</td> <td>4,6 ha</td> </tr> </tbody> </table>	Usine	Activité	Milieu	Surface	BALTHAZARD & COTTE, Sassenage	Producteur de chaux	Périurbain	2,4 ha	CESA – Chaux de Saint-Astier	Producteur de chaux	Urbain	0,4 ha	CHAUX ET DOLOMIES DU BOULONNAIS SAS, Rety	Producteur de chaux	Périurbain	1,8 ha	ETABLISSEMENTS BOCAHUT SAS, Haut-Lieu	Producteur de chaux	Périurbain	13,7 ha	Surface moyenne			4,6 ha
Usine	Activité	Milieu	Surface																							
BALTHAZARD & COTTE, Sassenage	Producteur de chaux	Périurbain	2,4 ha																							
CESA – Chaux de Saint-Astier	Producteur de chaux	Urbain	0,4 ha																							
CHAUX ET DOLOMIES DU BOULONNAIS SAS, Rety	Producteur de chaux	Périurbain	1,8 ha																							
ETABLISSEMENTS BOCAHUT SAS, Haut-Lieu	Producteur de chaux	Périurbain	13,7 ha																							
Surface moyenne			4,6 ha																							
OPPORTUNITES UTILISATION MICROALGUES	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Énergétique</u> : biométhane • <u>Non énergétique</u> : traitement partiel des effluents liquides et gazeux 																									
PROBLEMATIQUES MAJEURES IDENTIFIEES	Contraintes règlementaires du secteur concernant le traitement des effluents de type : CO ₂ et NOx et des eaux issues des procédés de production et de séchage																									
POTENTIEL DEVELOPPEMENT DES MICROALGUES A TERME	Horizon de déploiement	2050 – secteur à intérêt faible																								
	Indice de potentiel de déploiement de la technologie	1/5																								
	<u>Vecteurs de déploiement</u> : besoins d'énergie verte et de systèmes de traitement et valorisation des déchets organiques																									
MODELE DE PRODUCTION DES MICROALGUES	Type de réacteur envisagé : Ponds	Peu de valeur ajoutée à tirer de l'insertion de la brique technologique ce qui implique un choix de technologies à faible intensité capitalistique																								
	Rendements : <ul style="list-style-type: none"> • Ponds : 27T/ha/an 	Cf. Annexe 1																								
Schéma technique envisagé pour l'insertion de la brique technologique algues dans le secteur de la chaux :																										

⁶⁸ <http://www.insee.fr/sessi/enquetes/eae/eae/265c.htm>



MODELE TECHNIQUE DE PRODUCTION D'ENERGIE A PARTIR DES MICROALGUES	Type d'énergie produite	Biométhane – valorisable directement sur site (procédé industriel, flotte captive,...) ou via injection réseau	
	Production du biométhane à partir de l'ensemble de la production de microalgues	La biomasse peut être traitée très aisément par méthanisation ou co-méthanisation avec des déchets récoltés à proximité.	
	Type de technologie de méthanisation	Méthanisation simple ou co-méthanisation avec déchets organiques	
	Rendement de méthanisation	60 %	Réf. : données internes GDF SUEZ validées expérimentalement
	Part de la biomasse algale totale produite entrant directement dans la filière énergie	$\eta_1 = 100$ %	La biomasse algale étant essentiellement amenée à traiter des effluents sa valorisation est entièrement tournée vers l'énergie

3. Industrie du verre

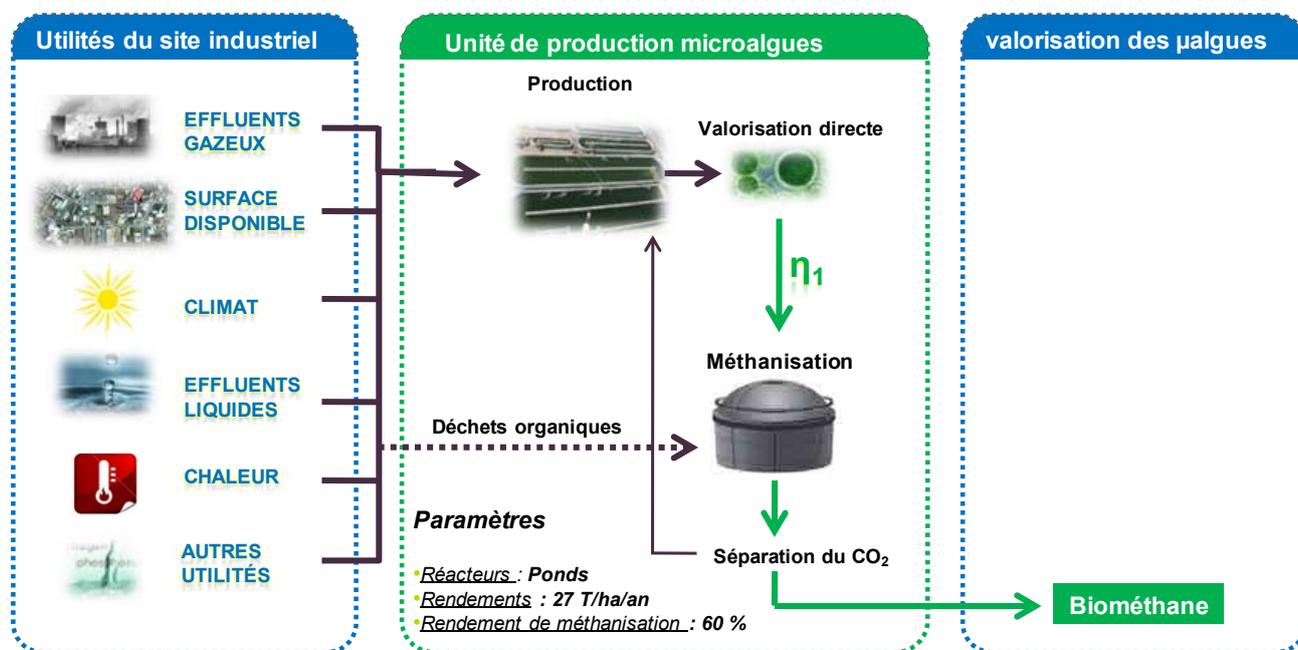
Description du secteur des Matériaux/sous-secteur du verre					
CONTEXTE – ENJEUX	Le processus de fabrication du verre présente 4 étapes dont les températures sont comprises entre 1 200°C et 1 600°C : la fusion, l'affinage (purification, élimination des composés gazeux), l'homogénéisation de la matière vitreuse (trois étapes réalisées dans des fours à gaz naturel, fioul ou électricité) et le conditionnement (consommation d'électricité). L'automobile, le bâtiment et l'emballage absorbent l'essentiel de la production verrière, outre la verrerie d'art et de ménage et les matériaux spéciaux.				
CARACTERISTIQUES EFFLUENTS	Les émissions dans l'eau sont généralement contenues.				
		Émissions moyennes ⁶⁹	Émissions MTD	Compatibilité pour les algues	
	Effluents gazeux				
	CO ₂	80 000 t/an		✓	
	NO _x	700 - 800 mg/Nm ³	500 - 700 mg/Nm ³	✓	
	Poussières totales	A déterminer	5 - 30 mg/Nm ³	Filtration nécessaire	
	SO _x	400 t/an	< 200 – 1 200 mg/Nm ³	✓	
	CO	A déterminer		ND	
	HCl	A déterminer		ND	
	Métaux lourds	A déterminer		ND	
	HF	A déterminer		ND	
	H ₂ S	A déterminer		ND	
	Effluents liquides				
	DCO	A déterminer	< 5 - 130 mg/Nm ³	✓	
MES	A déterminer	< 30 mg/Nm ³	ND		
N _{tot}	A déterminer	< 10 mg/Nm ³	✓		
REGLEMENTATION	Effluents gazeux : NEC, PPA, Quotas CO ₂ (limites plus souples dans le cas de combustibles spéciaux)				
TENDANCE DE CE SECTEUR SUR LE MARCHE FRANÇAIS	Stable				
CONSUMMATEUR DE GAZ NATUREL	Oui mais en quantité inférieures à d'autres combustibles – production continue de CO ₂ et de fumées industrielles à fort taux de NO _x				
NOMBRE DE SITES DE PRODUCTION ACTUELS EN FRANCE	324 ⁷⁰				
SURFACE MOYENNE DISPONIBLE A PROXIMITE	3,5 ha	Source : moyenne sur 4 sites représentatifs du secteur			
		Usine	Activité	Milieu	Surface
		SAINT GOBAIN, usine de Saint Romain le Puy	Fabrication verre emballage	Périurbain	0,1 ha
		SAINT GOBAIN, verrerie d'Albi	Fabrication verre emballage	Périurbain	6,01 ha
		VERRALLIA, Chalon sur Saône	Fabrication verre emballage	Périurbain	4,02 ha
		VERRALLIA Cognac	Fabrication verre emballage	Périurbain	4,11 ha
Surface moyenne			3,56 ha		
OPPORTUNITES UTILISATION MICROALGUES	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Énergétique</u> : biométhane • <u>Non énergétique</u> : traitement partiel des effluents liquides et gazeux 				
PROBLEMATIQUES	Les principaux problèmes environnementaux de cette industrie sont la pollution de				

⁶⁹ Bref verre (2012) <http://www.ineris.fr/ipcc>

⁷⁰ <http://www.insee.fr/sessi/panorama/pano08/f13.htm>

MAJEURES IDENTIFIEES	l'air et la consommation d'énergie. En général, les eaux étant peu polluées, elles peuvent s'adapter à la culture de microalgues (mais leur contenu en facteurs nutritifs doit être vérifié).	
POTENTIEL DEVELOPPEMENT DES MICROALGUES A TERME	Horizon de déploiement	2050 – secteur à intérêt intermédiaire
	Indice de potentiel de déploiement de la technologie	2/5
	Vecteurs de déploiement : besoins d'énergie verte et de systèmes de traitement des effluents gazeux et liquides Les microalgues pouvant permettre de compléter des procédés de traitement de NOx et de gérer progressivement la problématique des quotas de CO ₂	
MODELE DE PRODUCTION DES MICROALGUES	Type de réacteur envisagé : Ponds	Peu de valeur ajoutée à tirer de l'insertion de la brique technologique ce qui implique un choix de technologies à faible intensité capitalistique
	Rendements : • Ponds : 27 T/ha/an	Cf. Annexe 1

Schéma technique envisagé pour l'insertion de la brique technologique algues dans le secteur du verre :



MODELE TECHNIQUE DE PRODUCTION D'ENERGIE A PARTIR DES MICROALGUES	Type d'énergie produite	Biométhane – valorisable directement sur site (procédé industriel, flotte captive,...) ou via injection réseau	
	Production du biométhane à partir de l'ensemble de la production de microalgues	La biomasse peut être traitée très aisément par méthanisation ou co-méthanisation avec des déchets récoltés à proximité.	
	Type de technologie de méthanisation	Méthanisation simple ou co-méthanisation avec déchets organiques	
	Rendement de méthanisation	60 %	Réf. : données internes GDF SUEZ validées expérimentalement
	Part de la biomasse algale totale produite entrant directement dans la filière énergie	η₁ = 100 %	La biomasse algale étant essentiellement amenée à traiter des effluents sa valorisation est entièrement tournée vers l'énergie

4. Industrie des produits céramiques

Description du secteur des Matériaux/sous-secteur Produits céramiques (plâtre, tuiles et briques)																																																															
CONTEXTE – ENJEUX⁷¹	<p>Le terme «céramique» (produit en céramique) désigne en règle générale des matériaux inorganiques (pouvant avoir un certain contenu organique) transformés de façon permanente par cuisson (produits à base d'argile, mais aussi une multitude de produits renfermant une faible proportion d'argile ou totalement exempts d'argile). Les céramiques peuvent être vernissées ou mates, poreuses ou vitrifiées. La cuisson des pâtes céramiques produit une transformation "temps-température" des minéraux qui les constituent, pour donner généralement un mélange de nouveaux minéraux et de phases vitreuses.</p>																																																														
CARACTERISTIQUES EFFLUENTS	<p>- et rejettent des émissions dans l'eau : principalement des substances minérales (particules insolubles) et d'autres matières inorganiques, de petites quantités de matières organiques et certains métaux lourds.</p> <p>Le type et le volume des polluants atmosphériques, des déchets et des eaux résiduaires dépendent de plusieurs paramètres, notamment des matières premières utilisées, des auxiliaires de fabrication, des combustibles employés et des méthodes de production appliquées.</p> <p>Tous les secteurs de l'industrie céramique sont de grands consommateurs d'énergie, puisqu'une partie essentielle de la fabrication consiste en un séchage suivi d'une cuisson à des températures comprises entre 800 et 2000 °C.</p> <p>Aujourd'hui, le gaz naturel est le principal combustible utilisé. De plus, le gaz de pétrole liquéfié (propane et butane) et le fioul EL sont aussi utilisés pour la cuisson, mais le fioul lourd, le gaz naturel liquéfié (GNL), le biogaz/la biomasse, l'électricité et les combustibles solides (charbon, coke de pétrole) peuvent également servir de sources d'énergie pour les brûleurs.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Émissions moyennes⁷²</th> <th>Émissions MTD⁷³</th> <th>Compatibilité pour les algues</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="4">Effluents gazeux</td> </tr> <tr> <td>CO₂</td> <td>400 - 520 g/Nm³ 20 000 t/an</td> <td></td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>NOx</td> <td>5 - 200 mg/Nm³</td> <td>250 mg/Nm³</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>Poussières totales</td> <td>1 - 180 mg/Nm³</td> <td>20 mg/Nm³</td> <td>Filtration nécessaire</td> </tr> <tr> <td>SOx</td> <td>0 - 1090 mg/Nm³</td> <td>500 mg/Nm³</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>CO</td> <td>A déterminer</td> <td></td> <td>ND</td> </tr> <tr> <td>HCl</td> <td>A déterminer</td> <td></td> <td>ND</td> </tr> <tr> <td>Métaux lourds</td> <td>A déterminer</td> <td></td> <td>ND</td> </tr> <tr> <td>Dioxines</td> <td>< 0,1 – 0,5 ng/Nm³</td> <td></td> <td>ND</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Effluents liquides</td> </tr> <tr> <td>DCO</td> <td>A déterminer</td> <td></td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>MES</td> <td>50 mg/L</td> <td></td> <td>ND</td> </tr> <tr> <td>Métaux lourds</td> <td>A déterminer</td> <td></td> <td>ND</td> </tr> <tr> <td>N_{tot}</td> <td>A déterminer</td> <td></td> <td>✓</td> </tr> </tbody> </table>				Émissions moyennes ⁷²	Émissions MTD ⁷³	Compatibilité pour les algues	Effluents gazeux				CO ₂	400 - 520 g/Nm ³ 20 000 t/an		✓	NOx	5 - 200 mg/Nm ³	250 mg/Nm ³	✓	Poussières totales	1 - 180 mg/Nm ³	20 mg/Nm ³	Filtration nécessaire	SOx	0 - 1090 mg/Nm ³	500 mg/Nm ³	✓	CO	A déterminer		ND	HCl	A déterminer		ND	Métaux lourds	A déterminer		ND	Dioxines	< 0,1 – 0,5 ng/Nm ³		ND	Effluents liquides				DCO	A déterminer		✓	MES	50 mg/L		ND	Métaux lourds	A déterminer		ND	N _{tot}	A déterminer		✓
	Émissions moyennes ⁷²	Émissions MTD ⁷³	Compatibilité pour les algues																																																												
Effluents gazeux																																																															
CO ₂	400 - 520 g/Nm ³ 20 000 t/an		✓																																																												
NOx	5 - 200 mg/Nm ³	250 mg/Nm ³	✓																																																												
Poussières totales	1 - 180 mg/Nm ³	20 mg/Nm ³	Filtration nécessaire																																																												
SOx	0 - 1090 mg/Nm ³	500 mg/Nm ³	✓																																																												
CO	A déterminer		ND																																																												
HCl	A déterminer		ND																																																												
Métaux lourds	A déterminer		ND																																																												
Dioxines	< 0,1 – 0,5 ng/Nm ³		ND																																																												
Effluents liquides																																																															
DCO	A déterminer		✓																																																												
MES	50 mg/L		ND																																																												
Métaux lourds	A déterminer		ND																																																												
N _{tot}	A déterminer		✓																																																												
REGLEMENTATION	Effluents gazeux : NEC, PPA, Quotas CO ₂																																																														
TENDANCE DE CE SECTEUR SUR LE	Stable ou à la baisse																																																														

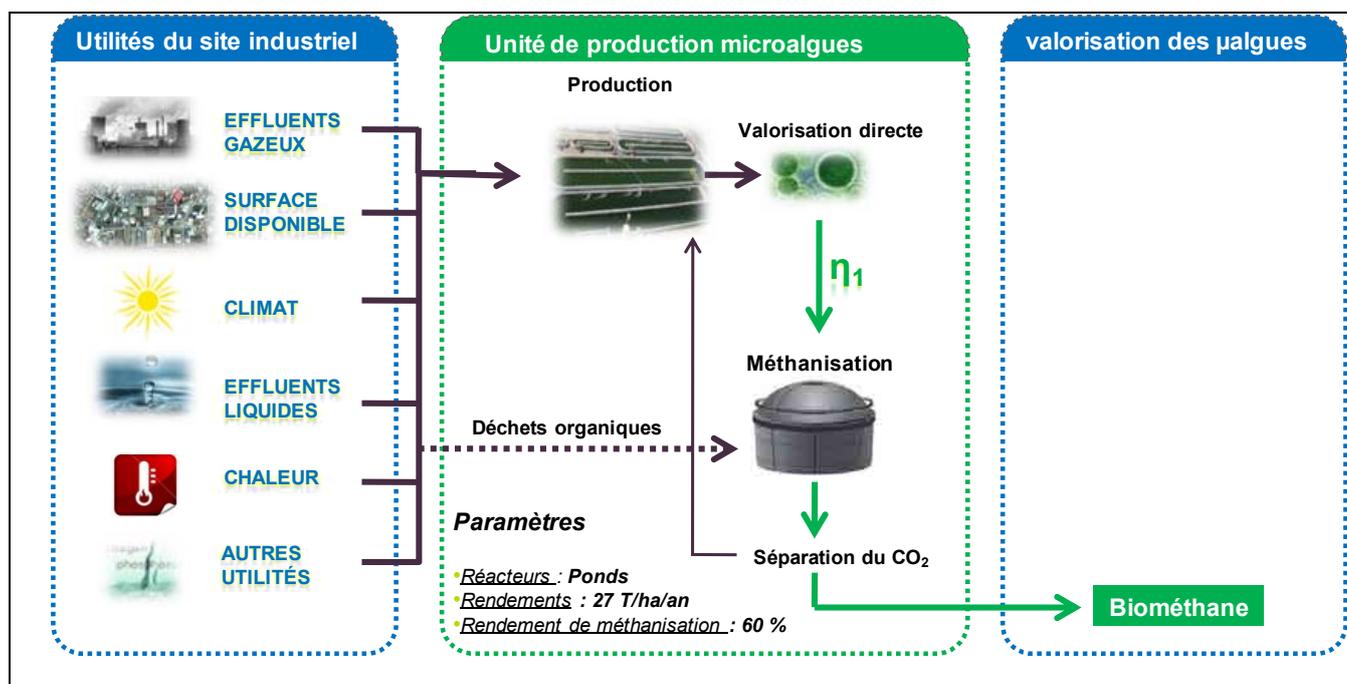
⁷¹ Bref Produits Céramiques (2007) <http://www.ineris.fr/ipcc>

⁷² CRIGEN, GDF SUEZ (données 2006).

⁷³ Bref Ciment, chaux et magnésie (2010) http://www.ineris.fr/ipcc/sites/default/files/files/clm_bref_0510_VF_1.pdf

MARCHE FRANÇAIS																			
CONSOmmATEUR DE GAZ NATUREL	Oui																		
NOMBRE DE SITES DE PRODUCTION ACTUELS EN FRANCE	2667 ⁷⁴																		
SURFACE MOYENNE DISPONIBLE A PROXIMITE	2,5 ha	Source : moyenne sur 3 sites représentatifs du secteur																	
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Usine</th> <th>Activité</th> <th>Milieu</th> <th>Surface</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PLACOPLATRE SAINT GOBAIN, usine de Vaujourns</td> <td>Fabrication de matériaux de construction</td> <td>Périurbain</td> <td>2,05 ha</td> </tr> <tr> <td>PLACOPLATRE SAINT GOBAIN, usine de Chambéry</td> <td>Fabrication de matériaux de construction</td> <td>Urbain</td> <td>2,1 ha</td> </tr> <tr> <td>TERREAL, Revel</td> <td>Fabrication de produits de construction en terre cuite</td> <td>Rural</td> <td>3,2 ha</td> </tr> </tbody> </table>	Usine	Activité	Milieu	Surface	PLACOPLATRE SAINT GOBAIN, usine de Vaujourns	Fabrication de matériaux de construction	Périurbain	2,05 ha	PLACOPLATRE SAINT GOBAIN, usine de Chambéry	Fabrication de matériaux de construction	Urbain	2,1 ha	TERREAL, Revel	Fabrication de produits de construction en terre cuite	Rural	3,2 ha	
		Usine	Activité	Milieu	Surface														
		PLACOPLATRE SAINT GOBAIN, usine de Vaujourns	Fabrication de matériaux de construction	Périurbain	2,05 ha														
PLACOPLATRE SAINT GOBAIN, usine de Chambéry	Fabrication de matériaux de construction	Urbain	2,1 ha																
TERREAL, Revel	Fabrication de produits de construction en terre cuite	Rural	3,2 ha																
Surface moyenne		2,45 ha																	
OPPORTUNITES UTILISATION MICROALGUES	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Énergétique</u> : biométhane • <u>Non énergétique</u> : traitement partiel des effluents liquides et gazeux 																		
PROBLEMATIQUES MAJEURES IDENTIFIEES	Contraintes règlementaires du secteur concernant le traitement des effluents de type : CO ₂ et NO _x et des eaux issues des procédés de production																		
POTENTIEL DEVELOPPEMENT DES MICROALGUES A TERME	Horizon de déploiement	2050 – secteur à intérêt Intermédiaire																	
	Indice de potentiel de déploiement de la technologie	2/5																	
	<p><u>Vecteurs de déploiement</u> : besoins d'énergie verte et de systèmes de traitement des effluents gazeux et liquides</p> <p>Les microalgues pouvant permettre de compléter des procédés de traitement de NO_x et de gérer progressivement la problématique des quotas de CO₂</p>																		
MODELE DE PRODUCTION DES MICROALGUES	Type de réacteur envisagé : Ponds	Peu de valeur ajoutée à tirer de l'insertion de la brique technologique ce qui implique un choix de technologies à faible intensité capitalistique																	
	Rendements : • Ponds : 27 T/ha/an	Cf. Annexe 1																	
Schéma technique envisagé pour l'insertion de la brique technologique algues dans le secteur des produits céramiques (plâtre, briques et tuiles) :																			

⁷⁴ <http://www.insee.fr/sessi/panorama/pano08/f14.htm>



MODELE TECHNIQUE DE PRODUCTION D'ENERGIE A PARTIR DES MICROALGUES	Type d'énergie produite	Biométhane – valorisable directement sur site (procédé industriel, flotte captive,...) ou via injection réseau	
	Production du biométhane à partir de l'ensemble de la production de microalgues	La biomasse peut être traitée très aisément par méthanisation ou co-méthanisation avec des déchets récoltés à proximité	
	Type de technologie de méthanisation	Méthanisation simple	
	Rendement de méthanisation	60 %	Réf. : données internes GDF SUEZ validées expérimentalement
	Part de la biomasse algale totale produite entrant directement dans la filière énergie	$\eta_1 = 100 \%$	La biomasse algale étant essentiellement amenée à traiter des effluents sa valorisation est entièrement tournée vers l'énergie

Secteur Agricole

1. Élevage

Description du secteur Élevage	
<p>CONTEXTE – ENJEUX⁷⁵</p>	<p>Les exigences croissantes du marché, les perfectionnements du matériel génétique et des équipements agricoles et la disponibilité d'aliments pour animaux relativement bon marché ont poussé les exploitants à se spécialiser. En conséquence, les effectifs des troupeaux et la taille des exploitations ont augmenté, et l'élevage intensif a commencé (même si des questions concernant le bien être animaux sont désormais posées). En effet, depuis les années 2000, la France assiste à une diminution du nombre de ses exploitations agricoles mais à un maintien global de la productivité agricole.</p> <p>Avec 16% de la production européenne, la France se classe premier producteur de volaille devant le Royaume-Uni et se place cinquième au rang mondial. La majorité des volailles abattues en France sont des poulets de chair. Les poulets de chair ne sont généralement pas élevés en cage, bien que des systèmes d'élevage en batterie existent. La majeure partie de la production de viande de volaille est basée sur le système d'élevage par lots distincts sur plancher recouvert de litière. Les élevages de poulets de chair comptant plus de 40 000 emplacements, et relevant donc de la directive PRIP, sont très nombreux en Europe. Cependant, les principaux indicateurs économiques montrent que depuis la fin des années 1990, l'aviiculture française connaît une crise structurelle qui se traduit, notamment, par un recul de 20% des volumes de volailles de chair produits sur la dernière décennie.</p> <p>La France est le 3^{ème} producteur de viande de porc France (13 %) en Europe. La taille des élevages de porcins est très variable. Les porcs d'engraissement sont en majorité (81 %) élevés dans des exploitations de 200 porcs ou plus. En France, une proportion importante de porcs est élevée dans des exploitations de 50 à 400 porcs d'engraissement. Lors de l'évaluation des niveaux de consommation et d'émission de l'élevage porcin, il est important de connaître le système de production appliqué.</p> <p>Sur les exploitations agricoles spécialisées en bovin viande, la France a perdu 11% de ses exploitations mais avec un maintien « relatif » de son taux de productivité, qui s'explique notamment par un taux élevé d'unités gros bétail (UGB) par unité de travail annuel (UTA).</p> <p>Les autres catégories d'élevage (caprin, ovin et équin) restent minoritaires en comparaison des précédentes.</p>
<p>CARACTERISTIQUES EFFLUENTS</p>	<p>La quantité et la composition des aliments donnés aux volailles et aux porcs sont des facteurs importants pour déterminer les quantités d'effluents produits, ainsi que leur composition chimique et structure physiologique. Les émissions en provenance des exploitations d'élevage sont de manière prédominante en rapport avec les processus métaboliques des animaux logés. En effet, dans l'élevage intensif, les animaux métabolisent la nourriture et excrètent presque tous les éléments nutritifs dans leurs déjections (par exemple, émissions d'azote dans la production des porcs pour l'abattage).</p> <p>La croissante compréhension de ces processus a été le moteur du développement d'une large gamme d'aliments et d'additifs alimentaires adaptés aux besoins de l'animal et aux objectifs de la production.</p> <p>L'élevage intensif implique une forte densité d'animaux et cette densité peut servir d'indicateur approximatif de la quantité de fumier produit par les animaux. Une forte densité peut entraîner le risque que l'apport en minéraux fourni par le fumier dépasse ce dont la</p>

⁷⁵ Bref Élevage intensif de volailles et de porcins (2003) <http://www.ineris.fr/ipcc>
GrDF - 6, rue Condorcet - 75009 Paris - Société Anonyme au capital de 1 800 000 000 euros - RCS : PARIS 444 786 511

surface agricole a besoin pour les cultures ou pour le maintien des herbages.
 Les données sur la concentration de la production animale au niveau régional fournissent en principe une bonne indication quant à l'existence possible de problèmes environnementaux dans une région : tels que l'acidification (NH₃, SO₂, NO_x), l'eutrophisation (N, P), les perturbations locales (odeurs, bruit) et la propagation diffuse de métaux lourds et de pesticides.
 Les émissions atmosphériques dues à l'élevage sont majoritairement de l'ammoniac, du méthane et du protoxyde d'azote.
 Au cas d'une consommation d'énergie pour chauffer / alimenter les animaux, des émissions de CO₂ et de polluants locaux sont également retrouvées.

	Émissions moyennes ^{76,77}	Compatibilité pour les algues
Effluents gazeux		
NH ₃	Exploitation de poulet de chair : 0,005 – 0,315 kg/volaille/an Exploitation de truie : 0,04 – 4,2 kg/emplacement animal/an	ND
CH ₄	Exploitation de poulet de chair : 0,004 – 0,006 kg/volaille/an Exploitation de truie : 21,1 kg/emplacement animal/an Exploitation de vache laitière : 119 kg/vache laitière/an	ND
N ₂ O	Exploitation de poulet de chair : 0,009 – 0,024 kg/volaille/an Exploitation de truie : 0,02 – 3,44 kg/emplacement animal/an	ND

Autres effluents⁷⁸ :

Type d'animaux	Bovins	Porcins	Avicoles, cunicoles	Ovins, caprins, équins	Total animaux	Total animaux
Unités	kt brutes/an	kt brutes/an	kt brutes/an	kt brutes/an	kt brutes/an	kt matière sèche/an
Effluents émis au champ	134 740	120	0	13 560	148 420	16 320
Déjections récupérables	108 340	24 590	8 990	7 460	149 380	31 400
dont fumiers	89 330	6 080	2 970	7 460	105 840	27 760
dont lisiers	19 010	18 510	6 020	0	43 540	3 640
Total	243 080	24 710	8 990	21 020	297 800	47 720

REGLEMENTATION

Au niveau européen :

✓ **Directive « nitrate », plan européen vers une réduction des émissions nitrates**

En application de la directive 91/676/CE du 12 décembre 1991 concernant la protection des eaux contre la pollution par les nitrates à partir d'origine agricole (l'élevage), dite **directive Nitrates**, la France a mis en place depuis 1992 un programme de surveillance reposant sur des campagnes de mesures réalisées environ tous les quatre ans.

Afin de mieux évaluer l'évolution de la qualité des eaux de surface et les eaux souterraines vis à vis des nitrates, le Ministère chargé du développement durable et l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (Onema) demande chaque année à l'Office International de l'Eau de comparer les résultats de la dernière campagne réalisée au titre de la Directive Nitrates

⁷⁶ DOLLÉ, J-B. et ROBIN, P. *Emissions de gaz à effet de serre en bâtiment d'élevage bovin*. p. 205, s.l. : In Fourrages, 2006, Vol. 186.

⁷⁷ INERIS, *Elevage intensif de volailles et des porcins – Document BREF*, juillet 2003.

⁷⁸ IFEN - SCEES. *Etude pilote sur les déchets de l'agriculture en France, Rapport final*. Mars 2005.

avec les résultats d'analyses sur les nitrates disponibles dans les banques de données nationales (BNDE et ADES).

La comparaison de la campagne 2004-2005 avec les analyses de la période 2007-2008 montre que **la répartition des stations dans les classes évolue peu et qu'un peu plus de la moitié des stations ont a priori vu leur concentration baisser ou rester stable**⁷⁹.

L'application de cette directive s'est traduite notamment par la définition de **zones dites « vulnérables »** au sein desquelles des programmes d'actions départementaux doivent permettre d'atteindre cet objectif.

Aujourd'hui la France a publié son cinquième programme d'actions et est tenu d'améliorer son programme au regard de la Commission Européenne notamment dû aux résultats insatisfaisants obtenus sur les années précédentes.

Ce cinquième programme d'actions est retranscrit via un décret et arrêté interministériel.

L'ensemble devra être pleinement opérationnel en 2013.

- **Décret n° 2012-676 du 7 mai 2012** relatif aux programmes d'actions régionaux en vue de la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole.
- **Arrêté du 7 mai 2012** relatif aux actions renforcées à mettre en œuvre dans certaines zones ou parties de zones vulnérables en vue de la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole.

✓ **La directive IDE (Industrial Emissions Directive) réglemente les émissions des exploitations d'élevage**

Les grandes exploitations de volailles (>40 000 volailles) et porcines (>2 000 procs de production ou >750 truies) sont dans l'obligation de mettre en œuvre des mesures appropriées pour réduire les pollutions notamment par le recours aux meilleurs techniques disponibles (MTD). Actuellement, selon les BREF de l'INERIS, les MTD proposées présentent d'énormes difficultés de mise en œuvre dans les élevages porcins français, d'ordre technique et économique.

Un élargissement du cadre de cette directive aux élevages porcins est à prévoir.

Au niveau français, c'est l'arrêté du 31 janvier 2008 relatif au registre et à la déclaration annuelle des émissions polluantes et des déchets qui entre en vigueur.

✓ **Promotion des énergies renouvelables en Europe**

La directive européenne d'avril 2009, relative à la promotion des énergies renouvelables (EnR), fixe l'objectif de 20 % d'énergies renouvelables dans la consommation énergétique totale européenne à l'horizon 2020. En France, le taux visé est de 23 % à cet horizon. Le biogaz fait partie des sources d'énergies renouvelables qui peuvent contribuer à atteindre cet objectif.

Au niveau français :

✓ **Plafond des émissions de polluants atmosphériques par le PREPA, arrêté du 8 juillet 2003**

Le Programme National de Réduction des Emissions de Polluants Atmosphériques, impose aux exploitations d'élevage de réduire leurs émissions de NH₃ issus de l'alimentation du bétail et du stockage du lisier en fosse. L'ensemble sera appuyé par des sensibilisations et formations aux agriculteurs avec la proposition de méthodes d'exploitations moins émettrices.

✓ **Limitation des particules de poussières via le décret de 21 octobre relatif à la qualité de l'air**

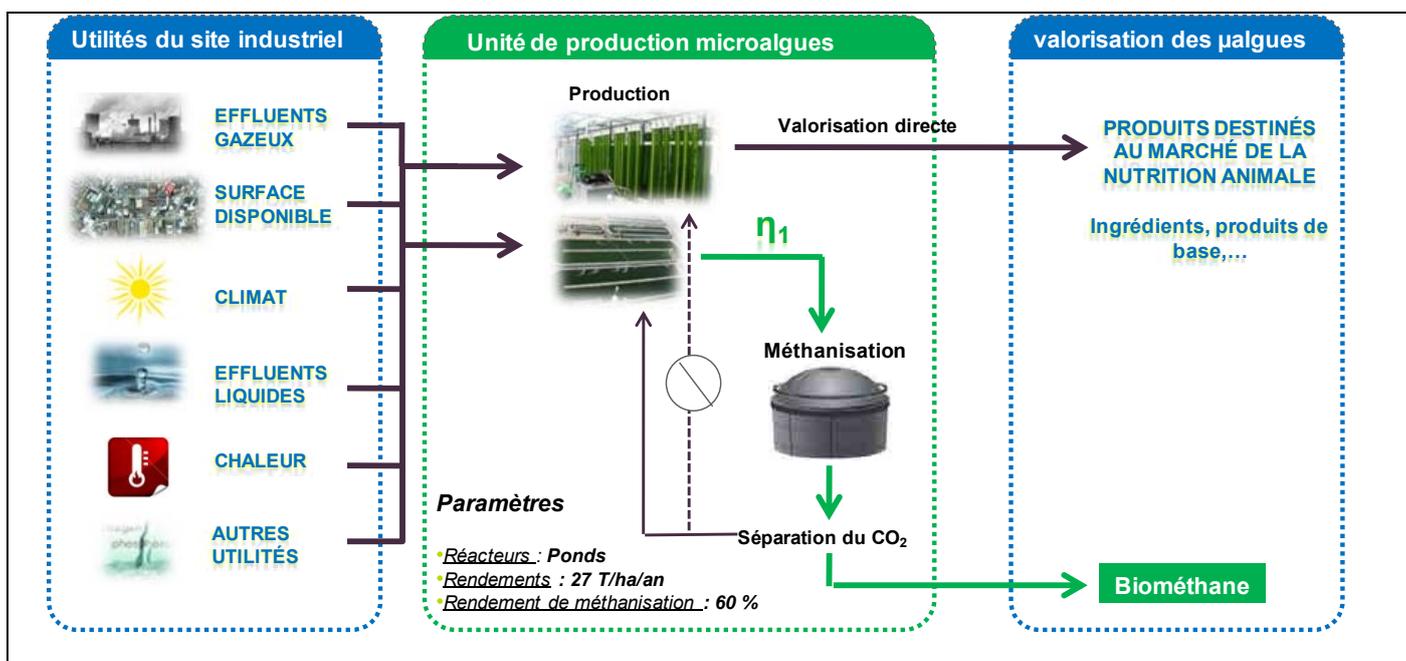
Le décret transpose la directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe. Il précise les normes à appliquer pour les particules « PM2,5 », jugées plus préoccupantes pour la santé que les particules « PM10 », parce qu'elles pénètrent plus profondément dans les poumons en raison

⁷⁹ **Petit, Katell.** *Directive Nitrates - Analyse des résultats 2007-2008.* s.l. : ONEMA - Office national de l'eau et des milieux aquatiques; Eau de France, Janvier 2011

	<p>de leur petite taille et qu'elles s'accablent dans l'organisme. L'émission de PM est soumise à un seuil de 40µg/m³/an et moins de 35 jours à plus de 50 µg/m³ Les émissions de PM_{2,5} sont soumise à un seuil de 25 µg/m³ en moyenne annuelle civile, avec des marges de dépassement autorisées jusqu'en 2015.</p>	
TENDANCE DE CE SECTEUR SUR LE MARCHÉ FRANÇAIS	A la baisse ⁸⁰	
CONSOMMATEUR DE GAZ NATUREL	Oui	
NOMBRE D'EXPLOITATIONS ACTUELS EN FRANCE	<p>Par orientation technico-économique⁸¹ :</p> <p>Bovins lait (41) : 54 821 exploitations Bovins viande (42) : 63 374 exploitations Autres herbivores (43,44) : 70 337 exploitations Porcins, volailles (50,72) : 16 951 exploitations Autres (polyculture (60), polyélevage à orientation herbivores (71), mixtes culture-élevage (81,82), 90) : 83 078 exploitations</p>	
SURFACE MOYENNE DISPONIBLE A PROXIMITÉ		
OPPORTUNITÉS UTILISATION MICROALGUES	<p><u>Energétique</u> : biométhane <u>Non énergétique</u> : traitement des eaux et alimentation animale</p>	
PROBLÉMATIQUES MAJEURES IDENTIFIÉES	Le principal problème environnemental de ce secteur est la pollution de l'eau.	
POTENTIEL DEVELOPPEMENT DES MICROALGUES A TERME	Horizon de déploiement	2020 – secteur à intérêt intermédiaire
	Indice de potentiel de déploiement de la technologie	3/5
	<p><u>Vecteurs de déploiement</u> : la productivité surfacique très élevée des microalgues (Cf. Annexe 1) peut conduire certains agriculteurs et éleveurs à convertir une partie de leur exploitation à une ferme de microalgues afin de produire des compléments alimentaires pour l'élevage ainsi que répondre à la problématique forte du traitement de leurs effluents liquides issus de leurs procédés d'élevage et d'une manière moins capitale répondre à leur problématique sur les effluents gazeux (issus de leurs chaudières). La brique des µalgues peut répondre à l'ensemble de ces enjeux en synergie technologique inabordable pour l'instant aux technologies conventionnelles actuelles.</p>	
MODELE DE PRODUCTION DES MICROALGUES	Type de réacteur envisagé Ponds couverts	Compte tenu de la surface disponible et des quantités nécessaires, ces réacteurs semblent les plus appropriés au modèle d'affaire envisagé
	Rendements : 27 T/ha/an	Cf. Annexe 1
Schéma technique envisagé pour l'insertion de la brique technologique µalgues dans le secteur de l'élevage :		

⁸⁰ FranceAgriMer.

⁸¹ Données AGRESTE, 2007.



MODELE TECHNIQUE DE PRODUCTION D'ENERGIE A PARTIR DES MICROALGUES	Type d'énergie produite	Biométhane – valorisable directement sur site (procédé industriel, ...) ou via injection réseau	
	Production de biométhane directement à partir de microalgues	La biomasse peut être traitée très aisément par méthanisation ou co-méthanisation.	
	Type de technologie de méthanisation	Méthanisation simple ou co-méthanisation avec les déchets organiques de la filière	
	Rendement de méthanisation	60 %	Réf. : données internes GDF SUEZ validées expérimentalement
	Part de la biomasse algale entrant directement dans la filière énergie	$\eta_1 = 10\%$	Part liée à un ajustement de la production au regard des besoins en énergies renouvelables.

2. Cultures

Description du secteur Cultures													
CONTEXTE – ENJEUX	<p>Sur le sol français, les grandes cultures occupent 15 millions d’hectares soit plus de la moitié de la surface agricole utilisée en France métropolitaine. On dénombre en moyenne 48 hectares par exploitation. Les cultures de céréales représentent les surfaces exploitées les plus importantes au sein des exploitations spécialisées contre les protéagineux qui s’est réduit en dix ans.</p> <p>La céréale la plus cultivée en France est le blé tendre, suivi du maïs, de l’orge et du blé dur. Chez les oléagineux, le colza est le plus cultivé suivi du tournesol⁸².</p> <p>A cause de productions retardées en raison des aléas climatiques, la France a subi deux crises en 2010 sur la pêche-nectarine et le melon. A cause d’un déphasage entre demande et offre, la France a vu son déficit commercial s’aggraver. En revanche, le marché de la pomme de terre est serein en France. L’Ageste observe des volumes en hausse à l’export et à l’import pour la consommation de pommes de terre en 2010. Chez les légumes, la tendance est à la hausse pour l’export, excepté pour la carotte qui subit une baisse⁸³.</p>												
CARACTERISTIQUES EFFLUENTS	<p>Les émissions atmosphériques des cultures sont essentiellement dues aux apports de fertilisants minéraux et organiques des sols ainsi qu’à l’utilisation des machines agricoles. L’épandage et la transformation de l’azote et de l’engrais au niveau des sols sont responsables des émissions de NH₃ et de N₂O. L’émission de poussières constitue également une part non négligeable dans les cultures.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Émissions moyennes</th> <th>Compatibilité pour les algues</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Effluents gazeux</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>NH₃</td> <td>A déterminer</td> <td>ND</td> </tr> <tr> <td>N₂O</td> <td>A déterminer</td> <td>ND</td> </tr> </tbody> </table>		Émissions moyennes	Compatibilité pour les algues	Effluents gazeux			NH ₃	A déterminer	ND	N ₂ O	A déterminer	ND
	Émissions moyennes	Compatibilité pour les algues											
Effluents gazeux													
NH ₃	A déterminer	ND											
N ₂ O	A déterminer	ND											
REGLEMENTATION	<p>Au niveau européen :</p> <p>✓ Directive « nitrate », plan européen vers une réduction des émissions nitrates</p> <p>En application de la directive 91/676/CE du 12 décembre 1991 concernant la protection des eaux contre la pollution par les nitrates à partir d’origine agricole (l’élevage), dite directive Nitrates, la France a mis en place depuis 1992 un programme de surveillance reposant sur des campagnes de mesures réalisées environ tous les quatre ans.</p> <p>Afin de mieux évaluer l’évolution de la qualité des eaux de surface et les eaux souterraines vis à vis des nitrates, le Ministère chargé du développement durable et l’Office National de l’Eau et des Milieux Aquatiques (Onema) demande chaque année à l’Office International de l’Eau de comparer les résultats de la dernière campagne réalisée au titre de la Directive Nitrates avec les résultats d’analyses sur les nitrates disponibles dans les banques de données nationales (BNDE et ADES).</p> <p>La comparaison de la campagne 2004-2005 avec les analyses de la période 2007-2008 montre que la répartition des stations dans les classes évolue peu et qu’un peu plus de la moitié des stations ont a priori vu leur concentration baisser ou rester stable⁸⁴.</p> <p>L’application de cette directive s’est traduite notamment par la définition de zones dites « vulnérables » au sein desquelles des programmes d’actions départementaux doivent permettre d’atteindre cet objectif.</p> <p>Aujourd’hui la France a publié son cinquième programme d’actions et est tenu d’améliorer son programme au regard de la Commission Européenne notamment dû aux résultats insatisfaisant obtenus sur les années précédentes.</p> <p>Ce cinquième programme d’actions est retranscrit via un décret et arrêté interministériel.</p>												

⁸² Des grandes cultures dans deux tiers des exploitations. **AGRESTE**. 283, s.l. : Agreste Primeur, Juin 2012.

⁸³ **FranceAgriMer**. Fruits et légumes, Commerce extérieur Bilan de la campagne 2010. s.l. : FranceAgriMer, 2010.

⁸⁴ **Petit, Katell**. Directive Nitrates - Analyse des résultats 2007-2008. s.l. : ONEMA - Office national de l’eau et des milieux aquatiques; Eau de France, Janvier 2011

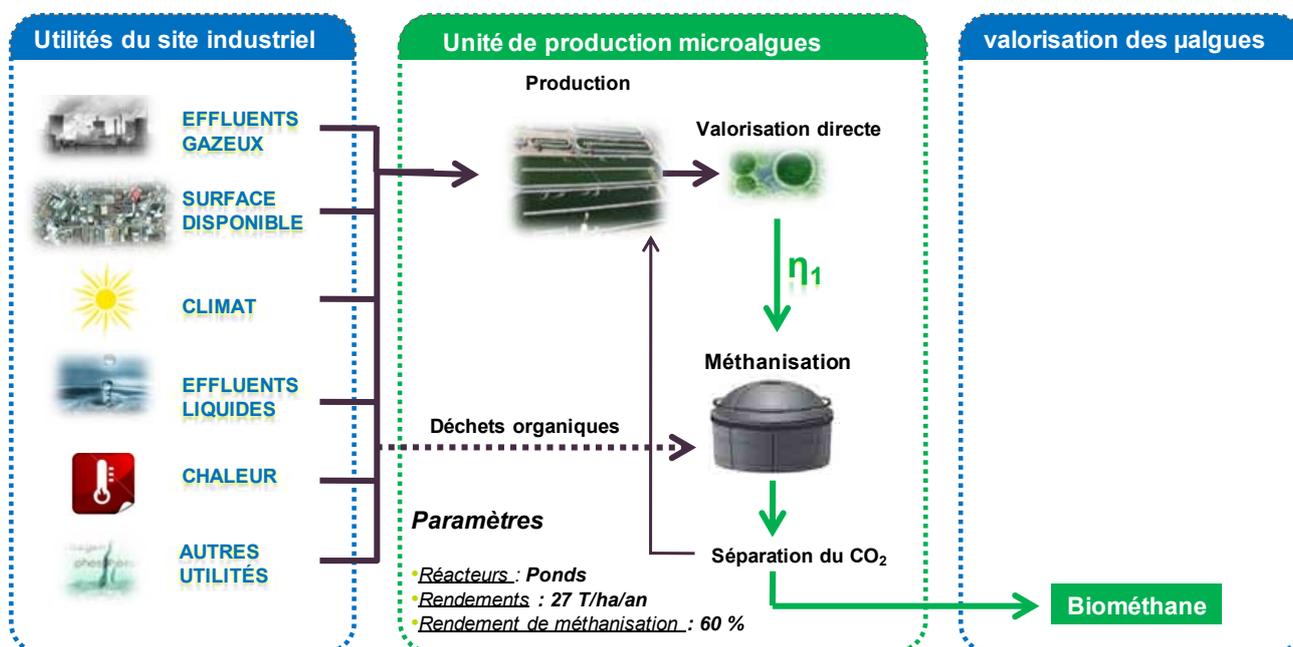
	<p>L'ensemble devra être pleinement opérationnel en 2013.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Décret n° 2012-676 du 7 mai 2012 relatif aux programmes d'actions régionaux en vue de la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole. • Arrêté du 7 mai 2012 relatif aux actions renforcées à mettre en œuvre dans certaines zones ou parties de zones vulnérables en vue de la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole. <p>✓ Promotion des énergies renouvelables en Europe La directive européenne d'avril 2009, relative à la promotion des énergies renouvelables (EnR), fixe l'objectif de 20 % d'énergies renouvelables dans la consommation énergétique totale européenne à l'horizon 2020. En France, le taux visé est de 23 % à cet horizon. Le biogaz fait partie des sources d'énergies renouvelables qui peuvent contribuer à atteindre cet objectif.</p> <p>Au niveau français :</p> <p>✓ Plafond des émissions de polluants atmosphériques par le PREPA, arrêté du 8 juillet 2003 Le Programme National de Réduction des Emissions de Polluants Atmosphériques, impose aux exploitations d'élevage de réduire leurs émissions de NH₃ issus de l'alimentation du bétail et du stockage du lisier en fosse. L'ensemble sera appuyé par des sensibilisations et formations aux agriculteurs avec la proposition de méthodes d'exploitations moins émettrices.</p> <p>✓ Limitation des particules de poussières via le décret de 21 octobre relatif à la qualité de l'air Le décret transpose la directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe. Il précise les normes à appliquer pour les particules « PM2,5 », jugées plus préoccupantes pour la santé que les particules « PM10 », parce qu'elles pénètrent plus profondément dans les poumons en raison de leur petite taille et qu'elles s'accumulent dans l'organisme. L'émission de PM est soumise à un seuil de 40µg/m³/an et moins de 35 jours à plus de 50 µg/m³ Les émissions de PM2,5 sont soumises à un seuil de 25 µg/m³ en moyenne annuelle civile, avec des marges de dépassement autorisées jusqu'en 2015.</p>
<p>TENDANCE DE CE SECTEUR SUR LE MARCHE FRANÇAIS</p>	<p>A la baisse⁸⁵</p>
<p>CONSOMMATEUR DE GAZ NATUREL</p>	<p>Non</p>
<p>NOMBRE D'EXPLOITATIONS ACTUELS EN FRANCE</p>	<p>Par orientation technico-économique⁸⁶ :</p> <p>Grandes cultures (13, 14) : 116 976 exploitations Maraîchage, horticulture (28, 29) : 11 449 exploitations Viticulture (37, 38) : 70 802 exploitations Fruits (39) : 18 711 exploitations Autres (polyculture (60), polyélevage à orientation herbivores (71), mixtes culture-élevage (81,82), 90) : 83 078 exploitations</p>
<p>SURFACE MOYENNE DISPONIBLE A PROXIMITE</p>	<p></p>
<p>OPPORTUNITES UTILISATION MICROALGUES</p>	<p><u>Energétique</u> : biométhane <u>Non énergétique</u> : /</p>

⁸⁵ FranceAgriMer.

⁸⁶ Données AGRESTE, 2007.

PROBLEMATIQUES MAJEURES IDENTIFIEES	Le principal problème environnemental de ce secteur est la production de résidus de cultures (paille, bois, ...).	
POTENTIEL DEVELOPPEMENT DES MICROALGUES A TERME	Horizon de déploiement	2050 – secteur à intérêt faible
	Indice de potentiel de déploiement de la technologie	3/5
	Vecteurs de déploiement : la productivité surfacique très élevée des microalgues (Cf. Annexe 1) peut conduire certains agriculteurs et éleveurs à convertir une partie de leur exploitation à une ferme de microalgues.	
MODELE DE PRODUCTION DES MICROALGUES	Type de réacteur envisagé Ponds couverts	Compte tenu de la surface disponible et des quantités nécessaires, ces réacteurs semblent les plus appropriés au modèle d'affaire envisagé
	Rendements : 27 T/ha/an	Cf. Annexe 1

Schéma technique envisagé pour l'insertion de la brique technologique algues dans le secteur des cultures :



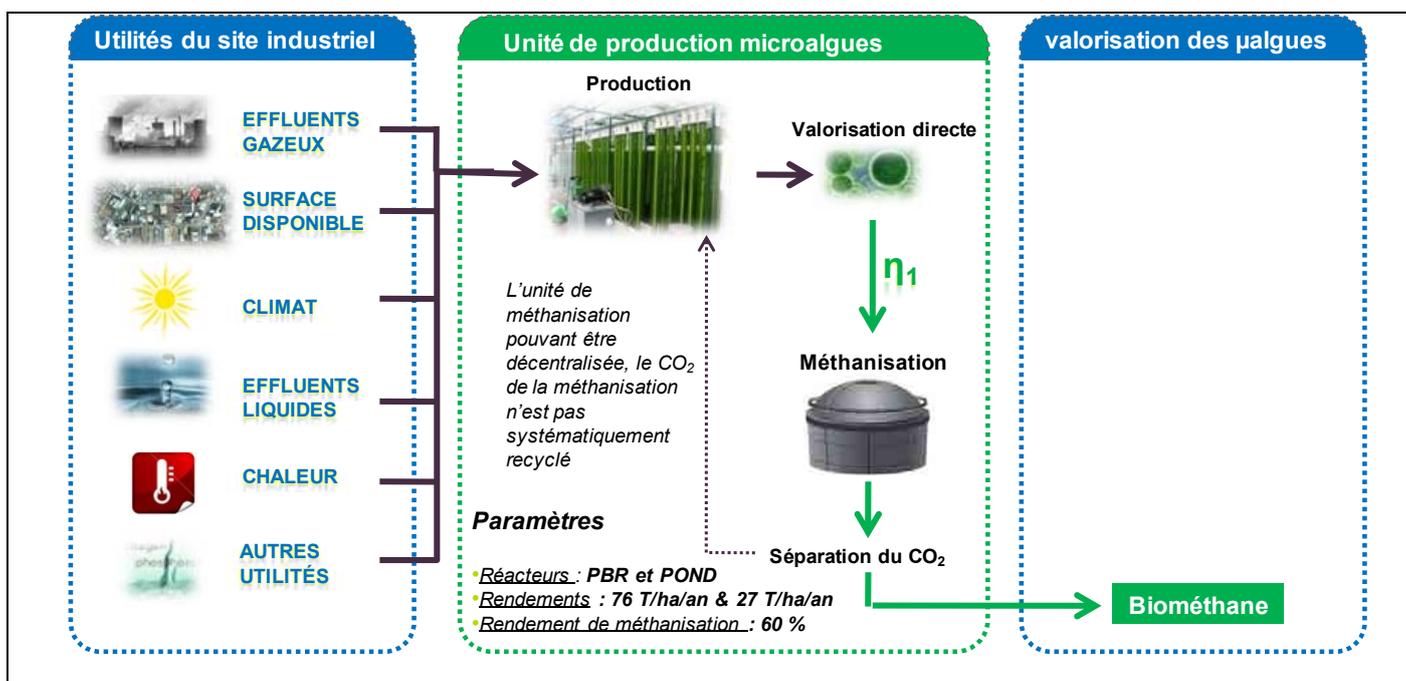
MODELE TECHNIQUE DE PRODUCTION D'ENERGIE A PARTIR DES MICROALGUES	Type d'énergie produite	Biométhane – valorisable directement sur site (procédé industriel, ...) ou via injection réseau	
	Production de biométhane directement à partir de microalgues	La biomasse peut être traitée très aisément par méthanisation ou co-méthanisation.	
	Type de technologie de méthanisation	Méthanisation simple ou co-méthanisation avec les déchets organiques de la filière	
	Rendement de méthanisation	60 %	Réf. : données internes GDF SUEZ validées expérimentalement
	Part de la biomasse algale entrant directement dans la filière énergie	η₁ = 10%	Part liée à un ajustement de la production au regard des besoins en énergies renouvelables.

Energie

1. Centrales thermiques

Description du secteur de l'Énergie				
CONTEXTE – ENJEUX	<p>Le secteur l'énergie comprend différents sous-groupes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le marché des grandes centrales thermiques de production électrique - Le marché de la chaleur industrielle - Le marché de la chaleur aux collectivités et au tertiaire urbain (réseau de chaleur et chauffage collectif) - Le marché du résidentiel tertiaire (2/3 de la chaleur consommée en France – non estimé dans le cadre de cette étude) - Le marché des centrales de cogénération <p>Chaque secteur présente des particularités propres en termes de plan d'affaire, d'émissions et de besoins en énergie renouvelable.</p>			
CARACTERISTIQUES EFFLUENTS	Les caractéristiques des effluents liquides (eaux de procédé principalement) sont relativement proches en termes de qualité selon les sites de production. Les caractéristiques des fumées restent variables en fonction du combustible fossile utilisé en base. Les centrales charbon et fioul lourd étant celles qui présentent les qualités de fumée les moins compatibles avec les algues (un prétraitement additionnel pouvant s'avérer nécessaire).			
		Émissions globales en t/an	Émissions MTD	Compatibilité pour les algues
	Effluents gazeux			
	CO ₂	Moyenne à fixer		✓
	COV	Moyenne à fixer		ND
	NOx	Moyenne à fixer		✓
	Poussières totales	Moyenne à fixer		Filtration nécessaire
	SOx	Moyenne à fixer		✓
	Effluents liquides			
	DCO	Moyenne à fixer		✓
	MES	Moyenne à fixer		ND
	P	Moyenne à fixer		✓
COT	Moyenne à fixer		ND	
N _{tot}	Moyenne à fixer		✓	
REGLEMENTATION	<p>Effluents gazeux : GIC, NEC, quotas CO₂</p> <p>Effluents liquides : DCE, REACH, PNAR</p> <p>Grenelle de l'Environnement : introduction d'une part de combustibles renouvelables dans les systèmes de production de chaleur et d'électricité (Ex : CPCU)</p>			
TENDANCE DU SECTEUR SUR LE MARCHÉ FRANÇAIS	A la hausse			
CONSOMMATEUR DE GAZ NATUREL	Oui pour les centrales à cycle combiné (7 sites)	Source : EDF		
NOMBRE DE SITES DE PRODUCTION ACTUELS EN FRANCE	<ul style="list-style-type: none"> - Centrales thermiques : 32 sites (puissances de 85 à 800 MW) - Unités thermiques industrielles : cf. secteur INDUSTRIES - Unités chauffage urbain et collectif : 450 sites 	Sources : EDF, MEDDEM,...		
SURFACE MOYENNE DISPONIBLE A PROXIMITE	<ul style="list-style-type: none"> - Centrales thermiques : 3,5 ha - Unités thermiques industrielles : cf. secteur INDUSTRIES 	Source : moyenne sur 10 sites représentatifs du secteur et des sous-secteurs		

	<ul style="list-style-type: none"> - Unités chauffage urbain et collectif : 0,2 ha - Unités de cogénération : 1 ha 			
	Usine	Activité	Milieu	Surface
	EDF, Le Havre	Centrale charbon (1450 MW)	Zone portuaire	0,55 ha
	EDF, Dirinon	Turbine à combustion (2x85 MW)	Rural	1,89 ha
	EDF, Brennilis	Turbine à combustion (2x85 MW + 125 MW)	Rural	5 ha
	EDF, Aramon	Centrale fioul (1400 MW)	Rural	0,15 ha
	EDF, Vitry sur Seine	Centrale charbon (500 MW)	Urbain	2,1 ha
	EDF, Cordemais	Centrales charbon et fioul (2600 MW)	Rural	4,5 ha
	EDF, Arrighi	Turbine à combustion (2x125 MW)	Urbain	2,3 ha
	EDF, Blénod	Centrale charbon (750 MW)	Zone portuaire	3 ha
	EDF, La Maxe	Centrale charbon (500 MW)	Rural	13,5 ha
	EDF, Martigues	Centrale fioul transformation en CCGT (500 MW transformation en 930 MW)	Zone portuaire	0,95 ha
Surface moyenne			3,4 ha	
OPPORTUNITES UTILISATION MICROALGUES	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Energétique</u> : intérêt pour le vecteur biométhane • <u>Non énergétique</u> : traitement des effluents 			
PROBLEMATIQUES MAJEURES IDENTIFIEES	<ul style="list-style-type: none"> • Contraintes réglementaires fortes du secteur concernant le traitement des effluents de type : CO₂, NO_x, SO_x et des eaux de procédé ; les eaux de procédé pouvant contenir des composés problématiques, un prétraitement additionnel peut s'avérer nécessaire. 			
POTENTIEL DEVELOPPEMENT DES MICROALGUES A TERME	Horizon de déploiement		2050 – secteur à intérêt intermédiaire	
	Indice de potentiel de déploiement de la technologie		3/5	
	Vecteurs de déploiement : <ul style="list-style-type: none"> - Verdissement de l'énergie produite - Management des émissions de CO₂ sur des sites de taille trop faible ou ne disposant pas de zones géologiques adaptées au stockage du CO₂ 			
MODELE DE PRODUCTION DES MICROALGUES	Type de réacteur envisagé : Ponds couverts pour les unités périurbaines et rurales et PBR pour les unités situées en ville	Une affectation des technologies les plus prometteuses a été réalisée en fonction de la situation géographique et de la difficulté d'accéder à du foncier ou a des surfaces exposés à la lumière		
	Rendements :	Cf. Annexe 1		
<ul style="list-style-type: none"> • Ponds : 27 T/ha/an • PBR : 76 T/ha/an 				
Schéma technique envisagé pour l'insertion de la brique technologique algues dans le secteur de l'énergie :				



MODELE TECHNIQUE DE PRODUCTION D'ENERGIE A PARTIR DES MICROALGUES	Type d'énergie produite	Biométhane – valorisable directement sur site (procédé industriel, flotte captive,...) ou via injection réseau	
	Production du biométhane directement à base de microalgues	La biomasse peut être traitée très aisément par méthanisation ou co-méthanisation (validé par des essais internes et par différents projets partenariaux (ANR Symbiose,...)).	
	Type de technologie de méthanisation	Méthanisation simple ou co-méthanisation	
	Rendement de méthanisation	60%	Réf. : données internes GDF SUEZ validées expérimentalement
	Part de la biomasse algale produite entrant directement dans la filière énergie	$\eta_1 = 100\%$	Part liée à un ajustement de la production au regard des besoins en énergie renouvelables

2. Infrastructures gazières

Description du secteur des infrastructures énergétiques																										
CONTEXTE – ENJEUX	Ce secteur comprend différents sous-groupes : <ul style="list-style-type: none"> - Les systèmes de transport du gaz (stations de compression,...) - de stockage, - de distribution - les terminaux de regazéification 																									
CARACTERISTIQUES EFFLUENTS	Les caractéristiques des effluents dépendent fortement du site considéré.																									
		Émissions globales en t/an	Émissions MTD	Compatibilité pour les algues																						
	Effluents gazeux																									
	CO ₂	Moyenne à fixer		✓																						
	COV	Moyenne à fixer		ND																						
	NOx	Moyenne à fixer		✓																						
	Poussières totales	Moyenne à fixer		Filtration nécessaire																						
	SOx	Moyenne à fixer		✓																						
	Effluents liquides																									
	DCO	Moyenne à fixer		✓																						
	MES	Moyenne à fixer		ND																						
	P	Moyenne à fixer		✓																						
	COT	Moyenne à fixer		ND																						
N _{tot}	Moyenne à fixer		✓																							
REGLEMENTATION	Effluents gazeux : GIC, NEC, quotas CO ₂ Effluents liquides : DCE, REACH, PNAR Grenelle de l'Environnement : introduction d'une part de combustibles renouvelables dans les systèmes de production de chaleur et d'électricité (Ex : CPCU)																									
TENDANCE DU SECTEUR SUR LE MARCHE FRANÇAIS	A la hausse																									
CONSUMMATEUR DE GAZ NATUREL	Oui																									
NOMBRE DE SITES DE PRODUCTION ACTUELS EN FRANCE	<ul style="list-style-type: none"> - Stockage gaz : 14 sites - Terminaux de regazéification : 3 - Equipement de compression : 32 	Source : GDF SUEZ																								
SURFACE MOYENNE DISPONIBLE A PROXIMITE	<ul style="list-style-type: none"> - Stockage gaz : 3,5 ha - Terminaux de regazéification : 19 ha - Equipement de compression : 3,5 ha 	Source : moyenne sur quelques sites représentatifs du secteur et des sous-secteurs																								
	Terminaux méthaniers <table border="1"> <thead> <tr> <th>Usine</th> <th>Activité</th> <th>Milieu</th> <th>Surface</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>GDF SUEZ, Port-Saint-Louis-Du-Rhône</td> <td>Terminal méthanier</td> <td>Zone portuaire</td> <td>18,5 ha</td> </tr> <tr> <td>GDF SUEZ, Montoir-De-Bretagne</td> <td>Terminal méthanier</td> <td>Zone portuaire</td> <td>9 ha</td> </tr> <tr> <td>GDF SUEZ, Fos-Sur-Mer</td> <td>Terminal méthanier</td> <td>Zone portuaire</td> <td>30,2 ha</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Surface moyenne</td> <td>19,2 ha</td> </tr> </tbody> </table>			Usine	Activité	Milieu	Surface	GDF SUEZ, Port-Saint-Louis-Du-Rhône	Terminal méthanier	Zone portuaire	18,5 ha	GDF SUEZ, Montoir-De-Bretagne	Terminal méthanier	Zone portuaire	9 ha	GDF SUEZ, Fos-Sur-Mer	Terminal méthanier	Zone portuaire	30,2 ha	Surface moyenne			19,2 ha			
Usine	Activité	Milieu	Surface																							
GDF SUEZ, Port-Saint-Louis-Du-Rhône	Terminal méthanier	Zone portuaire	18,5 ha																							
GDF SUEZ, Montoir-De-Bretagne	Terminal méthanier	Zone portuaire	9 ha																							
GDF SUEZ, Fos-Sur-Mer	Terminal méthanier	Zone portuaire	30,2 ha																							
Surface moyenne			19,2 ha																							
Stations de compression <table border="1"> <thead> <tr> <th>Usine</th> <th>Activité</th> <th>Milieu</th> <th>Surface</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>GRTGaz, Fontenay-Mauvoisin</td> <td>Station de compression</td> <td>Rural</td> <td>0,8 ha</td> </tr> <tr> <td>GRTGaz, Courthézon</td> <td>Station de compression</td> <td>Rural</td> <td>0,37 ha</td> </tr> <tr> <td>GRTGaz, Nozay</td> <td>Station de compression</td> <td>Rural</td> <td>2,1 ha</td> </tr> <tr> <td>GRTGaz, Morelmaison</td> <td>Station de compression</td> <td>Rural</td> <td>5,6 ha</td> </tr> <tr> <td>GRTGaz, Palleau</td> <td>Station de compression</td> <td>Rural</td> <td>2,5 ha</td> </tr> </tbody> </table>			Usine	Activité	Milieu	Surface	GRTGaz, Fontenay-Mauvoisin	Station de compression	Rural	0,8 ha	GRTGaz, Courthézon	Station de compression	Rural	0,37 ha	GRTGaz, Nozay	Station de compression	Rural	2,1 ha	GRTGaz, Morelmaison	Station de compression	Rural	5,6 ha	GRTGaz, Palleau	Station de compression	Rural	2,5 ha
Usine	Activité	Milieu	Surface																							
GRTGaz, Fontenay-Mauvoisin	Station de compression	Rural	0,8 ha																							
GRTGaz, Courthézon	Station de compression	Rural	0,37 ha																							
GRTGaz, Nozay	Station de compression	Rural	2,1 ha																							
GRTGaz, Morelmaison	Station de compression	Rural	5,6 ha																							
GRTGaz, Palleau	Station de compression	Rural	2,5 ha																							

	GRTGaz, Laneuvelotte	Station de compression	Rural	7,7 ha
	GRTGaz, Etrez	Station de compression	Rural	6,7 ha
	Surface moyenne			3,68 ha
OPPORTUNITES UTILISATION MICROALGUES	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Energétique</u> : intérêt pour le vecteur biométhane • <u>Non énergétique</u> : traitement des effluents 			
PROBLEMATIQUES MAJEURES IDENTIFIEES	Contraintes réglementaires fortes du secteur concernant le traitement des effluents de type : CO ₂ , NO _x , SO _x et des eaux de procédé ; les eaux de procédé pouvant contenir des composés problématiques, un prétraitement additionnel peut s'avérer nécessaire.			
POTENTIEL DEVELOPPEMENT DES MICROALGUES A TERME	Horizon de déploiement		2050 – secteur à intérêt intermédiaire	
	Indice de potentiel de déploiement de la technologie		3/5	
Vecteurs de déploiement : <ul style="list-style-type: none"> - Verdissement de l'énergie produite - Management des émissions de CO₂ sur des sites de taille trop faible ou ne disposant pas de zones géologiques adaptées au stockage du CO₂ 				
MODELE DE PRODUCTION DE MICROALGUES	Type de réacteur envisagé :		Une affectation des technologies les plus prometteuses a été réalisée en fonction de la situation géographique et de la difficulté d'accéder à du foncier ou a des surfaces exposés à la lumière	
	Rendements : <ul style="list-style-type: none"> • Ponds : 27 T/ha/an • PBR : 76 T/ha/an 		Cf. Annexe 1	
Schéma technique envisagé pour l'insertion de la brique technologique algues dans le secteur des infrastructures énergétiques :				
MODELE TECHNIQUE DE PRODUCTION D'ENERGIE A PARTIR DES MICROALGUES	Type d'énergie produite		Biométhane – valorisable directement sur site (procédé industriel, flotte captive,...) ou via injection réseau	
	Production du biométhane directement à base de microalgues		La biomasse peut être traitée très aisément par méthanisation ou co-méthanisation (validé par des essais internes et par différents projets partenariaux (ANR Symbiose,...)).	

	Type de technologie de méthanisation	Méthanisation simple ou co-méthanisation	
	Rendement de méthanisation	60%	Réf. : données internes GDF SUEZ validées expérimentalement
	Part de la biomasse algale produite entrant directement dans la filière énergie	$\eta_1 = 100\%$	Part liée à un ajustement de la production au regard des besoins en énergie renouvelables

Environnement

1. Incinération

Description du secteur de l'incinération des déchets																																			
CONTEXTE – ENJEUX	L'incinération est un secteur industriel destiné à traiter les ordures ménagères et les déchets industriels.																																		
CARACTERISTIQUES EFFLUENTS	Les caractéristiques des effluents liquides (eaux de procédé principalement) sont très différentes d'un site à l'autre.																																		
		Émissions globales en t/an	Émissions Valeurs Limites de Rejets ⁸⁷	Compatibilité pour les algues																															
	Effluents gazeux																																		
	CO ₂	A déterminer		✓																															
	COV	A déterminer		ND																															
	NOx	A déterminer	200 - 400 mg/m ³	✓																															
	Poussières totales	A déterminer	10 mg/m ³	Filtration nécessaire																															
	SOx	A déterminer	50 mg/m ³	✓																															
	CO	A déterminer	50 mg/m ³	Traitement indispensable																															
	Effluents liquides																																		
	DCO	A déterminer	125 mg/L	✓																															
	MES	A déterminer		ND																															
	P	A déterminer		✓																															
COT	A déterminer	40 mg/L	ND																																
N _{tot}	A déterminer		✓																																
REGLEMENTATION	Effluents gazeux : GIC, NEC, quotas CO ₂ Effluents liquides : DCE, REACH, PNAR																																		
TENDANCE DU SECTEUR SUR LE MARCHÉ FRANÇAIS	Légèrement à la baisse ou stable																																		
CONSOMMATEUR DE GAZ NATUREL	oui																																		
NOMBRE DE SITES DE PRODUCTION ACTUELS EN FRANCE	130 sites	Source : MEDDEM																																	
SURFACE MOYENNE DISPONIBLE A PROXIMITÉ	1 ha	Source : moyenne sur 10 sites représentatifs du secteur																																	
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Usine</th> <th>Activité</th> <th>Milieu</th> <th>Surface</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SYCTOM Saint Ouen</td> <td>Centre d'incinération avec valorisation énergétique</td> <td>Urbain</td> <td>3,8 ha</td> </tr> <tr> <td>SYCTOM Ivry</td> <td>Centre multifilière Ivry – Paris XIII</td> <td>Urbain</td> <td>0,49 ha</td> </tr> <tr> <td>SYCTOM Isséane</td> <td>Centre multifilière</td> <td>Urbain</td> <td>0 ha</td> </tr> <tr> <td>SYCTOM Romainville</td> <td>Centre multifilière</td> <td>Urbain</td> <td>1,55 ha</td> </tr> <tr> <td>SIGIDURS Sarcelles</td> <td>Usine d'incinération</td> <td>Urbain</td> <td>0,63 ha</td> </tr> <tr> <td>SITA, Saint-Thibault-des-Vignes</td> <td>Usine d'incinération</td> <td>Périurbain</td> <td>0,65 ha</td> </tr> <tr> <td>VEOLIA ENVIRONNEME</td> <td>UIOM</td> <td>Rural</td> <td>0,27 ha</td> </tr> </tbody> </table>	Usine	Activité	Milieu	Surface	SYCTOM Saint Ouen	Centre d'incinération avec valorisation énergétique	Urbain	3,8 ha	SYCTOM Ivry	Centre multifilière Ivry – Paris XIII	Urbain	0,49 ha	SYCTOM Isséane	Centre multifilière	Urbain	0 ha	SYCTOM Romainville	Centre multifilière	Urbain	1,55 ha	SIGIDURS Sarcelles	Usine d'incinération	Urbain	0,63 ha	SITA, Saint-Thibault-des-Vignes	Usine d'incinération	Périurbain	0,65 ha	VEOLIA ENVIRONNEME	UIOM	Rural	0,27 ha	
Usine	Activité	Milieu	Surface																																
SYCTOM Saint Ouen	Centre d'incinération avec valorisation énergétique	Urbain	3,8 ha																																
SYCTOM Ivry	Centre multifilière Ivry – Paris XIII	Urbain	0,49 ha																																
SYCTOM Isséane	Centre multifilière	Urbain	0 ha																																
SYCTOM Romainville	Centre multifilière	Urbain	1,55 ha																																
SIGIDURS Sarcelles	Usine d'incinération	Urbain	0,63 ha																																
SITA, Saint-Thibault-des-Vignes	Usine d'incinération	Périurbain	0,65 ha																																
VEOLIA ENVIRONNEME	UIOM	Rural	0,27 ha																																

⁸⁷ Arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets non dangereux et aux installations incinérant des déchets d'activités de soins à risques infectieux.

	NT, Fourchambault			
	SITA, La Couronne	UIOM	Rural	0,54 ha
	COMPAGNIE DE CHAUFFAGE, La Tronche	UIOM	Périurbain	0,69 ha
	VON ROLL INOVA, Saint-Pantaléon-de-Larche	UIOM	Rural	1,36 ha
	Surface moyenne			1 ha

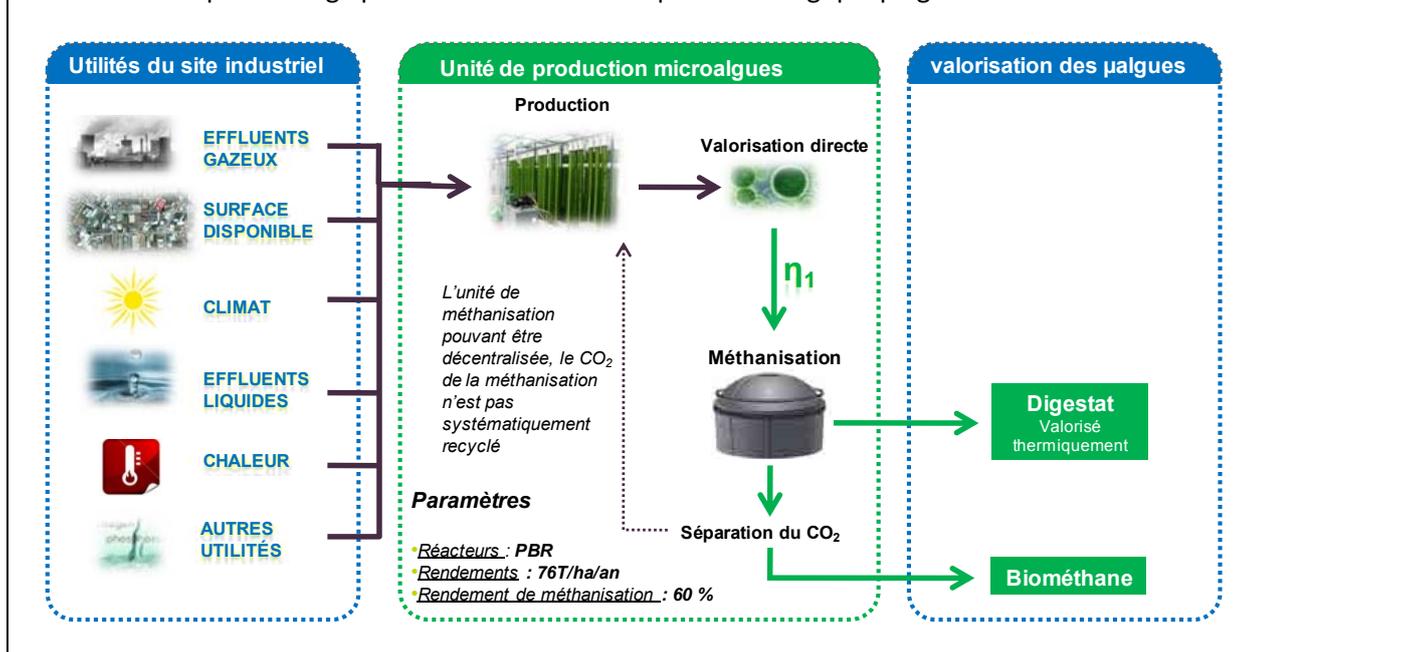
OPPORTUNITES UTILISATION MICROALGUES	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Energétique</u> : vecteur biométhane • <u>Non énergétique</u> : traitement des effluents gazeux essentiellement
---	--

PROBLEMATIQUES MAJEURES IDENTIFIEES	Contraintes règlementaires fortes du secteur concernant le traitement des effluents de type : NOx, SOx, particules et des eaux de procédé.
--	--

POTENTIEL DEVELOPPEMENT DES MICROALGUES A TERME	Horizon de déploiement	2020 – secteur à fort intérêt avec importante création de valeur
	Indice de potentiel de déploiement de la technologie	4/5
	<p><u>Vecteurs de déploiement</u> : Le traitement complémentaire des fumées d’incinération et le captage du CO₂ sont les principaux intérêts de la brique technologique microalgues pour ce secteur d’activité. La contrainte des quotas de CO₂ s’appliquant à cette industrie de moyenne puissance ne permettant pas l’implémentation de systèmes de captage et de stockage du CO₂, les algues apparaissent comme étant la seule technologie capable d’apporter une solution viable à ce secteur d’activité.</p> <p>La production sur site d’énergie verte contribue également à l’amélioration de l’image de ce secteur.</p>	

MODELE DE PRODUCTION DES MICROALGUES	Type de réacteur envisagé : PBR	L’objectif étant de traiter l’ensemble des fumées du site, des réacteurs à fort rendement surfacique ainsi que disposant d’un rendement de transfert des gaz maximal est requis.
	Rendements : 76 T/ha/an	Cf. Annexe 1

Schéma technique envisagé pour l’insertion de la brique technologique algues dans le secteur cde l’incinération :



MODELE TECHNIQUE DE PRODUCTION D'ENERGIE A PARTIR DES MICROALGUES	Type d'énergie produite	Biométhane – valorisable directement sur site (procédé industriel, flotte captive, ...) ou via injection réseau	
	Production de biométhane directement à base de microalgues	La biomasse peut être traitée très aisément par méthanisation ou co-méthanisation	
	Type de technologie de méthanisation	Méthanisation simple ou co-méthanisation	
	Rendement de méthanisation	60 %	Réf. : données internes GDF SUEZ validées expérimentalement
	Part de la biomasse algale produite entrant directement dans la filière énergie	$\eta_1 = 100 \%$	Part liée à un ajustement de la production au regard des besoins en énergie renouvelables

2. STEU

Description du secteur des stations de traitement des eaux usées																																															
CONTEXTE – ENJEUX	Les eaux usées sont toutes les eaux chargées de différents éléments de nature à polluer le milieu et provenant de la population mais également des activités commerciales et industrielles. Ces eaux sont traitées par le réseau d’assainissement urbain par une série de divers traitements.																																														
CARACTERISTIQUES EFFLUENTS	Les caractéristiques des effluents sont très différentes d’un site à l’autre.																																														
		Émissions globales en t/an	Émissions MTD	Compatibilité pour les µalgues																																											
	Effluents gazeux																																														
	CO ₂	A déterminer		✓																																											
	COV	A déterminer		ND																																											
	NOx	A déterminer		✓																																											
	Poussières totales	A déterminer		Filtration nécessaire																																											
	SOx	A déterminer		✓																																											
	Effluents liquides																																														
	DCO	A déterminer		✓																																											
	MES	A déterminer		ND																																											
	P	A déterminer		✓																																											
	COT	A déterminer		ND																																											
N _{tot}	A déterminer		✓																																												
REGLEMENTATION	Effluents gazeux : GIC, NEC, quotas CO ₂ Effluents liquides : DCE, REACH, PNAR																																														
TENDANCE DU SECTEUR SUR LE MARCHÉ FRANÇAIS	Stabilisation voire à la hausse																																														
CONSOMMATEUR DE GAZ NATUREL	oui																																														
NOMBRE DE SITES DE PRODUCTION ACTUELS EN FRANCE	18 830 sites Dont : - 3280 sites de plus de 2000 Equivalent habitants	Source : MEDDEM ⁸⁸																																													
SURFACE MOYENNE DISPONIBLE A PROXIMITE	2,5 ha	Source : moyenne sur 10 sites représentatifs du secteur																																													
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Usine</th> <th>Activité</th> <th>Milieu</th> <th>Surface</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SEINE AVAL ARCHERE</td> <td>STEU Archère</td> <td>Rural</td> <td>3 ha</td> </tr> <tr> <td>GRAND LYON</td> <td>STEU de Pierre-Bénite</td> <td>Urbain</td> <td>3,3 ha</td> </tr> <tr> <td>COMMUNAUTÉ DE COMMUNES LES CHATEAUX</td> <td>STEU de Archenheim</td> <td>Rural</td> <td>0,85 ha</td> </tr> <tr> <td>SEMEN</td> <td>STEU de Marquette</td> <td>Rural</td> <td>5 ha</td> </tr> <tr> <td>GRAND TOULOUSE</td> <td>STEU de Aussonnelle</td> <td>Rural</td> <td>1,2 ha</td> </tr> <tr> <td>COMMUNE DE BESANCON</td> <td>STEU de Port Douvot</td> <td>Rural</td> <td>1,5 ha</td> </tr> <tr> <td>SOCIÉTÉ DES EAUX DE L’ESSONNE</td> <td>STEU Evry</td> <td>Périurbain</td> <td>5,5 ha</td> </tr> <tr> <td>HALIOTIS</td> <td>STEU de Nice</td> <td>Urbain</td> <td>1,2 ha</td> </tr> <tr> <td>LE GRAND NARBONNE</td> <td>STEU de Narbonne</td> <td>Rural</td> <td>3,5 ha</td> </tr> <tr> <td>COMMUNAUTÉ D’AGGLOMÉRAT</td> <td>STEU de Goillard</td> <td>Rural</td> <td>1,8 ha</td> </tr> </tbody> </table>	Usine	Activité	Milieu	Surface	SEINE AVAL ARCHERE	STEU Archère	Rural	3 ha	GRAND LYON	STEU de Pierre-Bénite	Urbain	3,3 ha	COMMUNAUTÉ DE COMMUNES LES CHATEAUX	STEU de Archenheim	Rural	0,85 ha	SEMEN	STEU de Marquette	Rural	5 ha	GRAND TOULOUSE	STEU de Aussonnelle	Rural	1,2 ha	COMMUNE DE BESANCON	STEU de Port Douvot	Rural	1,5 ha	SOCIÉTÉ DES EAUX DE L’ESSONNE	STEU Evry	Périurbain	5,5 ha	HALIOTIS	STEU de Nice	Urbain	1,2 ha	LE GRAND NARBONNE	STEU de Narbonne	Rural	3,5 ha	COMMUNAUTÉ D’AGGLOMÉRAT	STEU de Goillard	Rural	1,8 ha	
Usine	Activité	Milieu	Surface																																												
SEINE AVAL ARCHERE	STEU Archère	Rural	3 ha																																												
GRAND LYON	STEU de Pierre-Bénite	Urbain	3,3 ha																																												
COMMUNAUTÉ DE COMMUNES LES CHATEAUX	STEU de Archenheim	Rural	0,85 ha																																												
SEMEN	STEU de Marquette	Rural	5 ha																																												
GRAND TOULOUSE	STEU de Aussonnelle	Rural	1,2 ha																																												
COMMUNE DE BESANCON	STEU de Port Douvot	Rural	1,5 ha																																												
SOCIÉTÉ DES EAUX DE L’ESSONNE	STEU Evry	Périurbain	5,5 ha																																												
HALIOTIS	STEU de Nice	Urbain	1,2 ha																																												
LE GRAND NARBONNE	STEU de Narbonne	Rural	3,5 ha																																												
COMMUNAUTÉ D’AGGLOMÉRAT	STEU de Goillard	Rural	1,8 ha																																												

⁸⁸ <http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr/>

		ION DE NIORT			
		Surface moyenne			2,7 ha
OPPORTUNITES UTILISATION MICROALGUES	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Energétique</u> : vecteur biométhane avec une visée de réaliser des unités autonomes en énergie • <u>Non énergétique</u> : traitement des effluents liquides 				
PROBLEMATIQUES MAJEURES IDENTIFIEES	<ul style="list-style-type: none"> • Contraintes règlementaires fortes du secteur concernant le traitement des effluents de type : NOx et des effluents liquides. • Acceptation publique difficile de ces unités. • Consommation d'énergie primaire importante 				
POTENTIEL DEVELOPPEMENT DES MICROALGUES A TERME	Horizon de déploiement		2020 – secteur à fort intérêt		
	Indice de potentiel de déploiement de la technologie		4/5		
	<u>Vecteurs de déploiement :</u> <ul style="list-style-type: none"> - Production d'énergie verte - Gestion des émissions de CO₂ issues des systèmes de séchage de boues - Traitement complémentaires des effluents riches en N et P 				
MODELE DE PRODUCTION DES MICROALGUES	Type de réacteur envisagé : Ponds couverts		Compte tenu des marges opérationnelles du secteur, des systèmes à bas coût semblent les plus appropriés au modèle d'affaire envisagé.		
	Rendements : 27 T/ha/an		Cf. Annexe 1		
Schéma technique envisagé pour l'insertion de la brique technologique µalgues dans le secteur du traitement des eaux usées :					
<p>Utilités du site industriel</p> <ul style="list-style-type: none"> EFFLUENTS GAZEUX SURFACE DISPONIBLE CLIMAT EFFLUENTS LIQUIDES CHALEUR AUTRES UTILITES <p>Unité de production microalgues</p> <p>Production</p> <p>Valorisation directe</p> <p>Méthanisation</p> <p>Déchets organiques</p> <p>Paramètres</p> <ul style="list-style-type: none"> Réacteurs : Ponds Rendements : 27 T/ha/an Rendement de méthanisation : 60 % <p>Séparation du CO₂</p> <p>valorisation des µalgues</p> <p>Biométhane</p>					
MODELE TECHNIQUE DE PRODUCTION D'ENERGIE A PARTIR DES MICROALGUES	Type d'énergie produite	Biométhane – valorisable directement sur site (procédé industriel, flotte captive, ...) ou via injection réseau.			
	Production de biométhane directement à base de microalgues	La biomasse peut être traitée très aisément par méthanisation ou co-méthanisation.			

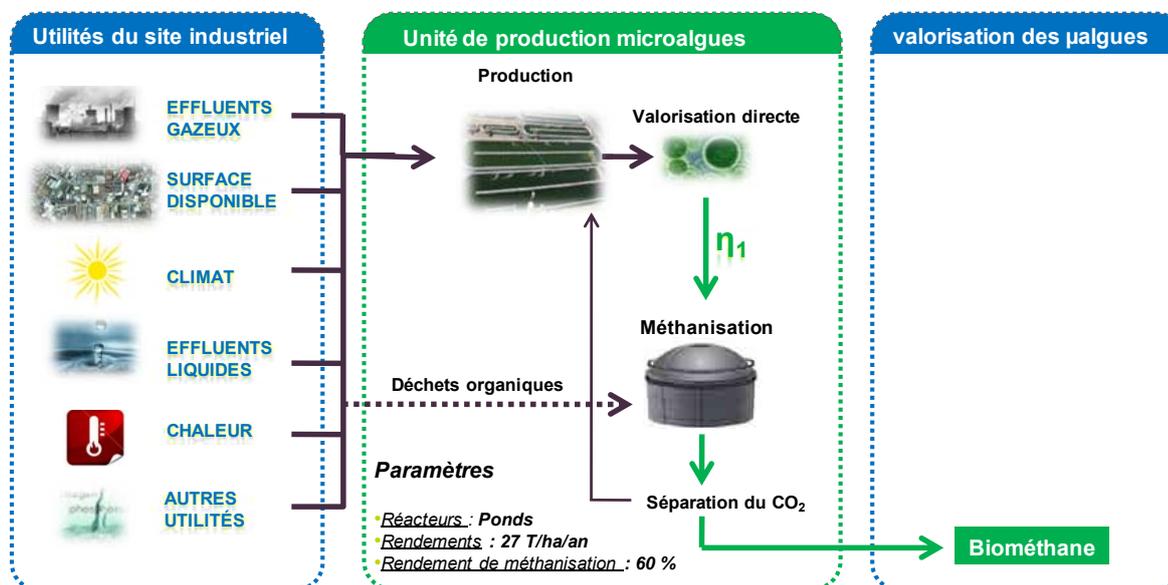
	Type de technologie de méthanisation	Méthanisation simple ou co-méthanisation	
	Rendement de méthanisation	60%	Réf. : données internes GDF SUEZ validées expérimentalement
	Part de la biomasse algale produite entrant directement dans la filière énergie	$\eta_1 = 100\%$	Part liée à un ajustement de la production au regard des besoins en énergie renouvelables

3. ISDND

Description du secteur des Installations de stockage de déchets non dangereux					
CONTEXTE – ENJEUX	Les ISDND accueillent la part résiduelle des déchets non dangereux des ménages et des entreprises.				
CARACTERISTIQUES EFFLUENTS	Les caractéristiques des effluents liquides sont très différentes d'un site à l'autre.				
		Émissions globales en t/an	Émissions MTD	Compatibilité pour les algues	
	Effluents gazeux				
	CO ₂	moyenne à fixer		✓	
	COV	moyenne à fixer		ND	
	NOx	moyenne à fixer		✓	
	Poussières totales	moyenne à fixer		Filtration nécessaire	
	SOx	moyenne à fixer		✓	
	Effluents liquides				
	DCO	moyenne à fixer		ND	
	MES	moyenne à fixer		ND	
	P	moyenne à fixer		✓	
	COT	moyenne à fixer		ND	
	N _{tot}	moyenne à fixer		✓	
REGLEMENTATION	Effluents gazeux : GIC, NEC Effluents liquides : DCE, REACH, PPAR				
TENDANCE DU SECTEUR SUR LE MARCHÉ FRANÇAIS	A la baisse				
CONSOMMATEUR DE GAZ NATUREL	non	Source : SITA Fr			
NOMBRE DE SITES DE PRODUCTION ACTUELS EN FRANCE	256 sites (capacité supérieure à 2500 T/an)		Source : MEDDEM		
SURFACE MOYENNE DISPONIBLE A PROXIMITE	13 ha	Source : moyenne sur 10 sites représentatifs du secteur			
		Usine	Activité	Milieu	Surface
		VEOLIA ENVIRONNEMENT, Le Plessis-Gassot	ISDND	Rural	4,9 ha
		VALEST, Montreuil-sur-Barse	ISDND	Rural	5 ha
		SITA, Bourges	ISDND	Périurbain	1,9 ha
		COMMUNAUTÉ DU PAYS DE LORIENT, Inzinzac-Lochrist	ISDND	Rural	6,7 ha
		SITA ILE DE France, Brueil en Vexin	ISDND	Rural	3 ha
		SITA ILE DE France ET OISE, Saint-Maximin	ISDND	Rural	80 ha
		SITA ILE DE France ET OISE, Villeneuve-sur-Verberie	ISDND	Rural	13,5 ha
		SITA ILE DE France ET OISE, Liancourt Saint Pierre	ISDND	Rural	3,2 ha
		SITA ILE DE France ET OISE, Crépy-en-Valois	ISDND	Rural	7,5 ha
		SITA ILE DE France, Attainville	ISDND	Rural	6,8 ha
Surface moyenne			13,3 ha		
OPPORTUNITES	<ul style="list-style-type: none"> Énergétique : vecteur biométhane 				

UTILISATION MICROALGUES	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Non énergétique</u> : traitement des effluents liquides et gazeux 	
PROBLEMATIQUES MAJEURES IDENTIFIEES	<ul style="list-style-type: none"> • Contraintes règlementaires fortes du secteur concernant le traitement des effluents de type : NOx et des lixiviats et des eaux de pluie captées • Fort déficit d’image auprès du public, besoin d’énergies renouvelables, valorisation des sites après enfouissement. 	
POTENTIEL DEVELOPPEMENT DES MICROALGUES A TERME	Horizon de déploiement	2020 – secteur à fort intérêt
	Indice de potentiel de déploiement de la technologie	4/5
	Vecteurs de déploiement : <ul style="list-style-type: none"> - Traiter les eaux résiduaires et les eaux de pluie - Apporter un complément d’énergie verte au procédé de traitement et à l’alimentation des engins mécaniques et des bennes à ordures - Valoriser au mieux les sites industriels 	
MODELE DE PRODUCTION DES MICROALGUES	Type de réacteur envisagé : Ponds couverts	Compte tenu de la surface disponible et des quantités nécessaires, ces réacteurs semblent les plus appropriés au modèle d’affaire envisagé
	Rendements : 27 T/ha/an	Cf. Annexe 1

Schéma technique envisagé pour l’insertion de la brique technologique algues dans le secteur du stockage des déchets non dangereux :



MODELE TECHNIQUE DE PRODUCTION D'ENERGIE A PARTIR DES MICROALGUES	Type d'énergie produite	Biométhane – valorisable directement sur site (procédé industriel, flotte captive, ...) ou via injection réseau
	Production de biométhane directement à base de microalgues	La biomasse peut être traitée très aisément par méthanisation ou co-méthanisation
	Type de technologie de méthanisation	Méthanisation simple ou co-méthanisation

	Rendement de méthanisation	60 %	Réf. : données internes GDF SUEZ validées expérimentalement
	Part de la biomasse algale produite entrant directement dans la filière énergie	$\eta_1 = 100\%$	Part liée à un ajustement de la production au regard des besoins en énergie renouvelables

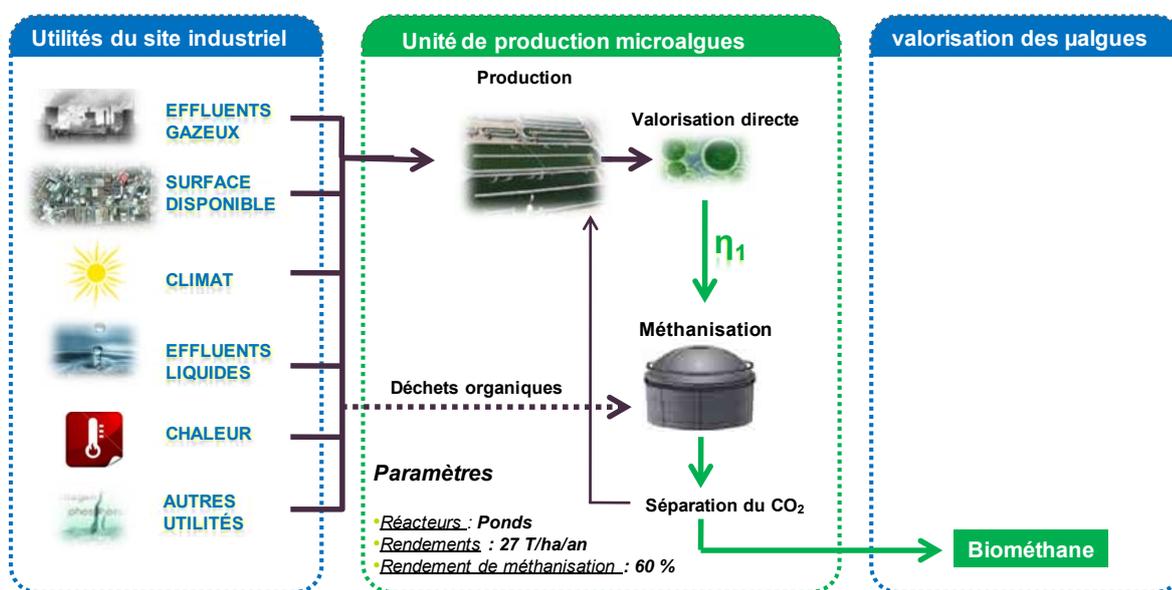
4. ISDD

Description du secteur des Installations de Stockage de Déchets Dangereux																																																			
CONTEXTE – ENJEUX	Les ISDD accueillent les déchets dangereux. Un déchet est classé dangereux quand il possède une ou plusieurs des 14 propriétés de danger énumérées à l'annexe 1 du décret du 18 avril 2002 : explosif, nocif, cancérigène, mutagène ⁸⁹ .																																																		
CARACTERISTIQUES EFFLUENTS	Les caractéristiques des effluents liquides sont très différentes d'un site à l'autre.																																																		
		Émissions globales en t/an	Émissions MTD	Compatibilité pour les µalgues																																															
	Effluents gazeux																																																		
	CO ₂	moyenne à fixer		✓																																															
	COV	moyenne à fixer		ND																																															
	NOx	moyenne à fixer		✓																																															
	Poussières totales	moyenne à fixer		Filtration nécessaire																																															
	SOx	moyenne à fixer		✓																																															
	Effluents liquides																																																		
	DCO	moyenne à fixer		ND																																															
	MES	moyenne à fixer		ND																																															
	P	moyenne à fixer		✓																																															
	COT	moyenne à fixer		inconnue																																															
N _{tot}	moyenne à fixer		✓																																																
REGLEMENTATION	Effluents gazeux : GIC, NEC, quotas CO ₂ Effluents liquides : DCE, REACH, PNAR																																																		
TENDANCE DU SECTEUR DUR LE MARCHE FRANÇAIS	A la baisse																																																		
CONSOMMATEUR DE GAZ NATUREL	oui																																																		
NOMBRE DE SITES DE PRODUCTION ACTUELS EN FRANCE	16 sites	Source : SUEZ ENVIRONNEMENT																																																	
SURFACE MOYENNE DISPONIBLE A PROXIMITE	9 ha	Source : moyenne sur 10 sites représentatifs du secteur																																																	
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Usine</th> <th>Activité</th> <th>Milieu</th> <th>Surface</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SOLICENDRE, Argences</td> <td>ISDD</td> <td>Rural</td> <td>9,9 ha</td> </tr> <tr> <td>SITA, Drambon</td> <td>ISDD</td> <td>Rural</td> <td>14,5 ha</td> </tr> <tr> <td>SITA FD, Villeparisis</td> <td>ISDD</td> <td>Périurbain</td> <td>18 ha</td> </tr> <tr> <td>SITA FD, Bellegarde</td> <td>ISDD</td> <td>Rural</td> <td>9 ha</td> </tr> <tr> <td>SITA France, Vaivre et Montoille</td> <td>ISDD</td> <td>Rural</td> <td>6,3 ha</td> </tr> <tr> <td>SITA, Saint-Marcel</td> <td>ISDD</td> <td>Rural</td> <td>16,7 ha</td> </tr> <tr> <td>SITA FD, Jeandelaincourt</td> <td>ISDD</td> <td>Rural</td> <td>7,6 ha</td> </tr> <tr> <td>SECHE ECO-INDUSTRIES, Change</td> <td>ISDD</td> <td>Rural</td> <td>3,9 ha</td> </tr> <tr> <td>SEDA/SITA FD, Champteuss-sur-Baconne</td> <td>ISDD</td> <td>Rural</td> <td>0,85 ha</td> </tr> <tr> <td>SOLITOP/EMTA, Saint-Cyr-des-Gâts</td> <td>ISDD</td> <td>Rural</td> <td>6,5 ha</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Surface moyenne</td> <td>9,3 ha</td> </tr> </tbody> </table>	Usine	Activité	Milieu	Surface	SOLICENDRE, Argences	ISDD	Rural	9,9 ha	SITA, Drambon	ISDD	Rural	14,5 ha	SITA FD, Villeparisis	ISDD	Périurbain	18 ha	SITA FD, Bellegarde	ISDD	Rural	9 ha	SITA France, Vaivre et Montoille	ISDD	Rural	6,3 ha	SITA, Saint-Marcel	ISDD	Rural	16,7 ha	SITA FD, Jeandelaincourt	ISDD	Rural	7,6 ha	SECHE ECO-INDUSTRIES, Change	ISDD	Rural	3,9 ha	SEDA/SITA FD, Champteuss-sur-Baconne	ISDD	Rural	0,85 ha	SOLITOP/EMTA, Saint-Cyr-des-Gâts	ISDD	Rural	6,5 ha	Surface moyenne			9,3 ha	
Usine	Activité	Milieu	Surface																																																
SOLICENDRE, Argences	ISDD	Rural	9,9 ha																																																
SITA, Drambon	ISDD	Rural	14,5 ha																																																
SITA FD, Villeparisis	ISDD	Périurbain	18 ha																																																
SITA FD, Bellegarde	ISDD	Rural	9 ha																																																
SITA France, Vaivre et Montoille	ISDD	Rural	6,3 ha																																																
SITA, Saint-Marcel	ISDD	Rural	16,7 ha																																																
SITA FD, Jeandelaincourt	ISDD	Rural	7,6 ha																																																
SECHE ECO-INDUSTRIES, Change	ISDD	Rural	3,9 ha																																																
SEDA/SITA FD, Champteuss-sur-Baconne	ISDD	Rural	0,85 ha																																																
SOLITOP/EMTA, Saint-Cyr-des-Gâts	ISDD	Rural	6,5 ha																																																
Surface moyenne			9,3 ha																																																
OPPORTUNITES UTILISATION MICROALGUES	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Energétique</u> : vecteur biométhane • <u>Non énergétique</u> : traitement des effluents liquides et gazeux 																																																		
PROBLEMATIQUES MAJEURES IDENTIFIEES	Contraintes réglementaires fortes du secteur concernant le traitement des effluents de type : NOx et des effluents liquides.																																																		

⁸⁹ http://www.sita.fr/catalogue_sita/waste-book/appli.htm

POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT DES MICROALGUES A TERME	Horizon de déploiement	2050 – secteur à intérêt intermédiaire
	Indice de potentiel de déploiement de la technologie	3/5
	Vecteurs de déploiement : <ul style="list-style-type: none"> - Traiter les eaux résiduaires et les eaux de pluie - Apporter un complément d'énergie verte au procédé de traitement et à l'alimentation des engins mécaniques et des bennes à ordures - Valoriser au mieux les sites industriels 	
MODELE DE PRODUCTION DES MICROALGUES	Type de réacteur envisagé : Ponds couverts	Compte tenu de la surface disponible et des quantités nécessaires, ces réacteurs semblent les plus appropriés au modèle d'affaire envisagé
	Rendements : 27 T/ha/an	Cf. Annexe 1

Schéma technique envisagé pour l'insertion de la brique technologique algues dans le secteur du stockage des déchets dangereux :

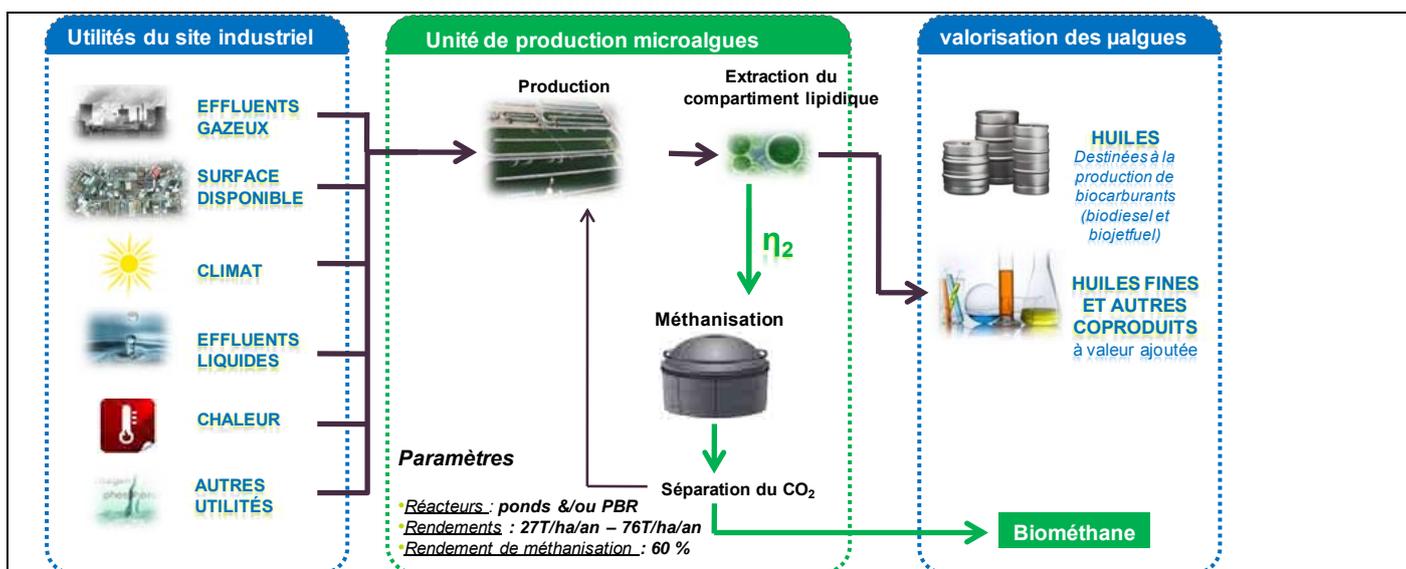


MODELE TECHNIQUE DE PRODUCTION D'ENERGIE A PARTIR DES MICROALGUES	Type d'énergie produite	Biométhane – valorisable directement sur site (procédé industriel, flotte captive, ...) ou via injection réseau	
	Production de biométhane directement à base de microalgues	La biomasse peut être traitée très aisément par méthanisation ou co-méthanisation	
	Type de technologie de méthanisation	Méthanisation simple ou co-méthanisation	
	Rendement de méthanisation	60%	Réf. : données internes GDF SUEZ validées expérimentalement
	Part de la biomasse algale produite entrant directement dans la filière énergie	η₁ = 100 %	Part liée à un ajustement de la production au regard des besoins en énergie renouvelables

Autres secteurs

1. Industries décentralisées de production de biodiesel et Jetfuel de 3^{ème} génération

Description du secteur décentralisé de production de biodiesel et jetfuel de 3 ^{ème} génération		
CONTEXTE – ENJEUX	Ce secteur inexistant en 2012 est destiné à produire des biocarburants liquides de type biodiesel et jetfuel à destination de manière décentralisée à destination de flottes de véhicules ou d'aéroports	
CARACTERISTIQUES EFFLUENTS	/	
REGLEMENTATION	/	
TENDANCE DU SECTEUR SUR LE MARCHÉ FRANÇAIS	/	
CONSOMMATEUR DE GAZ NATUREL	/	
NOMBRE DE SITES DE PRODUCTION ACTUELS EN FRANCE	0 sites	Prospective : 30 sites
SURFACE MOYENNE DISPONIBLE A PROXIMITE	500 ha	Source : projections IEED GreenStars
OPPORTUNITES UTILISATION MICROALGUES	<u>Energétique</u> : vecteur biométhane + biodiesel	
PROBLEMATIQUES MAJEURES IDENTIFIEES	/	
POTENTIEL DEVELOPPEMENT DES MICROALGUES A TERME	Horizon de déploiement	2050 – secteur à intérêt intermédiaire
	Indice de potentiel de déploiement de la technologie	3/5
	<u>Vecteurs de déploiement</u> : Contrainte sur les énergies fossiles impose le développement de biocarburants de 2 ^e et 3 ^e générations.	
MODELE DE PRODUCTION DES MICROALGUES	Type de réacteur envisagé : Ponds couverts et/ou PBR	Une affectation des technologies les plus prometteuses a été réalisée en fonction de la situation géographique et de la difficulté d'accéder à du foncier ou à des surfaces exposées à la lumière.
	Rendements : - Pond : 27 T/ha/an - PBR : 76 T/ha/an	Cf. Annexe 1
Schéma technique envisagé pour l'insertion de la brique technologique algues dans le secteur de la production décentralisée des biocarburants :		



MODELE TECHNIQUE DE PRODUCTION D'ENERGIE A PARTIR DES MICROALGUES	Type d'énergie produite	Biométhane – valorisable directement sur site (procédé industriel, flotte captive, ...) ou via injection réseau	
	Production de biométhane directement à base de microalgues	La biomasse peut être traitée très aisément par méthanisation ou co-méthanisation	
	Type de technologie de méthanisation	Méthanisation simple ou co-méthanisation	
	Rendement de méthanisation	60%	Réf. : données internes GDF SUEZ validées expérimentalement
	Part de la biomasse algale produite entrant directement dans la filière énergie	$\eta_1 = 0\%$	La filière étant destinée à la production de biocarburants de 3 ^e génération à partir de la fraction lipidique des microalgues, aucune valorisation directe en biométhane n'est envisagée.
	Part de la biomasse algale disponible sous forme de reliquat et entrant dans la filière énergie	$\eta_2 = 66\%$	Reliquat restant après l'utilisation de la fraction lipidique pour la production de biocarburants liquides.
	Production de biodiesel à partir de microalgues	Pour un rendement de 27-76 t MS biomasse algale/ha/an, la productivité en biodiesel serait de 6700 à 18900 L biodiesel/ha/an ⁹⁰ soit $3,35 \cdot 10^6$ à $9,45 \cdot 10^6$ L biodiesel/an pour une ferme de microalgues de 500 ha ce qui représente un potentiel de 31,6 à 89 GWh/an.	

⁹⁰ En considérant les hypothèses suivantes :

- Fraction lipidique biomasse = 30 %
- Rendement extraction lipides = 95 %
- Rendement trans-estérification = 98 %
- Triglycérides = 80 % des lipides totaux
- Masse volumique huile = 911 g/L
- PCI biodiesel = 9,2 kWh/L

**Avec vous,
en réseau**

