



RAPPORT

ETUDE DU POTENTIEL DE CONSOMMATION DE CO₂ BIOGENIQUE DE METHANISATION SUR LE TERRITOIRE DE SEINE-ET-MARNE

Rapport final

Février 2025

Département de Seine-et-Marne

seine 77
&marne
LE DÉPARTEMENT



natran



CLIENT

RAISON SOCIALE	Département de Seine-et-Marne
COORDONNÉES	Hôtel du département 12 rue des Saints-Pères 77000 Melun
INTERLOCUTEUR (nom et coordonnées)	Madame Sophie KUHN Tél. 01 64 14 79 45 / 06 46 52 25 29 sophie.kuhn@departement77.fr

S3d Ingénierie

COORDONNÉES	4, rue Viviani – CS26220 44262 NANTES Cedex 2 Tél. 02.51.17.82.94 - Fax 02.51.13.57.65 E-mail : contact@sol3d.com
INTERLOCUTEUR (nom et coordonnées)	Mme Carolina ROJAS Tél. 02 51 17 82 97 / +33 6 16 17 97 68 E-mail : rojas@sol3d.com

SIGNATAIRE

Numéro Omega	DATE	RÉVISION DU DOCUMENT	OBJET DE LA RÉVISION	RÉDACTEUR	CONTRÔLE QUALITÉ
241015	21/02/25	Version 1	Création	NLO/CRO	CRO



RAPPORT

ETUDE DU POTENTIEL DE CONSOMMATION DE CO2 BIOGENIQUE DE METHANISATION SUR LE TERRITOIRE DE SEINE-ET-MARNE

Rapport de phases 1, 2 et 3

Département de Seine-et-Marne



Sommaire

1. Contexte de l'étude.....	8
2. Avant-propos	9
2.1. Valorisation de CO₂ issue des unités de méthanisation	9
2.2. État des lieux des foyers de consommation de CO₂ en France	11
2.1. Référentiels qualité autour du CO₂.....	12
2.2. Méthodologie de l'étude	13
2.2.1. Producteurs de bioCO ₂	13
2.2.2. Consommateurs de CO ₂	13
3. État des lieux des producteurs de bioCO₂	16
3.1. Producteurs potentiels de bioCO₂ du territoire	16
3.1.1. Bilan du potentiel de production de bioCO ₂ du territoire.....	16
3.2. Fournisseurs historiques de CO₂.....	20
3.2.1. Nippon Gases	20
3.2.2. Air Liquide	21
4. Modèles alternatifs	22
4.1. Interconnexion de méthaniseurs	22
4.2. Coopérative de producteurs (CAPCOO)	22
4.3. Gestion centralisée (Verdemobil).....	23
5. Etat des lieux des consommateurs de bioCO₂.....	26
5.1. Avant-propos sur les utilisations du CO₂.....	26
5.2. Formes d'utilisation du CO₂.....	29
5.2.1. Utilisation du CO ₂ liquide	29
5.2.2. Utilisation du CO ₂ en glace carbonique.....	30
5.3. Secteurs d'utilisation du CO₂.....	31

5.3.1. Utilisation du CO ₂ en serre maraichère.....	31
5.3.2. Utilisation du CO ₂ en milieu hospitalier	34
5.3.3. Utilisation du CO ₂ pour le traitement de l'eau.....	35
5.3.4. Utilisation du CO ₂ pour la séquestration CCS.....	36
5.3.5. Utilisations autres	37
5.4. Récapitulatif des besoins identifiés en bioCO₂.....	38
5.5. Cartographie des consommateurs de CO₂	38
5.6. Intérêts pour les entreprises à passer au bioCO₂	41
6. Enquêtes auprès des exploitants méthaniseurs.....	42
6.1. Etat des lieux de la situation	43
6.2. Motivations émergentes à la valorisation du BioCO ₂ produit	43
7. Identification des premiers freins liés au développement de la filière.....	45
7.1. Aspects économiques	45
7.2. Contraintes techniques et opérationnelles.....	45
7.3. Partenariats et marché	46
7.4. Réglementation et certification	46
8. Identification des premiers leviers au développement de la filière.....	47
8.1. Optimisation des processus et partenariats	47
8.2. Soutien économique et institutionnel	48
8.3. Développement des marchés émergents	48
9. Principaux chiffres clefs en synthèse	50

Liste des figures

Figure 1 : Etapes de production de BioCO₂ issu de méthanisation	9
Figure 2 : Application industrielles de CO₂ et niveaux de maturité (Techniques de l'ingénieur, 2022).....	10
Figure 3 : Foyers de consommation de CO₂ en France (ENEA Consulting - GRDF 2019).....	11
Figure 4 : Domaines d'application du CO₂ en France (CSF NSE CTBM – 2023).....	11
Figure 13 : Analyseur de CO₂ – Carboscan (MD CO₂)	13
Figure 5 : Cartographie par type de producteur (Base de données Dept Seine et Marne).....	17
Figure 6 : Cartographie par Volume de production de BioCO₂ (Données Dept Seine et Marne, et Données S3d)	18
Figure 7 : Bioraffinerie de Grandpuits	19
Figure 8 : Carte des projets de production de CO₂ avec coopérative de production	23
Figure 9 : Sites de valorisation de bioCO₂ de Verdemobil en France	25
Figure 10 : Module de valorisation du bioCO₂ de Verdemobil	25
Figure 11 : Principaux secteurs de consommation de CO₂ (SiaPartners, Les nouveaux usages du CO₂, 2019)	27
Figure 12 : Principaux domaines de consommation et production françaises de CO₂ (SiaPartners, Les nouveaux usages du CO₂, 2019)	28
Figure 14 : CO₂ sous forme de glace carbonique	31
Figure 16 : Cartographie par catégories de consommateurs de CO₂ > 10 t/ an	39
Figure 17 : Cartographie par volumes de consommation de CO₂ > 10 t/an	40
Figure 18 : Extrait des résultats du questionnaire aux exploitants sur la connaissance au sujet de la séquestration du CO₂	44

Liste des tableaux

Tableau 1 : Listes des entretiens qualitatifs réalisés par S3d Ingénierie.....	15
Tableau 2 : Liste des producteurs de CO₂ et capacités de productions de CO₂ correspondantes.....	18
Tableau 3 : Référentiels qualité autour du CO₂.....	12
Tableau 4 : Entreprises recensées sur le territoire du 77 consommant du CO₂ liquide.....	29
Tableau 5 : Entreprises recensées sur le territoire du 77 consommant du CO₂ sous forme de glace carbonique.....	30
Tableau 6 : VLEP et valeurs critiques pour les plantes de certains composés potentiellement présents dans les effluents gazeux à injecter dans les serres.....	32
Tableau 7 : Spécifications retenues pour les effluents gazeux injectés dans les serres	32
Tableau 8 : Serres maraichères recensées sur le territoire du 77	33
Tableau 9 : Hopitaux et cliniques recensées sur le territoire du 77	34
Tableau 10 : Liste des usines de traitement d'eau contactées dans le cadre de cette étude	35
Tableau 11 : Références de Neustark de développement de leur processus de carbonatation	36
Tableau 12 : Bilan des potentiels de consommation de CO₂ estimés sur le territoire du 77 selon les formes de CO₂ requises.....	38
Tableau 13 : Liste des consommateurs potentiels de CO₂ identifiés sur le territoire du 77.....	40
Tableau 14 : Liste des exploitants méthaniseurs ayant répondu au questionnaire	42

1. Contexte de l'étude

En 2020, le Département de Seine-et-Marne s'est engagé pour accompagner la transition vers une énergie verte, décarbonée et renouvelable, en initiant une politique partenariale en faveur de la production de biométhane : CapMétha77. Cette politique fédère et engage à travers une charte 9 acteurs, le Département, la Préfecture du Département, l'ADEME, la Région Ile-de-France, la Chambre d'agriculture de région Ile-de-France, le Syndicat départemental des énergies de Seine-et-Marne (SDESM), l'Association des Maires et des Présidents d'EPCI de Seine-et-Marne (AMF77), GRDF et GRTgaz, sur 2 grands objectifs : atteindre 75% d'autonomie gaz pour les usages résidentiels à horizon 2030 par la production de biométhane issu principalement d'une méthanisation agricole et contribuer à une mobilité décarbonée par le soutien au développement du bioGNV. Dans un contexte de hausse global des coûts, la filière a vocation à trouver de nouveaux débouchés permettant une plus-value économique de ses externalités. La valorisation du CO₂, jusqu'alors sous-exploitée, devient alors une piste inévitable pour améliorer la compétitivité de la filière.

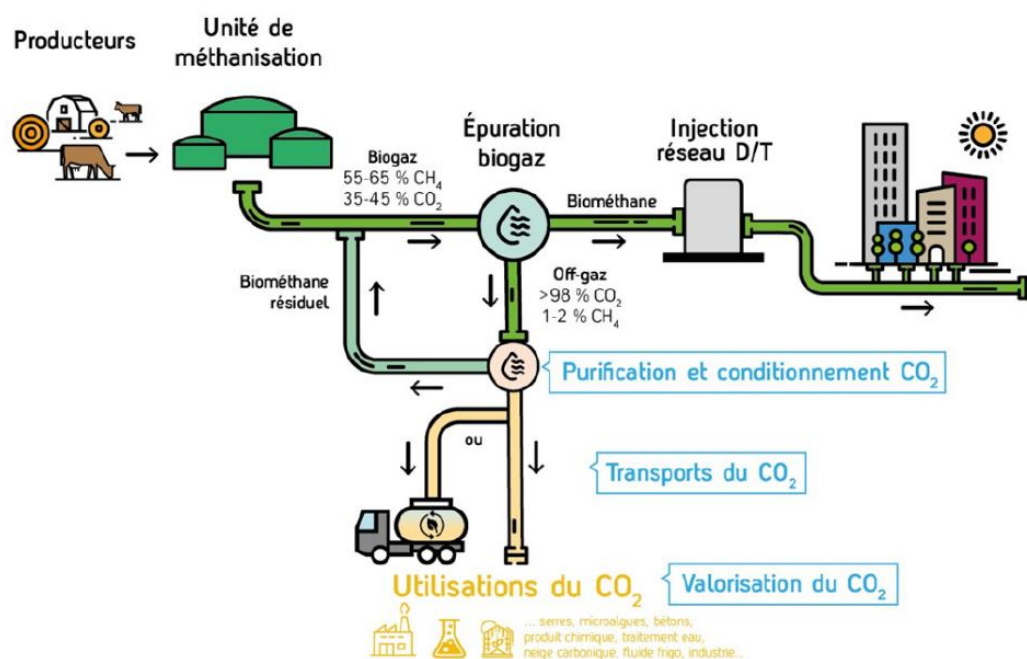
Dans ce cadre, S3d Ingénierie a été missionné pour réaliser une étude du potentiel de consommation de CO₂ biogénique de méthanisation sur le territoire de Seine-et-Marne. Dans la première phase de cette étude, S3d Ingénierie a réalisé **un état des lieux territorialisé et sectorialisé des consommateurs de CO₂** par le biais d'une enquête terrain dans le but d'identifier les volumes approximatifs de CO₂ consommés par le territoire de Seine-et-Marne, les états du CO₂ (solide, liquide, neige carbonique, ...), les secteurs d'activités et l'évolution de ces consommations à horizon 2030. Cette enquête a été complétée par des échanges avec des importants fournisseurs actuels de CO₂ (Air Liquide, Nippon Gases, ...). L'objectif de la seconde phase a ensuite été d'**identifier l'intérêt des porteurs de projets et exploitants méthaniseurs à s'engager dans la valorisation du BioCO₂ produit par leurs sites**. En effet, certains producteurs n'ont jamais envisagé la valorisation de ce co-produit alors que d'autres ont déjà engagé des réflexions voire des démarches à ce sujet. L'ensemble de ces entretiens permettront de **préciser de premiers freins et leviers autour du développement des projets de valorisation du BioCO₂ sur le territoire**.

2. Avant-propos

2.1. Valorisation de CO₂ issue des unités de méthanisation

La **méthanisation** est un procédé de valorisation énergétique de déchets fermentescibles. Dans un milieu privé d'oxygène, dit anaérobie, et chauffé, la matière organique se dégrade et produit un biogaz composé principalement de méthane (50 – 70 %) et de dioxyde de carbone (20 – 50 %), ainsi que du digestat. Avant injection, le biogaz subit une étape d'épuration afin d'obtenir un biométhane chargé à minimum 97,5 % en CH₄. Cette étape d'épuration libère alors des off-gaz chargés en CO₂. Ces off-gaz sont usuellement rejetés à l'atmosphère, le CO₂ étant considéré comme biogénique. Il est alors possible de récupérer ce CO₂, de le purifier afin d'atteindre les spécifications qualité requises selon ses usages finaux, et de le liquéfier afin de faciliter son stockage et son transport.

Le schéma ci-dessous représente les différentes étapes de production de BioCO₂ (co-produit) par une unité de méthanisation :



GRDF ©

FIGURE 1 : ETAPES DE PRODUCTION DE BIOCO₂ ISSU DE MÉTHANISATION

La présente étude porte donc sur ce CO₂ produit par méthanisation et ses potentielles utilisations industrielles sur le territoire de Seine-et-Marne.

Bien que les applications industrielles du CO₂ soient nombreuses, on distingue trois types de valorisation du CO₂ selon la manière de l'utiliser :

- Utilisation **directe** sans transformation (Extraction, stérilisation, solvant, réfrigérant, agroalimentaire, traitement de l'eau)
- Valorisation par **voie chimique**, mettant en jeu une réaction du CO₂ pour générer un produit valorisable (minéralisation, carboxylation, hydrogénation, reformage)

- Valorisation par **voie biologique** par l'intermédiaire de la photosynthèse (culture sous serre, culture de microalgues) pour générer de la biomasse ou synthétiser des produits d'intérêt.

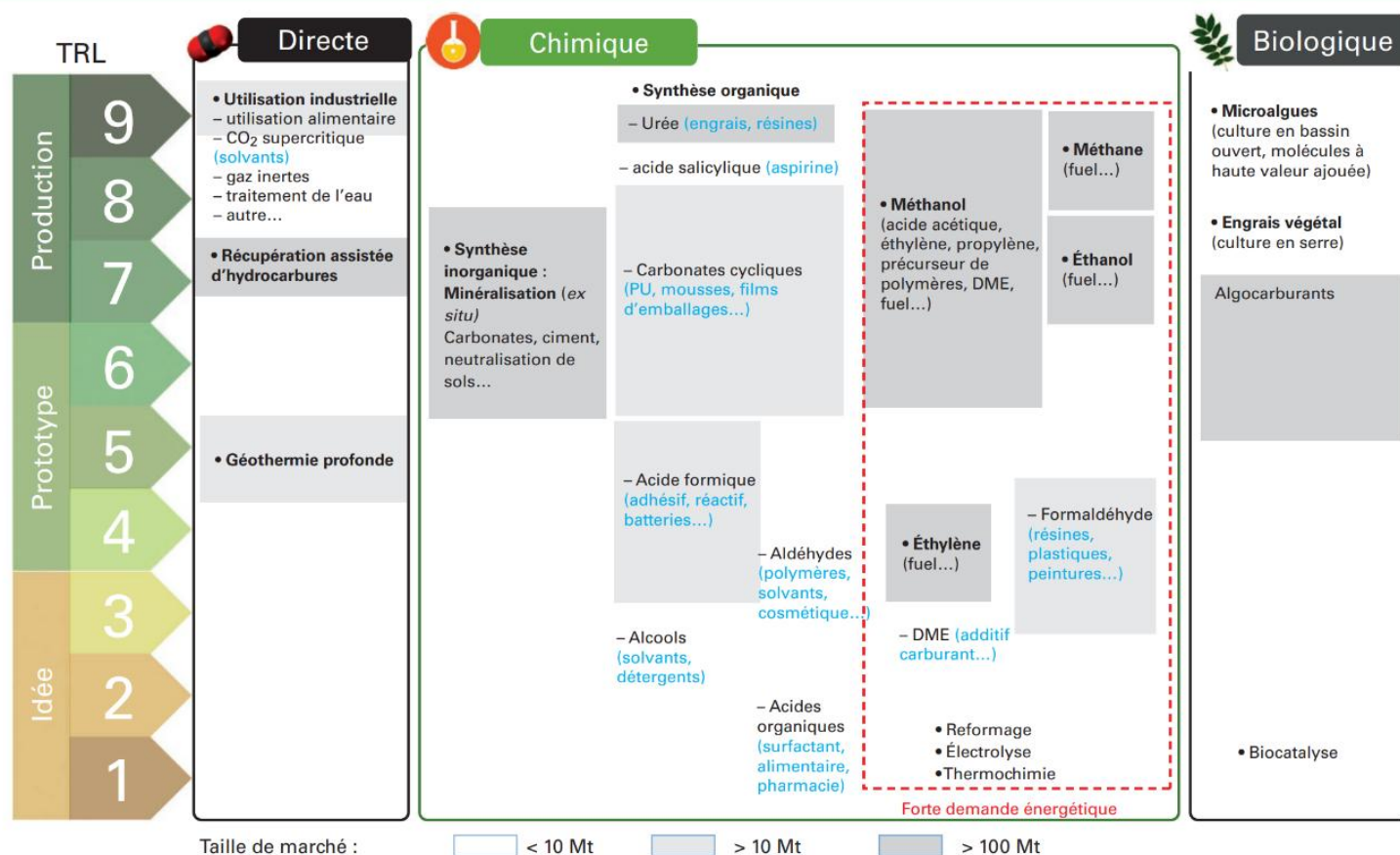


FIGURE 2 : APPLICATION INDUSTRIELLES DE CO₂ ET NIVEAUX DE MATURITÉ (TECHNIQUES DE L'INGÉNIEUR, 2022)

Le bioCO₂ peut être utilisé dans différentes applications industrielles pour lesquelles la liquéfaction peut être nécessaire pour faciliter son transport et son usage. Ci-dessous un résumé d'un procédé de liquéfaction :

- ▶ Une compression du CO₂ purifié à 20 bar atmosphérique
- ▶ Une liquéfaction partielle par un groupe froid capable de réduire sa température à -30°C. Cela permet de le liquéfier en grande partie, laissant un gaz riche en méthane en sortie de liquéfaction
- ▶ Une distillation du mélange CO₂/CH₄ liquéfié (99% CO₂, 0,7% CH₄) pour purifier le CO₂. La pureté du CO₂ sortant de la colonne est de l'ordre de l'ordre de 99,99%.
- ▶ Un stockage du CO₂ liquide à 20 bars et -20°C.

Les données économiques fournies par Verdemobil entraînent un prix de revient, hors coût de transport, du CO₂ de 68 €/t. Le prix moyen d'achat du CO₂ sur le marché est de 100 €/t. La vente de CO₂ liquéfié de grade alimentaire présente donc un intérêt économique mais qui peut-être plus ou moins grevé par les coûts de transport.

2.2. État des lieux des foyers de consommation de CO₂ en France

La carte suivante représente les différents foyers de consommation du CO₂ en France. En termes d'ordres de grandeur l'indicatif global de consommation au niveau national est entre 500 et 600 kt de CO₂ par an.

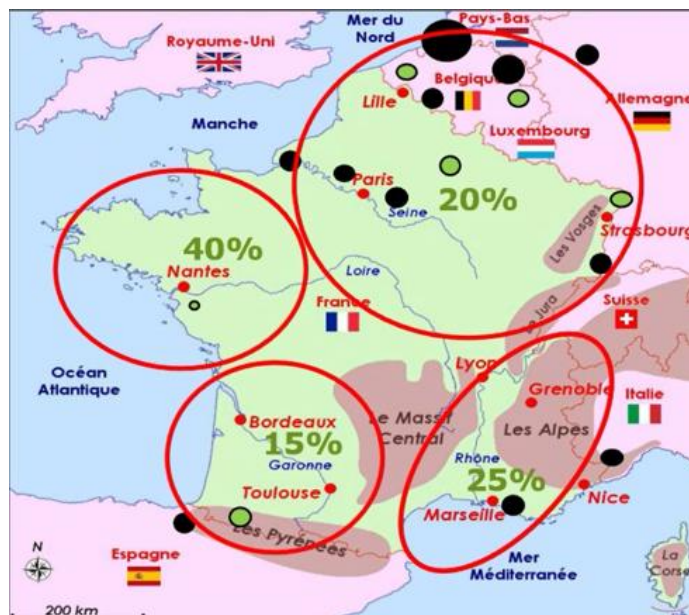


FIGURE 3 : FOYERS DE CONSOMMATION DE CO₂ EN FRANCE (ENEA CONSULTING - GRDF 2019)

40 % du CO₂ est consommé sur la partie ouest de la France, notamment en Bretagne et en Pays de la Loire où on retrouve une grosse concentration des industries agroalimentaires et serristes du territoire. En second plan, vient le bassin Sud-Est de la France où la consommation de CO₂ représente un quart de la consommation totale du pays.

Les points noirs et verts correspondent respectivement aux foyer de production de CO₂ non-biogénique et biogénique.

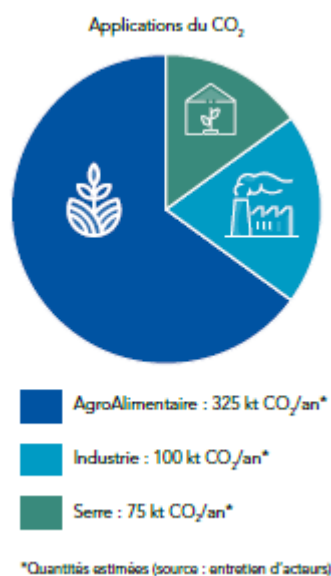


FIGURE 4 : DOMAINES D'APPLICATION DU CO₂ EN FRANCE (CSF NSE CTBM – 2023)

Le secteur agroalimentaire absorbe 70 % du volume de CO₂ consommé en France suivi de l'industrie et des serristes. Il est à noter que ces domaines sont prépondérants à date mais un certain nombre de secteurs pourront à l'avenir devenir de potentiels gros consommateurs de CO₂ pour de nouveaux usages tels les e-fuels, et la minéralisation du CO₂.

En ce qui concerne la production du CO₂, il est principalement le coproduit de la fabrication d'engrais de synthèse (craquage du méthane) mais peut également être biosourcé (méthanisation). La production nationale est d'environ 1 000 kt/an et est principalement concentré au Nord et dans l'Est de la France.

2.1. Référentiels qualité autour du CO₂

Toutes les applications ne requièrent pas le même degré de pureté du CO₂, ne nécessitent pas la même traçabilité et n'ont pas la même taille de marché.

Comme énoncé précédemment, le BioCO₂ peut être commercialisé pour des usages alimentaires ou industriels. Concernant la qualité alimentaire, la spécification EIGA (European Industrial Gases Association) ou additif E290 sont la référence dans le domaine. Pour atteindre la qualité requise, une purification du CO₂ sortant d'épuration est nécessaire. La traçabilité et la qualité du produit doit se faire par différentes analyses.

Le tableau ci-dessous dresse les spécificités requises selon différentes applications :

TABEAU 1 : RÉFÉRENTIELS QUALITÉ AUTOUR DU CO₂

	Serres agricoles	Qualité industrielle	Qualité alim. (E290)	Référentiel EIGA
CO₂	Indifférent	> 97 %	> 99 %	> 99,9 % v/v.
Humidité	-	> 200 ppmv	-	< 20 ppm v/v
Ammoniac	-	Selon utilisateur	-	< 2,5 ppm v/v
Composés azotés	< 1 050 ppm v/v en NO et NO ₂	Selon utilisateur	-	< 2,5 ppm v/v en NO et NO ₂
Huiles	-	Selon utilisateur	< 5 ppm	< 5 ppm m/m
Monoxyde de carbone	< 75 000 ppmv	Selon utilisateur	< 10 ppm	< 10 ppm v/v
Composés soufrés	< 105 ppmv (SO ₂)	Selon utilisateur	-	< 0,1 ppm v/v

FIGURE 5 : ANALYSEUR DE CO₂ – CARBOSCAN (MD CO₂)

Un carboscan comme figurant ci-dessus est un analyseur de CO₂ qui permet de garantir et justifier la traçabilité du produit. Le système utilise la méthode de spectroscopie d'absorption optique pour identifier les contaminants et peut identifier même les plus infimes traces de contaminants (jusqu'à des niveaux inférieurs au ppb). Chaque analyse dure entre 45 minutes et 1 heure. Un certificat d'analyse peut ensuite être remis au producteur et au consommateur.

Cependant, l'achat d'un analyseur représente un investissement important de l'ordre de 450 k€. Pour les petites et moyennes unités de méthanisation il n'est donc pas envisageable que chacune s'équipe d'un analyseur de CO₂, mettant en péril la rentabilité du process. Un enjeu lié à ce coût est alors la mutualisation d'équipements au sein de coopératives comme évoqué dans la partie 4.2.

2.2. Méthodologie de l'étude

2.2.1. Producteurs de bioCO₂

Afin d'identifier l'intérêt des porteurs de projets et exploitants méthaniseurs à s'engager dans la valorisation du BioCO₂ produit par leurs sites, S3d Ingénierie a développé un questionnaire qui a été transmis à tous les exploitants méthaniseurs du département via GRDF et NaTran. Le questionnaire complet figure en Annexe 1. Les réponses ont été traitées et analysées afin de dresser un état des lieux de la situation actuelle et d'identifier les principales motivations pouvant mener au développement de projets de valorisation de bioCO₂. Deux relances ont été faites.

Suite à ce questionnaire, chaque répondant a été contacté dans le but d'effectuer un entretien individuel qualitatif pour approfondir le sujet et mettre en évidence certains freins et leviers au développement de la filière du point de vue des producteurs.

2.2.2. Consommateurs de CO₂

En parallèle du recensement des producteurs de CO₂ sur les territoires, les industriels potentiellement consommateurs de CO₂ du département ont été identifiés en reportant leurs codes NAF (Production et distributeur de

vapeur et d'air conditionné, activités de nettoyage, commerces de produits chimiques, abattoirs, fabrication de produits alimentaires, carbonatation de boissons et inertage, réfrigération, etc.) dans l'annuaire de la CCI (Chambre de Commerce et d'Industrie).

Environ 150 entreprises ont été contactées dans le but d'identifier celles consommatrices de CO₂. Parmi les entreprises contactées, près de 60 % sont consommatrices de CO₂. S3d Ingénierie a effectué plus de 25 entretiens qualitatifs afin d'échanger sur leur consommation, les exigences qualités associées, ainsi que leur logistique actuelle (stockage, transport et approvisionnement). Ces entretiens ont permis d'identifier certains freins au développement de la filière du CO₂ biogénique, du point de vue des consommateurs.

TABLEAU 2 : LISTES DES ENTRETIENS QUALITATIFS RÉALISÉS PAR S3D INGÉNIERIE

Nom des entreprises	Fonction contact
NIPPON GASES FRANCE SAS	Operations & Project Development Manager France Spécialiste des ventes Responsable ventes
PANORIENT	Resp. Service RSE
GAZECHIM	Directrice commerciale Resp. commercial
AIR LIQUIDE FRANCE INDUSTRIE	Business Developer New Sources
COOKIE CREATIONS	Responsable QHSE
COMPAGNIE FRANCAISE DES GRANDS VINS	Responsable élaboration
WILLIAM SAURIN PRODUCTION	Chef d'équipe énergies / bâtiments
RAFFINERIE TOTALENERGIES	Ingénieur Déploiement Industriel
BRIOCHE PASQUIER CHATELET	Responsable Qualité sécurité environnement
ASPASIA BUI KIM KHUE	Directeur et gérant du site
Sofrabrick	Responsable de production
AS Glaçon	Dirigeant
Carbofroid	Gérants
AGRANA FRUIT France	Directeur Usine
Bonny SAS	Responsable du site Responsable qualité
Axima Réfrigération France (QUIRI REFRIGERATION - EQUANS)	Directeur agence IDF
CryoLMG	Président
NSI Groupe	Directeur du site
Carbon Impact	Président
Neustark	Responsable France
Eau de Paris	Responsable production
SIAEP Nemours	Responsable technique
Verdemobil	Responsable commercial
Artaim	Experte projet
Agri Biogaz de la Brie	Exploitant méthaniseur
BIOENERGIE DE LA BRIE	Exploitant méthaniseur
LETANG BIOGAZ	Exploitant méthaniseur
CVE Equimeth	Exploitant méthaniseur
SAS Plaines de France Energie	Exploitant méthaniseur
Sas champ d'énergie	Exploitant méthaniseur
Syndicat Intercommunal d'Assainissement de Marne-la-Vallée Hassani	Exploitant méthaniseur

Dans un second temps, les consommations potentielles de CO₂ à moyen/long termes du département ont été évaluées en prenant en compte les structures consommatrices telles les serres maraichères, les hôpitaux et cliniques, les sociétés de traitement de l'eau, les aéroports.

3. État des lieux des producteurs de bioCO₂

3.1. Producteurs potentiels de bioCO₂ du territoire

3.1.1. Bilan du potentiel de production de bioCO₂ du territoire

Le département dispose de **45 sites de méthanisation** en injection ce qui représente un potentiel actuel de production identifié de **82 kt bioCO₂/an**.

La bioraffinerie de Grandpuits présente alors un potentiel de production de 119 kt CO₂/an. Parmi ce potentiel identifié, **9 kt bioCO₂/an** proviendront de l'unité de méthanisation du site. Les 110 kt de CO₂ complémentaires proviendront du procédé de steam methane reforming (SMR), qui correspond au reformage à la vapeur du gaz/biogaz, combiné au procédé Cryocap développé par Air Liquide. Cette unité utilisera des biogaz résiduels de la bioraffinerie, ce qui permettra de produire de l'hydrogène partiellement renouvelable. Une partie du CO₂ co-produit sera donc biogénique mais les proportions exactes n'ont pas été communiquées.

Il est à noter que cette proportion de CO₂ biogénique aura tendance à augmenter avec le développement de nouvelles unités de méthanisation sur le territoire.

La répartition des sites de production sur l'ensemble du territoire est détaillée sur les figures suivantes. La première carte distingue les sites de production suivant leur typologie (agricole, industriel, STEP, territorial) et la seconde suivant les capacités de production. Il est à noter que sur cette carte la bioraffinerie de Grandpuits n'est pas à l'échelle compte tenu de son importante capacité de production.

La quasi-totalité des méthanisateurs recensés se trouve dans la moitié nord du département et sont pour une grande majorité des unités agricoles comment on observe ci-dessous dans la Figure 5. Cartographie par type de producteur (Base de données Dept Seine et Marne). Concernant les capacités de production, près de la moitié des installations présente un potentiel de production de CO₂ supérieur à 2 kt/an.

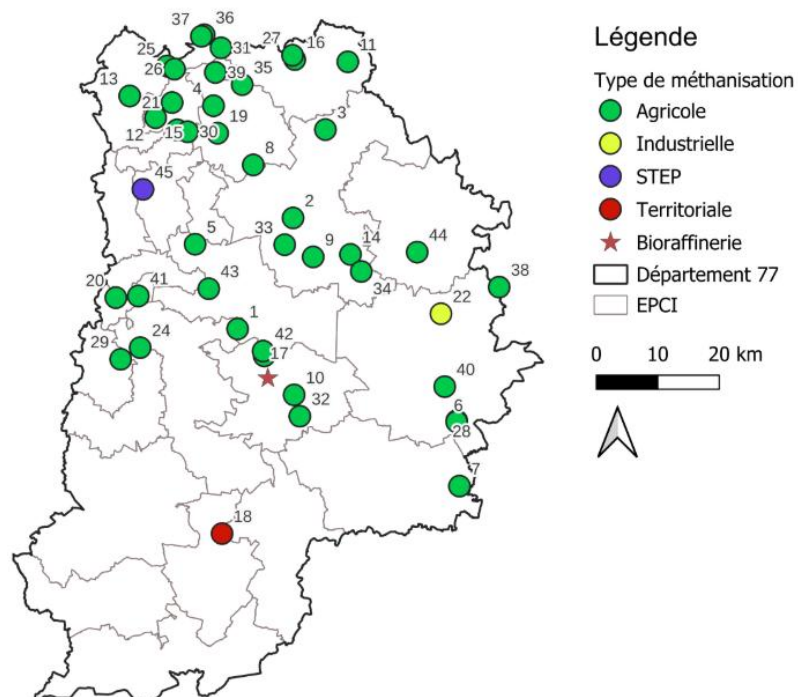


FIGURE 6 : CARTOGRAPHIE PAR TYPE DE PRODUCTEUR (BASE DE DONNÉES DEPT SEINE ET MARNE)

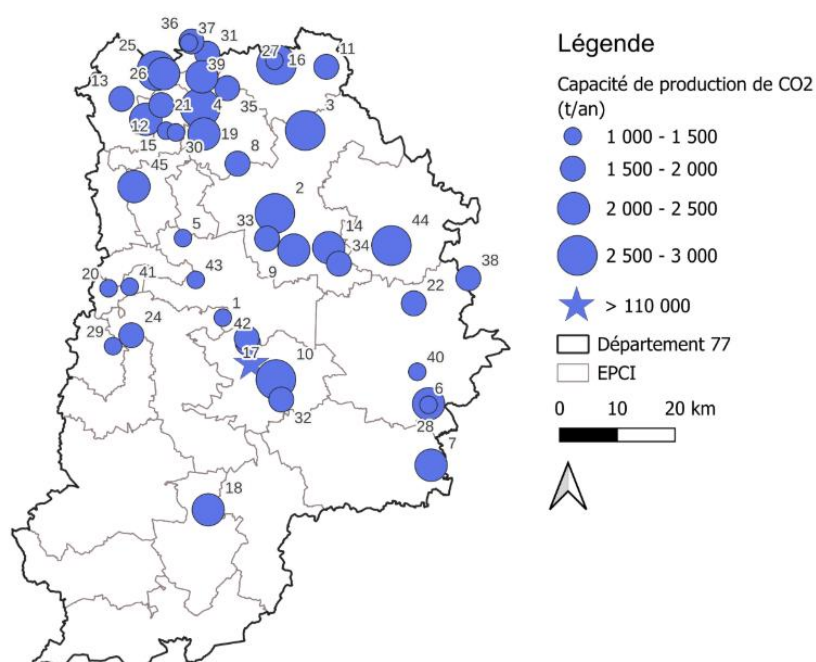


FIGURE 7 : CARTOGRAPHIE PAR VOLUME DE PRODUCTION DE BIOCO₂ (DONNÉES DEPT SEINE ET MARNE, ET DONNÉES S3D)

Le détail de production par unité est donné dans le tableau suivant :

TABLEAU 3 : LISTE DES PRODUCTEURS DE BIOCO₂ ET CAPACITÉS DE PRODUCTIONS DE BIOCO₂ CORRESPONDANTES

Numéro	Nom Structure	Capacité de Production (GWh)	Capacité de production bioCO ₂ (t/an)
1	Bioenergie de la brie	13,0	1 296
2	Methabrie	25,9	2 590
3	O'terres energies	28,6	2 860
4	BBE gaz chauconin	25,9	2 590
5	CFBER favieres	13,4	1 340
6	Letang biomethane	20,6	2 055
7	Bassée biogaz	22,3	2 235
8	Mahe bioenergie	16,1	1 608
9	SAS agri metha energy	23,2	2 324
10	SAS nangis biogaz	27,3	2 726
11	Bioénergies de l'ourcq	15,2	1 519
12	SAS messy biogaz	21,5	2 145
13	Energie verte roissy	18,3	1 832
14	SAS CPL biogaz	22,3	2 234
15	Charny energies sas	12,5	1 250
16	Biogaz du multien	26,8	2 680
17	R&D bio energy sas	16,5	1 650
18	Equimeth cap vert energy	22,3	2 234
19	Biogaz meaux	22,3	2 234
20	Brie biogaz	13,9	1 385
21	Vinantes bio energies	17,0	1 698
22	Brie compost	17,9	1 788
24	Agribiogaz de la brie	17,0	1 698

25	Plaine de France energies	26,8	2 681
26	Goële energies	22,3	2 235
27	SAS may agroenergie	12,5	1 251
28	Letang biogaz	13,4	1 340
29	Senart bio energies	12,5	1 250
30	Biogaz charmentray	14,0	1 400
31	Oissery bioenergies	17,9	1 787
32	terre et gaz	15,6	1 564
33	VGbio energies	17,7	1 769
34	Methamillis	17,0	1 698
35	B2D biogaz	17,0	1 700
36	Valois green	17,0	1 698
37	biomultien	12,5	1 250
38	Baleine biogaz	17,9	1 787
39	Ambition verte	22,3	2 235
40	SAS metha vaudrets	12,5	1 251
41	VDMT biogaz	14,7	1 474
42	Cordoux biogaz	17,9	1 788
43	Champ d'energie	12,5	1 251
44	77320 biogaz	28,3	2 830
45	SIAM	23,0	2 300
46	Bioraffinerie de Grandpuits		119 000

3.1.1.1. Bioraffinerie de Grandpuits

Bioraffinerie :



FIGURE 8 : BIORAFFINERIE DE GRANDPUITS

Le projet de séquestration de CO₂ d'Air Liquide et TotalEnergies sur le site de Grandpuits vise à transformer l'ancienne raffinerie en une plateforme zéro pétrole d'ici 2025, en intégrant une unité de production d'hydrogène renouvelable et bas carbone dont les point clés sont les suivants :

- **Transformation du site** : La raffinerie de Grandpuits est en cours de reconversion en une bioraffinerie, avec un investissement de plus de 500 millions d'euros. Ce projet s'inscrit dans l'ambition de TotalEnergies de décarboniser ses activités et de promouvoir l'économie circulaire.
- **Production d'hydrogène et captage de CO₂** : Air Liquide construira et exploitera une unité de production d'hydrogène via Steam Methane/Biogaz Reforming d'une capacité de plus de 20 000 tonnes par an. Cette unité utilisera des biogaz résiduels de la bioraffinerie, ce qui permettra de produire de l'hydrogène partiellement

renouvelable (les proportions exactes ne sont pas connues, mais cela devrait représenter environ 1/3 de la production).

- ▶ L'unité sera équipée d'une technologie de captage de CO₂ (Cryocap™ H₂) capable de capturer plus de 110 000 tonnes de CO₂ par an.
- ▶ **Caractère biogénique** : Le projet met l'accent sur l'utilisation de biogaz résiduels pour la production d'hydrogène, ce qui confère un caractère biogénique à une partie de l'hydrogène produit.

Un projet de méthanisation pour valoriser les coproduits de la bioraffinerie avait par ailleurs été accompagné par S3d Ingénierie. Celui-ci est toujours en cours de validation. Les données officielles ne peuvent pas être transmises car trop sensibles. Ces quantités de CO₂ 100% biogéniques viendront donc s'ajouter aux précédents.

3.2. Fournisseurs historiques de CO₂

En complément des analyses de terrain permettant le recensement des producteurs de bioCO₂, les acteurs structurant la filière ont également été identifiés et contactés. C'est le cas notamment des fournisseurs actuels de CO₂ Air Liquid ou Nippon Gases, et de la bioraffinerie de Grandpuits qui sera un futur fournisseur par l'intermédiaire d'Air Liquid ou de producteurs/consommateurs ayant engagé une démarche dans la chaîne de valorisation du CO₂.

3.2.1. Nippon Gases

Nippon Gases gère environ 9 % du marché de gaz industriels sur le continent, avec 4 tankers maritimes de CO₂, 14 pipelines et 600 camions à travers l'Europe, ce qui en fait la quatrième plus grande société européenne des gaz industriels. Leur sourcing provenant essentiellement des Pays-Bas (100 % fossile) ils montrent un intérêt prononcé pour la diversification de leurs sources d'approvisionnement en CO₂, notamment pour intégrer du CO₂ biogénique, les rendant alors moins sujets aux troubles d'approvisionnement dus par exemple au conflit en Ukraine, qui a eu un impact très fort sur leur activité.

Ils produisent aujourd'hui de la carboglace sur leur site de Savigny-le-Temple (stockage de 230 tonnes). Les données précises ne peuvent pas être transmises car trop sensibles.

Le CO₂ Food grade est privilégié pour limiter les risques de contaminations de leurs outils de production ou de leurs moyens logistiques. De ce fait, leur volonté de se développer sur le marché de la méthanisation s'axe principalement sur les unités valorisant des intrants végétaux d'origine agricole pour faciliter l'obtention des certifications qualité. Une qualité de produit inférieure est envisageable mais les obligerait à avoir une approche générale totalement dédiée (ex : doublement de leur flotte de véhicule).

A ce jour, Nippon gases ne souhaite pas s'engager dans des partenariats avec des unités de méthanisation produisant moins de 10 kt/an de CO₂ soit une capacité d'environ 1 000 Nm³/h ce qui n'est le cas d'aucune méthanisation sur le territoire de Seine-et-Marne. Il y a la possibilité néanmoins de s'associer à plusieurs méthaniseurs pour créer des hubs de valorisation du bioCO₂. Ce processus sera détaillé dans la partie 4 de ce présent rapport. Il est à noter que Nippon gases préfère contrôler l'ensemble de la chaîne de valeur du CO₂, de l'achat des offgas à la revente auprès des consommateurs.

3.2.2. Air Liquide

Air Liquide, leader sur le marché à 70 % de la fourniture en France, développe son activité CO₂ en Europe selon trois axes principaux : production, logistique et vente. L'entreprise opère sur deux types de marchés : le marché traditionnel de captage et utilisation du carbone (CCU) et le marché prospectif de captage et stockage du carbone (CCS).

Le CO₂ biogénique représente une opportunité de croissance significative pour Air Liquide. L'entreprise prévoit que d'ici 20 ans environ, 50 % de sa production de CO₂ proviendra de sources biogéniques telles que l'éthanol, les brûleurs à biomasse et la méthanisation. Pour sélectionner ses sources de CO₂, Air Liquide privilégie la qualité (de préférence des intrants 100 % végétaux pour une meilleure traçabilité), la localisation et l'effet d'échelle, avec une préférence pour les unités produisant au moins 3 kt/an de CO₂ (environ 300 Nm³/h de CH₄).

Actuellement, Air Liquide ne considère pas la Seine-et-Marne comme un territoire prioritaire pour le développement de ses activités CO₂, en raison de la présence de sources existantes dans le Nord et l'Est de la France, notamment dans le secteur du bioéthanol.

En termes de qualité, Air Liquide fournit actuellement du CO₂ de qualité alimentaire à tous ses clients, y compris ceux qui n'en ont pas nécessairement besoin, faute de chaînes logistiques distinctes. L'entreprise prévoit de mettre en place deux chaînes logistiques séparées dans un avenir proche pour mieux répondre aux besoins spécifiques de sa clientèle.

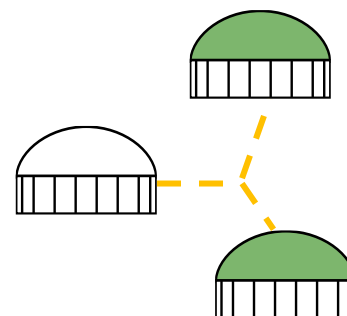
Le site de Grandpuits est identifié comme une source importante de CO₂ biogénique grâce à sa bioraffinerie. Cependant, certaines informations relatives à ce projet sont considérées comme sensibles et nécessiteront la signature d'un accord de confidentialité (NDA) avant toute divulgation.

4. Modèles alternatifs

4.1. Interconnexion de méthaniseurs

Afin de mutualiser ainsi les coûts liés à la liquéfaction et à l'analyse du bioCO₂, il est possible de créer des interconnexions de méthaniseurs sous forme de hubs (2 à 3 méthaniseurs) de bioCO₂. Ce modèle séduit les gros gaziers (notamment Nippon Gases) car il leur permet de se positionner sur un marché supérieur à 10 kt/an (taille critique de rentabilité économique estimée par leurs business model) tout en soulageant les unités de méthanisation en leur proposant un modèle clé en main leur garantissant :

- ▶ La logistique des flux ;
- ▶ Un investissement modéré ;
- ▶ La traçabilité et le respect des exigences qualités ;
- ▶ La sécurisation des débouchés ;
- ▶ Une visibilité long terme du prix de rachat.



Limites/contraintes

Aujourd'hui l'arrêté multi-fluides impose l'utilisation d'acier en cas de pression supérieure à 2 bars et longueur de réseau supérieure à 4 km :

- ▶ Les contraintes réglementaires sont donc très fortes ;
- ▶ Des discussions sont en cours avec l'administration pour permettre de rester en réseau PEHD, une V4 du guide canalisation est en cours de validation par la DGPR sous la supervision du CTBM

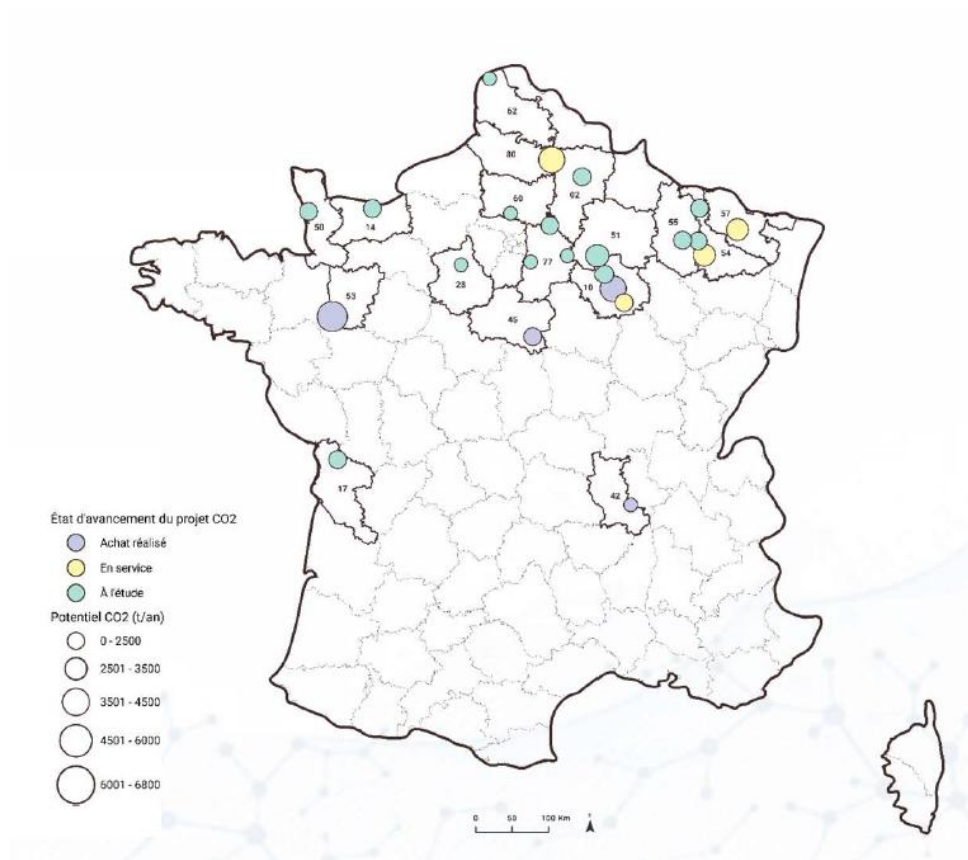
En parallèles, une des limites identifiées est la création d'une forme de dépendance du modèle aux acteurs gaziers historiques qui détiendraient toute la chaîne de valeur du bioCO₂.

+ seuil de rentabilité pour cana de 5km max.

4.2. Coopérative de producteurs (CAPCOO)

Reposant sur une charte qualité avec une certification du CO₂ aux mêmes spécifications (EIGA/ISBT) pour l'ensemble des membres et certifié FSSC 22000 (Exigence mutualisée des distributeurs/industriels en matière de sécurité des aliments), ce modèle prévoit :

- ▶ L'organisation de dépannage entre méthaniseurs
- ▶ L'optimisation et la mise en commun de la logistique commune
- ▶ La mise à disposition de stockages et d'analyseurs (Carboscan)
- ▶ Une représentation commune au sein de la filière
- ▶ Une structuration économique commune

FIGURE 9 : CARTE DES PROJETS DE PRODUCTION DE CO₂ AVEC COOPÉRATIVE DE PRODUCTION

Chiffres clés

- ▶ 23 membres méthaniseurs d'une capacité de 596 GWh de biométhane injecté
- ▶ 77 kt CO₂/an de capacité de captation dont 33 kt CO₂/an en service en 2025
- ▶ Prospection de futurs membres pour un maillage national

4.3. Gestion centralisée (Verdemobil)

Des échanges avec VERDEMOBIL ont eu lieu sur leur stratégie globale concernant la filière valorisation du bioCO₂ des unités de méthanisation. Verdemobil se positionne sur la gestion de toute la chaîne de valeur :

- ▶ Design des modules ;
- ▶ Fabrication ;
- ▶ Exploitation ;
- ▶ Maintenance ;
- ▶ Commercialisation et distribution des fluides en propre.

La qualité/pureté de du bioCO₂ issu de leurs unités de valorisation est supérieure à 99,9 % et respecte les critères ISBT/EIGA/E290.

Verdemobil s'est développé sur le marché de la méthanisation comme constructeur de solutions, avec sa propre solution de liquéfaction développée en interne. C'est une solution qui a été développée en partenariat avec Cryo Collect, une société sœur de Verdemobil.

Partant du constat que les opérateurs de méthanisation sont bien souvent enclins à valoriser le CO₂ produit mais que les ressources économiques et humaines sont difficiles à déployer, Verdemobil vend désormais une solution qui consiste à capter le off gaz issu de l'épuration du biogaz en biométhane puis à l'épurer par distillation cryogénique. Le bioCO₂ produit est commercialisé et distribué par Verdemobil jusqu'aux clients finaux : serristes, industries pharmaceutiques, industries agroalimentaires, etc.

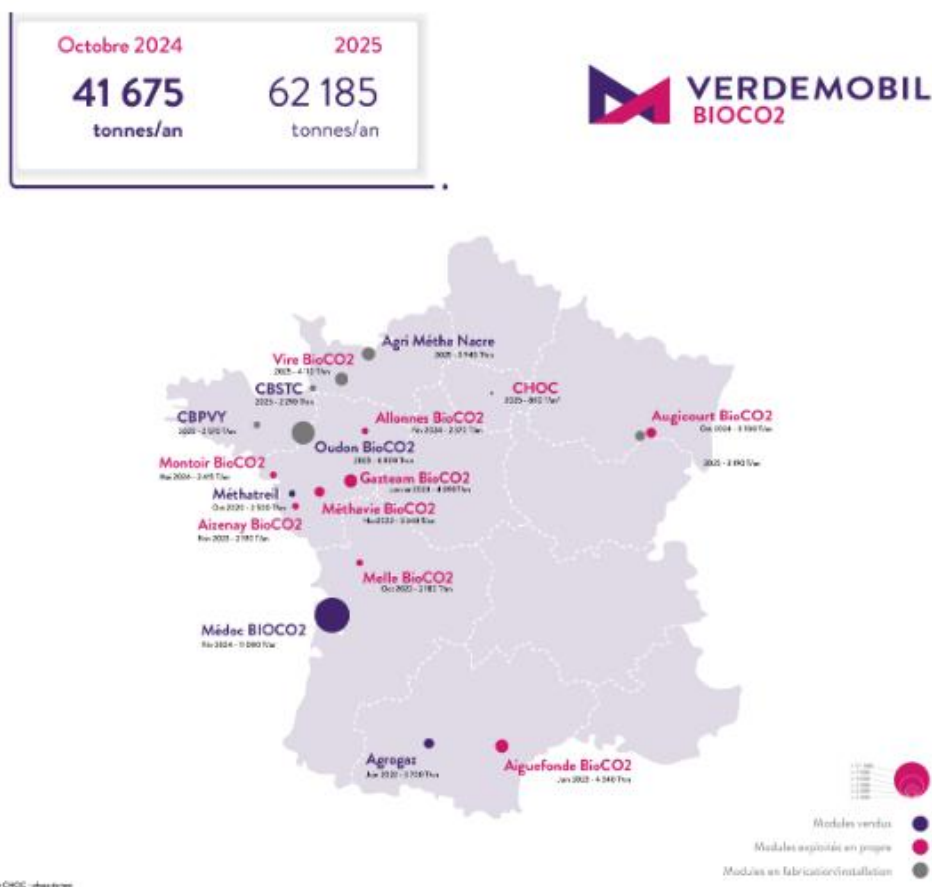
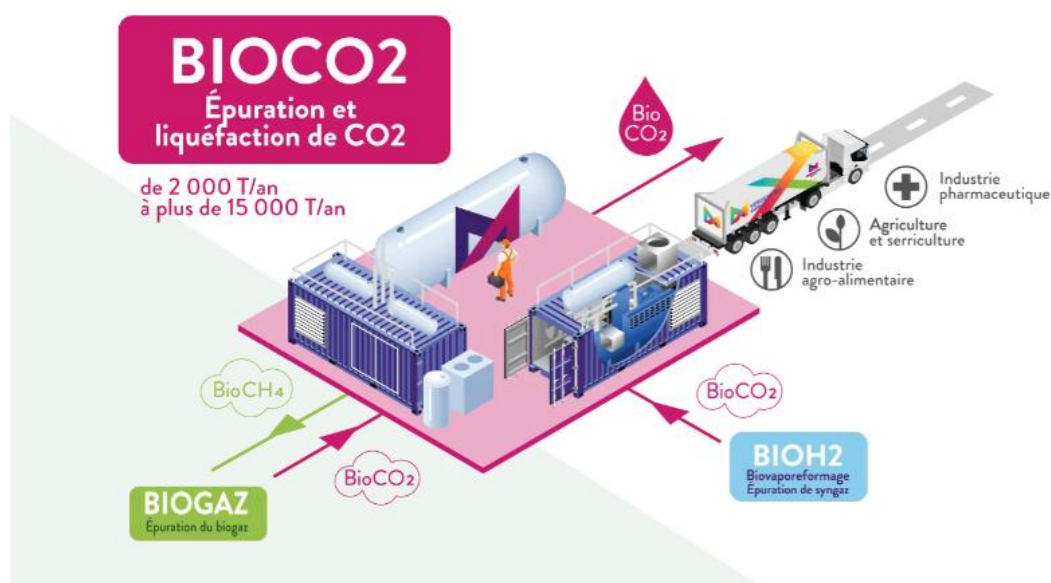
Le CO₂ biogénique ainsi obtenu est pur à 99,9 %. Il est conforme aux référentiels ISBT et EIGA ainsi qu'à la norme E290. Le module de valorisation du CO₂ est conteneurisé pour faciliter l'exploitation des unités et leur intégration sur les sites de méthanisation. Les modules sont adaptables aux différents sites de production, allant de 2 000 à plus de 15 000 tonnes valorisées par an.

Chiffres clés

- ▶ **1^{er} acteur français** de production de bioCO₂ issu de méthanisation
- ▶ **41 675 tonnes** de CO₂ valorisés chaque année
- ▶ **11 modules** à fin 2024

Exemples de projets

- ▶ Medoc bioCO₂ → 11 kt CO₂/an → Modules vendus
- ▶ Gazteam bioCO₂ → 4,1 kt CO₂/an → Exploité en propre
- ▶ Allonnes bioCO₂ → 2,4 kt CO₂/an → Exploité en propre

FIGURE 10 : SITES DE VALORISATION DE BIOCO₂ DE VERDEMOBIL EN FRANCEFIGURE 11 : MODULE DE VALORISATION DU BIOCO₂ DE VERDEMOBIL

5. Etat des lieux des consommateurs de bioCO₂

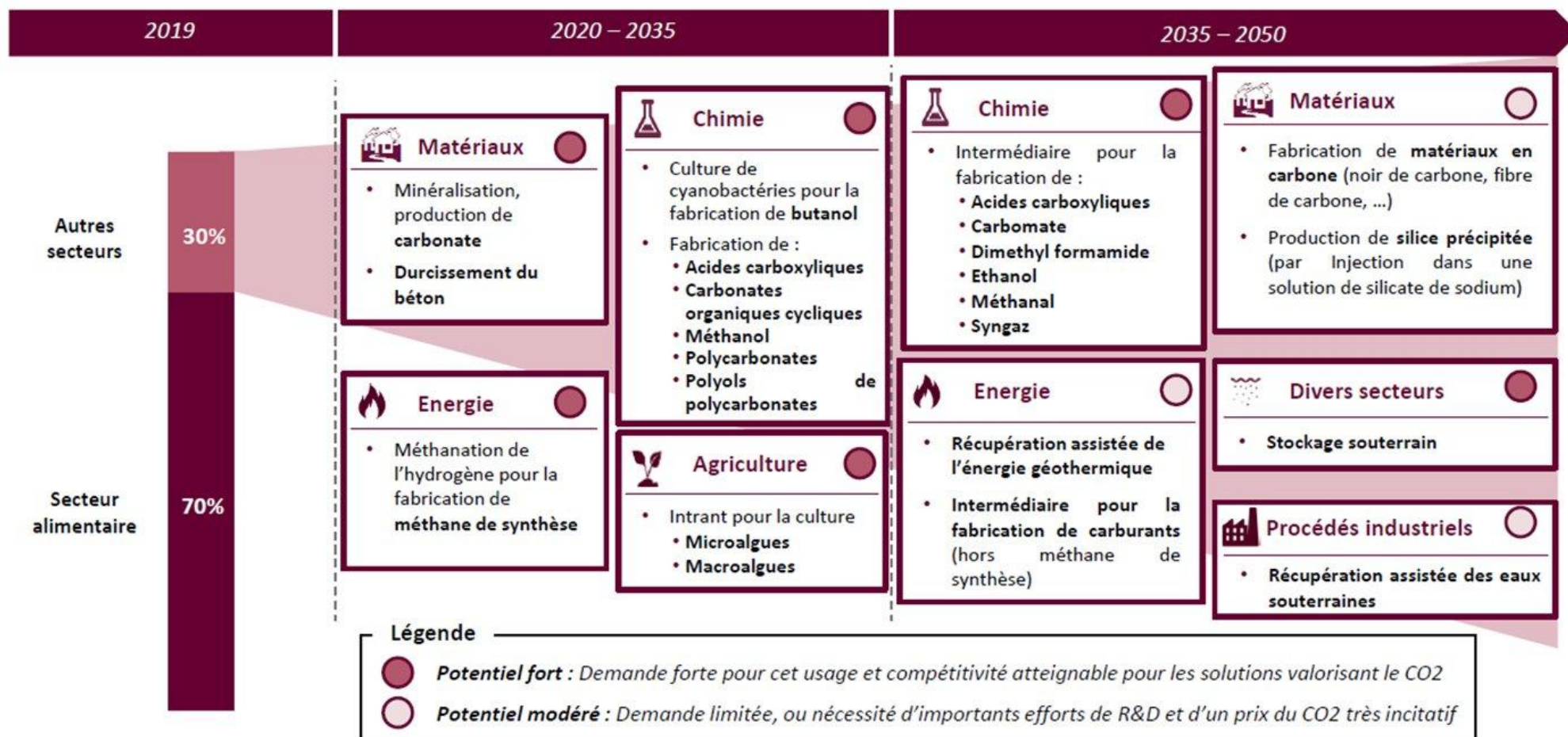
5.1. Avant-propos sur les utilisations du CO₂

L'utilisation du CO₂ connaît une croissance dans divers secteurs industriels grâce à ses propriétés polyvalentes. Voici un aperçu de ses domaines d'application :

- ▶ **Abattoirs** : Le CO₂ est utilisé pour l'étourdissement des animaux avant l'abattage, une méthode qui permet de faciliter les processus de traitement.
- ▶ **Industries** : Le CO₂ intervient dans le traitement des eaux usées, en particulier pour la régulation du pH, et joue également un rôle important comme intermédiaire réactionnel dans des procédés chimiques en développement. Ces applications contribuent à l'optimisation des chaînes de productions industrielles.
- ▶ **Agroalimentaire** : Dans ce secteur, le CO₂ est utilisé pour la carbonatation des boissons (en particulier les eaux gazeuses et sodas). Il est également essentiel pour la création d'atmosphères inertes dans les emballages alimentaires, contribuant ainsi à prolonger la conservation des produits. Un besoin spécifique se fait sentir pour des mélanges de CO₂ et N₂ (30/70 ou 50/50) afin de mieux ajuster la durée de conservation.
- ▶ **Fluide caloporteur** : Le CO₂ est de plus en plus utilisé comme fluide frigorigène, notamment sous la forme de R744¹, en remplacement des gaz ayant un potentiel de réchauffement global (GWP) élevé. Cependant, ce secteur fait face à une forte concurrence de l'ammoniac (R717), qui demeure une alternative viable.

Aujourd'hui le secteur alimentaire représente 70% des consommations de CO₂ en France. Cependant, les domaines d'applications auront tendance à se diversifier dans le futur dû à l'émergence de nouvelles filières innovantes telles la capture et la séquestration du carbone ainsi que les carburants liquides.

¹ Le R744 est un réfrigérant naturel particulièrement adapté aux applications de réfrigération industrielle et commerciale. Son utilisation s'étend désormais à d'autres équipements comme les pompes à chaleur et les systèmes de climatisation.

FIGURE 12 : PRINCIPAUX SECTEURS DE CONSOMMATION DE CO₂ (SIAPARTNERS, LES NOUVEAUX USAGES DU CO₂, 2019)

ETUDE DU POTENTIEL DE CONSOMMATION DE CO₂ BIOGENIQUE DE METHANISATION SUR LE TERRITOIRE DE
SEINE-ET-MARNE

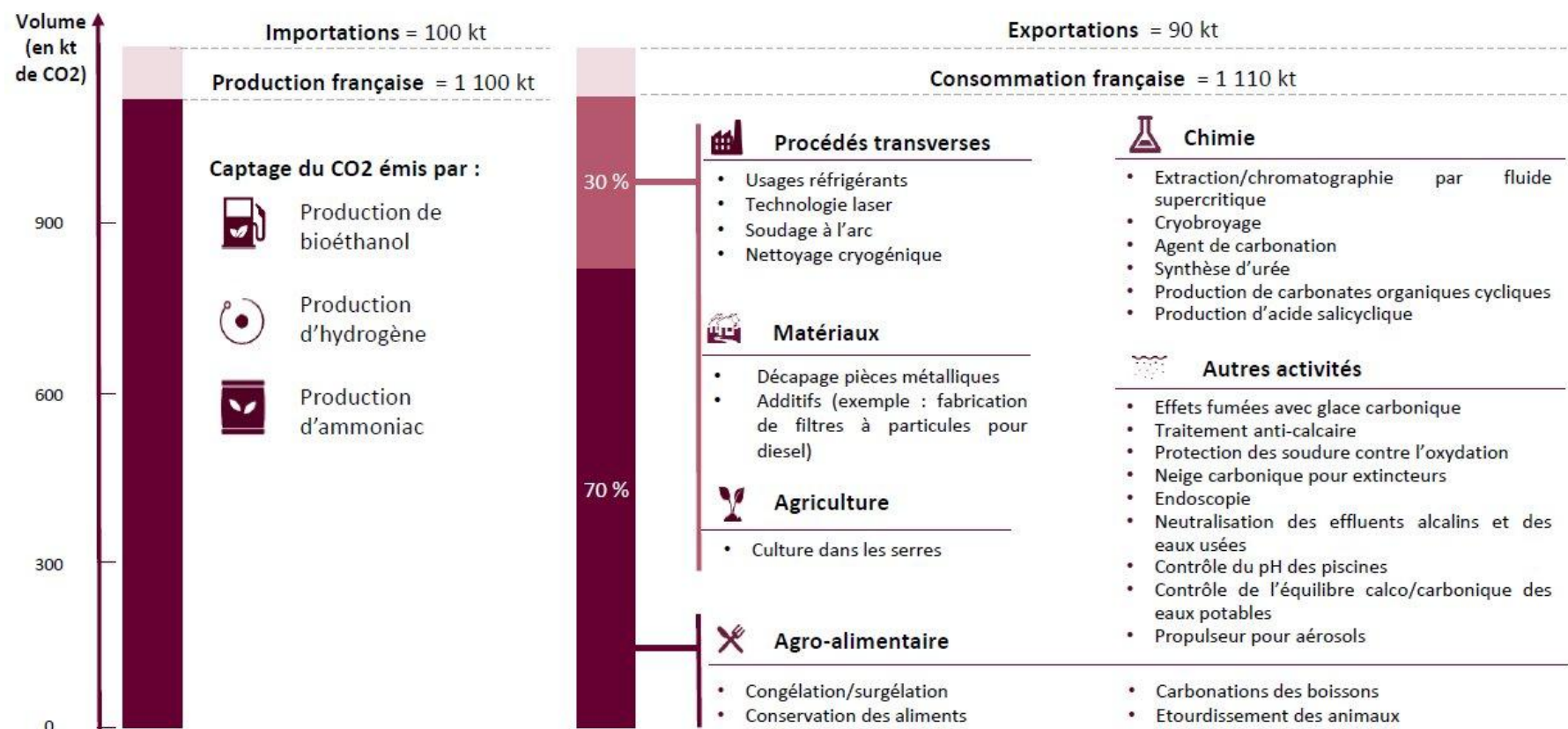


FIGURE 13 : PRINCIPAUX DOMAINES DE CONSOMMATION ET PRODUCTION FRANÇAISES DE CO₂ (SIAPARTNERS, LES NOUVEAUX USAGES DU CO₂, 2019)

5.2. Formes d'utilisation du CO₂

5.2.1. Utilisation du CO₂ liquide

Pour des usages de proximité il est possible de transporter le CO₂ par canalisation mais ceci n'est rentable que pour courtes distances (moins de 5 km). Etant donné que le CO₂ sous forme gazeuse occupe un volume important à température et pression normales, le liquéfier permet de simplifier son transport et son stockage. Cependant le procédé de liquéfaction est très énergivore et couteux, il est donc important de le prendre en compte dans le business plan.

L'approvisionnement en CO₂ liquide est principalement assuré par des entreprises telles que Messer, Nippon Gases et Air Liquide. Le potentiel global de consommation de CO₂ liquide du département de Seine-et-Marne dans ces différents secteurs est estimé à **3,9 kt de CO₂/an**, signalant une demande significative et un potentiel de développement pour cette ressource. Malgré les multiples stratégies de contact de l'entreprise Coca-Cola, nous n'avons pas obtenu les informations relatives à leur consommation de CO₂. Selon notre estimation, elle doit être d'environ 1 300 tonnes de CO₂/an au minimum, de qualité EIGA, soit le niveau requis pour les boissons gazeuses pour arriver à un potentiel de consommation de **5,3 kt de CO₂/an** pour le département.

Les entreprises recensées sur le territoire du 77 consommant du CO₂ liquide sont les suivantes :

TABEAU 4 : ENTREPRISES RECENSÉES SUR LE TERRITOIRE DU 77 CONSOMMANT DU CO₂ LIQUIDE

Nom	Ville	Potentiel de consommation CO ₂ (t/an)
Soviam	Meaux	20
Duc	Gouaix	20
Univar Solutions	Lieusaint	50
Sarl Abattoir Kissi li	Courtry	20
Getrac	Croissy Beaubourg	100
Wan Sen	Torcy	200
Panorient	Gretz Armainvilliers	50
Gazechim	Mitry Mory	300
Ste Fabrication Produits Alimentaires	Collegien	650
Societe Astruc	Villeparisis	650
Compagnie Francaise Des Grands Vins	Tournan En Brie	70
Aspasia Bui Kim Khue	Montfermeil	1000
Sofrabrick	Gonesse	50
Axima Réfrigération France	Bry-Sur-Marne	10
Abattoir de Jossigny	Jossigny	10
Abattoir de Meaux	Meaux	10
Abattoir de Senart	Savigny-Le-Temple	10
Coca-Cola	Essonne (91)	1300

5.2.2. Utilisation du CO₂ en glace carbonique

Le CO₂ sous forme de glace carbonique est utilisé dans deux principaux domaines d'application :

- **Domaine industriel** : La glace carbonique est utilisée dans divers processus industriels tels que le refroidissement des moteurs, le nettoyage cryogénique (dépollution sans contact), l'ébavurage des pièces plastiques, et l'emmanchement à froid (assemblage de pièces métalliques). Elle est également employée dans des applications plus spécifiques comme la dératisation et en scénographie pour créer des effets visuels.
- **Domaine agroalimentaire et médical** : La glace carbonique joue un rôle essentiel dans le maintien du froid et le refroidissement, en particulier pour la conservation des denrées périssables. Elle est aussi utilisée dans les vendanges et la vinification pour préserver la qualité des récoltes et des produits. Elle permet un contrôle de température optimal lors de ces processus sensibles.

L'approvisionnement en glace carbonique provient également principalement de fournisseurs tels que Messer, Nippon Gases et Air Liquide. Le marché de la glace carbonique est particulièrement diffus, avec de nombreux petits consommateurs répartis à travers différents secteurs. Le coût de la glace carbonique varie entre 1 et 3 €/kg sur le marché européen selon les vendeurs, les qualités et les quantités d'approvisionnement.

Le potentiel global de consommation du département de Seine-et-Marne de glace carbonique est estimé à **2,8 kt de CO₂/an**, mettant en évidence une demande constante dans des domaines variés, avec une tendance à la diversification de son utilisation.

Les entreprises recensées sur le territoire du 77 consommant du CO₂ sous forme de glace carbonique sont les suivantes :

TABLEAU 5 : ENTREPRISES RECENSÉES SUR LE TERRITOIRE DU 77 CONSOMMANT DU CO₂ SOUS FORME DE GLACE CARBONIQUE

Nom	Ville	Potentiel de consommation CO ₂ (t/an)
Arc en ciel tertiaire	Emeraiville	16
GSF Concorde	Emeraiville	11
Hemera	Cesson	68
AS Glaçon	Chelles	50
Carbofroid	Montfermeil	1 500
CryoLMG	Chanteloup-en-Brie	50
Aéroport Roissy Charles de Gaulle	Roissy-en-France	1 000

FIGURE 14 : CO₂ SOUS FORME DE GLACE CARBONIQUE

5.3. Secteurs d'utilisation du CO₂

5.3.1. Utilisation du CO₂ en serre maraichère

L'injection de dioxyde de carbone (CO₂) dans les serres est une pratique répandue et reconnue pour favoriser la croissance des plantes et ainsi améliorer la productivité de la culture. Le CO₂ est la principale source de carbone utilisée par les plantes pour produire des sucres et de l'oxygène via la photosynthèse en présence de lumière. Il est donc indispensable de leur fournir une quantité suffisante de CO₂ afin de permettre leur bon développement. Dans l'air, le CO₂ est présent à une concentration d'environ 400 ppm. En serriculture, la quantité de CO₂ dans l'atmosphère de la serre peut diminuer au cours de la journée en raison de la consommation du CO₂ par les plantes et du non-renouvellement de l'air dans la serre (l'aération des serres n'étant pas envisageable l'hiver à cause du chauffage). Cette diminution de la concentration en CO₂ peut avoir un impact négatif sur la croissance des végétaux. L'injection de CO₂ dans la serre permet d'ajuster cette concentration et de la maintenir à un niveau plus ou moins élevé. Il est fréquent en serriculture que la concentration en CO₂ soit maintenue entre 700 et 1000 ppm, ce qui permet d'améliorer la croissance jusqu'à 21 à 61 % en masse sèche (Dion L. M. et al. « Review of CO₂ recovery methods from the exhaust gas of biomass heating systems for safe enrichment in greenhouses » (2011)).

5.3.1.1. Spécifications du CO₂ requis dans les serres maraichères

Il n'y a pas de critère imposé par la réglementation concernant le CO₂ injecté dans les serres.

Celui-ci n'a pas nécessairement besoin d'être liquéfié, bien que cela puisse, si besoin, faciliter son stockage. Il est courant que l'atmosphère des serres soit enrichie en CO₂ par injection des gaz de combustion de gaz naturel, soit à partir d'une chaudière centrale, soit via plusieurs brûleurs à gaz répartis dans la serre. Les spécifications des gaz à respecter sont imposées par les valeurs limites d'exposition professionnelle à certains agents chimiques dans l'atmosphère des lieux de travail (VLEP) définies par le code du travail (articles R4412-149 et R4412-150). Ces valeurs, en vigueur au 01/07/2020, pour les composées susceptibles de se trouver dans les effluents gazeux à injecter dans les

serres, sont répertoriés dans le Tableau 6. Ce tableau présente aussi des valeurs critiques au-dessus desquelles la concentration de certains composés peut causer des problèmes pour le développement des plantes.

TABEAU 6 : VLEP ET VALEURS CRITIQUES POUR LES PLANTES DE CERTAINS COMPOSÉS POTENTIELLEMENT PRÉSENTS DANS LES EFFLUENTS GAZEUX À INJECTER DANS LES SERRES

Composé		VLEP (sur 8h) ¹		Valeurs critiques pour les plantes	
		ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
Monoxyde de carbone	CO	20	23	100 à 500 ² 30 à 50 ³	114 à 573 ³ 34 à 57 ⁴
Dioxyde de carbone	CO ₂	5000	9000	2000 à 30000 ²	3600 à 54000 ²
Monoxyde d'azote	NO	2	2,5	0,1 à 0,5 ² 0,8 à 1 ³	-
Dioxyde d'azote	NO ₂	0,5	0,96	5 ⁴	-
Dioxyde de soufre	SO ₂	0,5	1,3	0,1 à 0,5 ^{2,3} 0,2 ⁴	0,26 à 1,31 ^{2,3} 0,52 ⁴
Hydrogène sulfuré	H ₂ S	5	7	-	-
Ethylène	C ₂ H ₄	-	-	0,01 à 0,5 ^{2,3}	0,01 à 0,57 ^{2,3}
Poussières		-	10 (5 alvéolaire)	-	-

¹ source : Articles R4412-149 et R4412-150 du code du travail
² source : Wacquant C. « Maîtrise de la conduite climatique tomate sous serre et abris en sol » CTIFL (1995)
³ source : Roy et al. « Biomass combustion for greenhouse carbon dioxide enrichment » (2014)
⁴ source : Etat de l'art traitement fumées, séquestration, stockage et valorisation CO₂ (Julien CAPRA 2017)

De plus, la teneur en vapeur d'eau dans les effluents doit être la plus faible possible car l'humidité favorise le développement de maladies chez les plantes.

Les spécifications retenues pour l'effluent gazeux injecté dans les serres sont présentées dans le tableau ci-dessous :

TABEAU 7 : SPÉCIFICATIONS RETENUES POUR LES EFFLUENTS GAZEUX INJECTÉS DANS LES SERRES

Composé		Concentration maximum	
		ppm	mg/m ³
Monoxyde de carbone	CO	20	23
Dioxyde de carbone	CO ₂	-	-
Monoxyde d'azote	NO	2	2,5
Dioxyde d'azote	NO ₂	0,5	0,96
Dioxyde de soufre	SO ₂	0,5	1,3
Hydrogène sulfuré	H ₂ S	5	7

Ethylène	C ₂ H ₄	0,01	0,01
Poussières		-	10
Eau	H ₂ O	Aussi faible que possible	

Certaines de ces valeurs dépassent les valeurs seuils présentées dans le Tableau 7. Cela n'est pas problématique car l'effluent injecté est dilué dans l'atmosphère de la serre, ce qui diminue donc la concentration réelle à laquelle sont exposés les travailleurs. Le CO₂ ne respecte d'ailleurs pas les VLEP dans l'effluent injecté mais sa concentration dans la serre restera très largement en dessous du seuil imposé par le code du travail après dilution dans l'atmosphère de la serre. Ces spécifications sont donc à appliquer à l'effluent injecté dans la mesure du possible afin d'assurer le respect des normes mais peuvent être discutées dans le cas où cela présente un avantage certain.

La faible quantité de méthane présente dans les offgaz est négligeable car la législation ne présente pas de VLEP pour le CH₄ et la concentration (<0,15 %) est très inférieure à la limite inférieure d'explosivité (5 %).

Afin de respecter les spécifications fixées sur les différents composés présents dans l'effluent injecté dans les serres, il peut être envisageable de diluer ce dernier avec de l'air.

5.3.1.2. Estimation des consommations du département de Seine-et-Marne

La consommation de CO₂ dépend du nombre d'heures d'ensoleillement et varie donc beaucoup selon les saisons. Le débit d'injection rapporté au nombre d'heures d'enrichissement (=ensoleillement) dépend de la stratégie d'enrichissement adoptée et peut varier de 50 à 150 kg/ha/h.

Le potentiel global de consommation du CO₂ du département de Seine-et-Marne en serres maraichères est estimé à **2,8 kt CO₂/an** en considérant une consommation moyenne annuelle de 200 t/ha/an. Cette estimation est basée sur les surfaces de serres couvertes.

Les serres maraichères recensées sur le territoire du 77 et son potentiel de consommation du CO₂ sont les suivantes :

TABLEAU 8 : SERRES MARAICHÈRES RECENSÉES SUR LE TERRITOIRE DU 77

Nom	Ville	Code postal	Surface serres	Potentiel consommation CO ₂
Au jardin de la pensée	Nonville	77140	19 630 m ²	393
Serres de Gouaix	Gouaix	77114	19 380 m ²	388
Les jardins de Provence	Grezy-sur-Loing	77880	12 210 m ²	244
EARL Duthoit	Les Marets	77560	16 620 m ²	332
Les serres de Villemin	Grisy-Suisnes	77166	7 408 m ²	148
Les serres de Moras	Pierre-Levée	77580	4 260 m ²	85
Pépinières l'Orme Montferrat	Courtacon	77560	3 150 m ²	63
Les serres de Boissy	Boissy-le-Châtel	77169	5 040 m ²	101
La serre de segrez	Bernay-Vilbert	77540	7 460 m ²	149
Serre de Montjay	Villevaudé	77410	3 249 m ²	65
Les serres de Villemomble	Villemomble	93250	1 010 m ²	20
Les serres de pisseloup	Charly-sur-Marne	2310	4 378 m ²	88
Les serres de Mériot	Le Mériot	10400	37 850 m ²	757
Total				2 833

5.3.2. Utilisation du CO₂ en milieu hospitalier

5.3.2.1. Spécifications du CO₂ requis en milieu hospitalier

Dans le milieu hospitalier, le CO₂ est utilisé pour différentes applications : cryoconservation, cryochirurgie, stimulant respiratoire, chromatographie liquide, nettoyage cryogénique, réfrigération de produits pharmaceutiques, culture cellulaire, entre autres. Il représente un des marchés les plus difficiles dû à sa haute exigence en pureté qui doit être supérieure à 99,99 %.

5.3.2.2. Estimation des consommations du département de Seine-et-Marne

Le potentiel global de consommation du CO₂ du département de Seine-et-Marne en milieu hospitalier est estimé à **172 tonnes par an**. Cette estimation est basée sur le nombre de lits par établissement.

Les hôpitaux et cliniques recensées sur le territoire du 77 consommant du CO₂ sont les suivantes :

TABEAU 9 : HOPITAUX ET CLINIQUES RECENSÉES SUR LE TERRITOIRE DU 77

Nom	Ville	Hospitalisation complète	Potentiel consommation CO ₂ (t/an)
Hôpital LRS Coulommiers - La Renaissance Sanitaire	Coulommiers	18 lits	1
Hôpital LRS Meaux - La Renaissance Sanitaire	Meaux	55 lits	1
Hôpital Privé de Marne Chantereine (Ramsay - Générale de Santé)	Brou-sur-Chantereine	quelques lits	1
Centre Hospitalier de Melun-Sénart	Melun	1093 patients	50
Hôpital Forcilles, Hôpital Privé ESPIC	Férolles-Attilly	300 patients	10
Clinique de Tournan Groupe Salvia Santé	Tournan-en-Brie	quelques patients	1
Clinique Saint-Faron Groupe Salvia Santé	Mareuil-lès-Meaux	96 lits	1
Polyclinique de la Forêt Groupe Saint Gatien	Fontainebleau	138 lits	5
Centre Hospitalier	Brie-Comte-Robert	260 patients	10
Clinique Saint-Jean-L'Ermitage	Dammarié-les-Lys	80 lits	1
Centre Hospitalier	Nemours	330 lits	10
Pôle Santé La Francilienne	Pontault-Combault	quelques patients	1
Centre Hospitalier de Coulommiers	Coulommiers	450 patients	10
Centre Hospitalier de Jouarre	Jouarre	315 patients	10
Centre Hospitalier Léon Binet	Provins	458 patients	10
Centre Hospitalier de Meaux	Meaux	851 lits	20
Centre Hospitalier du Sud Seine-et-Marne	Fontainebleau	524 lits	20
Centre Hospitalier du Sud Seine-et-Marne	Montereau-Fault-Yonne	457 lits	10
Total			172

5.3.3. Utilisation du CO₂ pour le traitement de l'eau

5.3.3.1. Spécifications du CO₂ requis pour le traitement de l'eau

Le CO₂ est également utilisé dans le cadre du traitement de l'eau :

- Potabilisation de l'eau : Le CO₂ joue un rôle clé dans le maintien de l'équilibre calco-carbonique de l'eau, essentiel pour garantir une eau potable de qualité. Il est également utilisé dans la reminéralisation de l'eau, permettant ainsi de restaurer les minéraux nécessaires pour la santé humaine après des traitements de purification.
- Régulation du pH des effluents : Le CO₂ constitue une alternative aux acides forts dans la régulation du pH des effluents industriels. Il permet de neutraliser efficacement les effluents, contribuant ainsi à la réduction de leur impact environnemental.
- Traitement anticalcaire : Le CO₂ est utilisé dans les tours de refroidissement pour prévenir les dépôts de calcaire. Cette application est particulièrement bénéfique pour maintenir les systèmes de refroidissement en bon état de fonctionnement et éviter des coûts supplémentaires liés à l'entretien des équipements.

Le CO₂ doit être d'une grande pureté, souvent spécifiée comme étant d'au moins 99,5 %. Les impuretés, comme les hydrocarbures ou les traces d'oxygène, peuvent interférer avec les processus chimiques et affecter la qualité de l'eau traitée. Il est également essentiel que le CO₂ ne contienne pas de substances chimiques ou d'éléments qui pourraient nuire à la qualité de l'eau, tels que des huiles, des solides ou d'autres contaminants.

5.3.3.2. Estimation des consommations du département de Seine-et-Marne

Selon les retours du S2E77, du SIAEP de Nemours, des Eaux de Paris et de la SAUR, il n'y a aucune utilisation du CO₂ dans leurs processus de traitement de l'eau. En effet, la dureté naturelle de l'eau de la région parisienne, riche en calcium et magnésium, rend inutile l'ajout de CO₂ dans ces installations. Dans certaines zones où la dureté est particulièrement élevée, comme dans les usines de Torcy, Saint-Souplet, Moussy-le-Neuf et Condé-Saint-Libaire, il devient même nécessaire de décarbonater l'eau pour éviter des problèmes de dépôt de calcaire et de corrosion dans les installations.

Le potentiel global de consommation de CO₂ du département de Seine-et-Marne dans le secteur du traitement de l'eau est donc estimé comme nul dans le cadre du projet.

La liste des usines de traitement d'eau contactées dans le cadre de cette étude figure ci-dessous :

TABEAU 10 : LISTE DES USINES DE TRAITEMENT D'EAU CONTACTÉES DANS LE CADRE DE CETTE ÉTUDE

Usines contactées
Usine d'Annet-sur-Marne
Usine de Sorques et Longueville (Eau de Paris)
Usine d'Arvigny
Usine de Nandy
Usine de Morsang
Usine de Périgny
Usine de Mandres
Usine de Combs
Usine la Fontaine

Usine de Coulommiers
Usine d'Hermé

5.3.4. Utilisation du CO₂ pour la séquestration CCS

5.3.4.1. Spécifications du CO₂ requis pour la séquestration de carbone

Actuellement, la plupart des scénarios internationaux de référence autour de la neutralité carbone (AIE, GIEC), évoquent dans un premier temps l'importance de **réduire de manière conséquente ses émissions de CO₂**. Dans un deuxième temps, les technologies de CCS, Carbon Capture and Storage ou Capture et Séquestration du CO₂, sont des technologies cruciales dans la remédiation du changement climatique en réduisant les émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Cette méthode consiste à capturer le CO₂ émis par des sources industrielles, telles que les centrales thermiques ou les usines, puis à le stocker dans des réservoirs géologiques profonds, loin de l'atmosphère. Elle peut également inclure la séquestration biologique, où le carbone est absorbé par les sols ou les forêts.

Deux acteurs de cette filière ont été identifiés :

- Neustark : entreprise Suisse
- Carborok : entreprise française

L'objectif des technologies développées par ces entreprises est le stockage de CO₂ par carbonatation de déchets de bétons recyclés (granulats), produits en grande quantité par le monde du BTP. Le Ca(OH)₂ contenu dans les agrégats de béton se carbonate en présence de CO₂ en formant du CaCO₃ (carbonate de calcium). Il s'agit de la réaction de minéralisation, un processus naturel long se mettant en place sur la couche superficielle des ouvrages en béton au contact du CO₂ de l'air, et ce sur toute la durée de vie de l'ouvrage. Lors du démantèlement, la production d'agrégats de béton s'accompagne de la remise à l'air libre de surfaces non carbonatées. Le principe développé par Neustark et Carborok est donc d'utiliser ces surfaces non carbonatées pour stocker du CO₂ via un processus largement accéléré.

Un business model innovant a donc été construit sur ce fonctionnement. Les entreprises de béton comme Lafarge s'associent à des acteurs de la filière tels Neustark qui rachètent du CO₂ liquéfié auprès d'entreprises comme Verdemobil ou Air Liquide dans le but, via leur processus de carbonatation, de séquestrer le CO₂ biogénique sur long terme. Cela leur permet de générer des certificats CO₂ qu'ils peuvent ensuite vendre sur le marché volontaire du carbone à des grandes entreprises qui souhaitent verdir leur activité.

Neustark possède aujourd'hui 22 sites en opération principalement en Suisse et en Allemagne et 40 sont actuellement en construction. Par exemple, leur partenariat avec Lafarge sur le site de Genevilliers leur permet de séquestrer 1 000 tonnes de CO₂ chaque année.

Le tableau ci-dessous reprend les références de Neustark situées en Ile-de-France :

TABEAU 11 : RÉFÉRENCES DE NEUSTARK DE DÉVELOPPEMENT DE LEUR PROCESSUS DE CARBONATATION

Nom	Adresse
DLB	Bonneuil-sur-Marne
	Limeil-Brévannes
Lafarge Granulats	La Brosse-Montceaux
EQIOM Granulats	La Grande-Paroisse
Syneos Hermé - Sablières du Port Montain	Hermé

RFM (Recyclage Francilien de Matériaux)	Roissy-en-Brie
Cemex Granulats	Croissy-Beaubourg

5.3.4.2. Estimation des consommations du département de Seine-et-Marne

Les principaux domaines d'application dans le domaine du BTP sont

- Séchage et durcissement accéléré du béton : 1 kgCO₂/m³ de béton.
- Carbonatation de déchets de béton recyclé (granulats) : 50 kgCO₂/t de béton. Soit 1 000 tCO₂/an pour une plateforme de 20 000 t/an de granulats de béton.

Aujourd'hui, sur le territoire de Seine-et-Marne environ 2 millions de tonnes de granulats recyclés sont produits, ce qui permettrait une séquestration théorique de **100 kt de CO₂ par an**.

5.3.5. Utilisations autres

- **Culture de microalgues** : les microalgues sont des organismes photosynthétiques microscopiques qui se développent en milieu aqueux en consommant du CO₂ comme source de carbone. Le premier marché en volume pour les microalgues (74%) est celui de l'alimentation humaine, principalement en tant que complément alimentaire riche en protéines et omega-3. Le deuxième marché (25 %) est celui de l'alimentation animale et particulièrement l'aquaculture. Dans ce cas, les algues sont fournies séchées ou vivantes. Enfin, le dernier et le plus petit marché (1 %) est celui des produits à haute valeur ajoutée (pigments et polysaccharides) pour la médecine et la cosmétique.
- **Méthanation** : La méthanation permet de combiner le CO₂ et de l'H₂ pour produire du CH₄ et de l'eau selon la réaction suivante : $\text{CO}_2 + 4 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$. Produire de l'hydrogène par électrolyse consiste à décomposer les molécules de l'eau (H₂O) en dioxygène (O₂) et dihydrogène (H₂) grâce à un courant électrique. C'est aujourd'hui la solution la plus encouragée pour produire de l'hydrogène décarboné.

Le méthane de synthèse produit pourrait être injecté directement dans le réseau comme le biométhane. Cette voie de valorisation du CO₂ présente l'avantage de pouvoir être intégrée au sein de l'unité de méthanisation sans impliquer de client tiers. La méthanation se développe fortement en raison de son potentiel comme moyen de stockage d'électricité dans les réseaux de gaz. La stratégie d'approvisionnement en électricité et son prix d'achat conditionnent la faisabilité économique et la rentabilité de la méthanation. Par ailleurs, il manque encore un cadre réglementaire concernant la méthanation et la valorisation du méthane de synthèse produit.

Production de carburants liquides : d'autres réactions catalytiques, sur le même principe que la méthanation, permettent de combiner le CO₂ et de l'hydrogène pour la production de carburants liquides tels que le méthanol, parmi les produits chimiques les plus produits et consommés dans le monde, mais également pressenti pour la décarbonation de la carburation maritime, ou des SAF (Sustainable Aviation Fuels) dont c'est l'objet du projet de bioraffinerie de TOTAL Énergies de Grandpuits. Les carburants aéronautiques et maritimes durables constituent un levier stratégique pour la réduction à court et moyen terme des émissions nettes de ces secteurs qui disposent de peu d'alternatives énergétiques.

5.4. Récapitulatif des besoins identifiés en bioCO₂

Le tableau ci-dessous présente un bilan des potentiels de consommation de CO₂ estimés sur le territoire de Seine-et-Marne selon les formes de CO₂ requises :

TABLEAU 12 : BILAN DES POTENTIELS DE CONSOMMATION DE CO₂ ESTIMÉS SUR LE TERRITOIRE DU 77 SELON LES FORMES DE CO₂ REQUISES

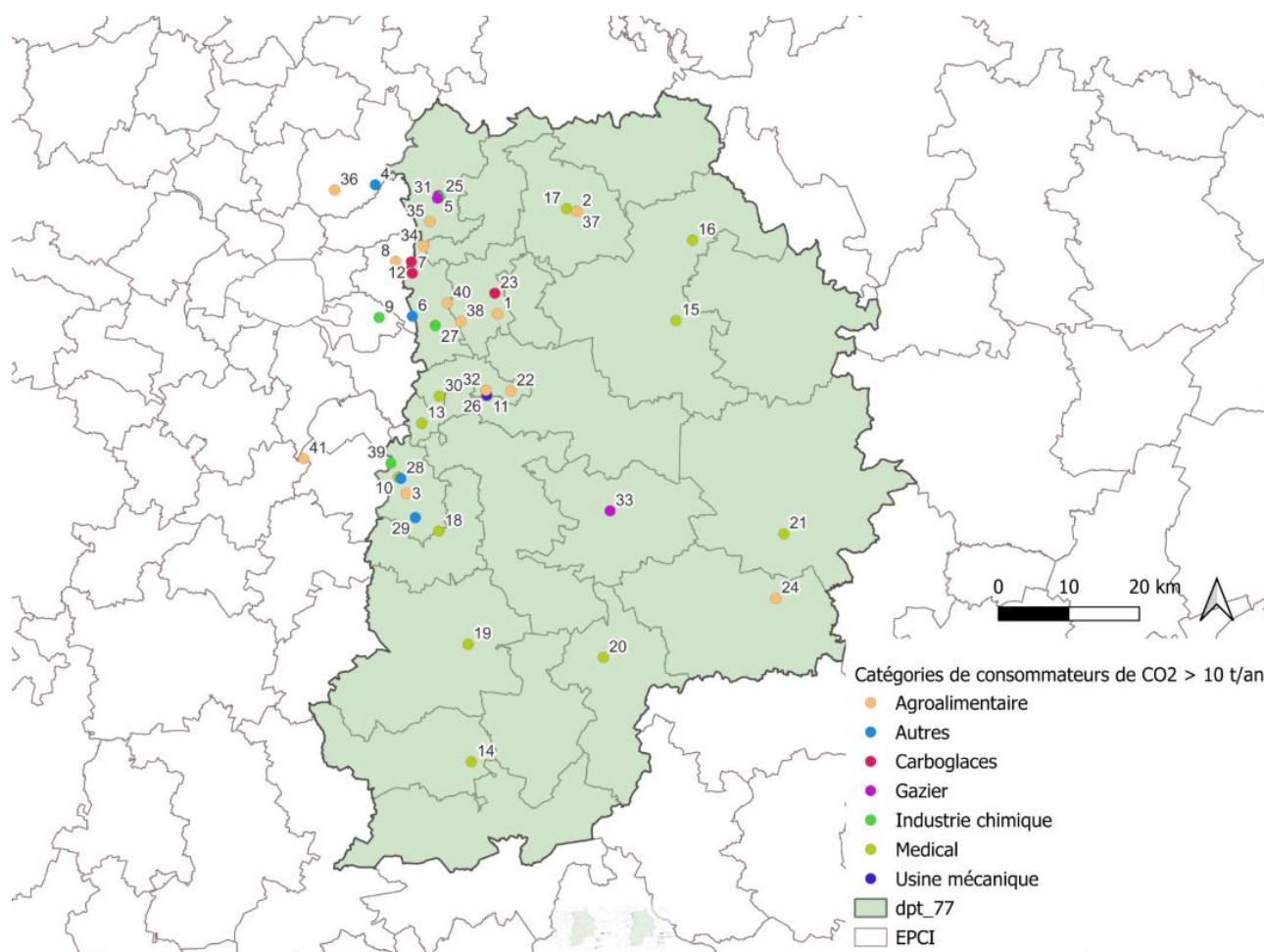
Besoins	Actuels (t/an)	Futurs (t/an)	Qualité requise
Besoins selon la forme du CO ₂			
CO ₂ sous forme liquide	5292	5292	Majoritairement : EIGA/ISBT Ponctuellement : Industrielle
CO ₂ en glace ou neige carbonique	2 779	2 779	Besoin E290 (ISBT/EIGA dans les faits) pour l'agroalimentaire, Industrielle pour le reste
Besoins selon les domaines d'application			
CO ₂ pour les serres maraichères		2 833	Industriel ou moindre (sauf pour quelques composés spécifiques)
CO ₂ pour le milieu hospitalier	172	172	> 99,99 % pureté CO ₂
CO ₂ pour la séquestration long terme		100 000	Industrielle ou moindre
Total (tCO₂/an)	8 243	109 706	Besoins en qualité très divers mais usage EIGA/ISBT dans la quasi-totalité des cas aujourd'hui

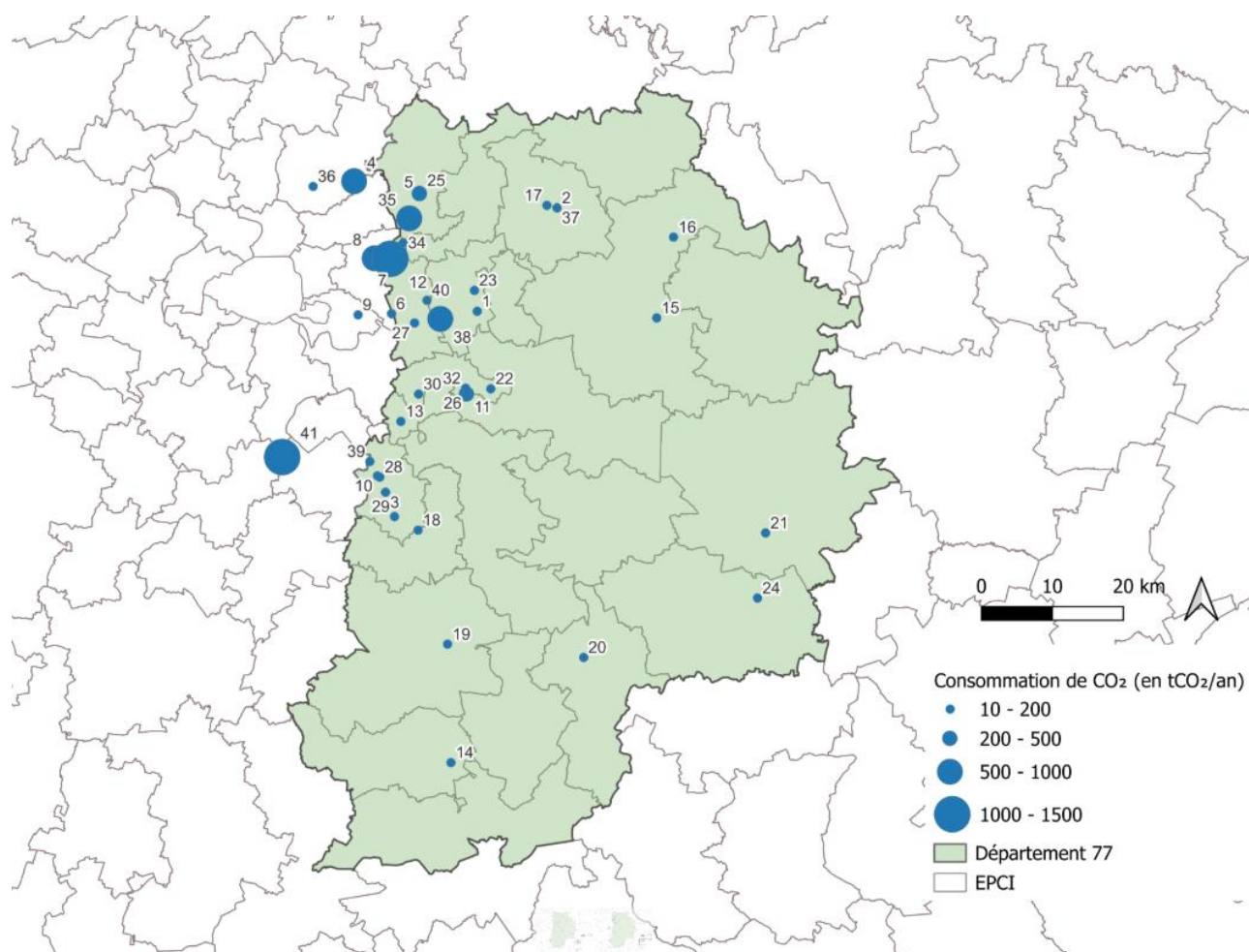
5.5. Cartographie des consommateurs de CO₂

Près de 40 industries consommatrices de CO₂ ont été identifiées sur le territoire, ce qui représente un potentiel actuel de consommation identifié de **8,2 kt CO₂/an**. Ce chiffre est probablement sous-estimé dû à la consommation potentielle de la part de plus petites entreprises (inférieure à 10 salariés). Il est également à noter que cette quantité de CO₂ consommée pourrait augmenter dû au développement de nouvelles filières telles les e-fuels ou encore le captage et stockage de CO₂. Pour rappel, la production de CO₂ du territoire a été estimée à près de 200 kt CO₂ par an dont minimum 126 kt de CO₂ biogénique par an.

La répartition des sites de consommation sur l'ensemble du territoire est détaillée sur les figures suivantes. La première carte distingue les sites de consommation suivant leur typologie (agroalimentaire, gazier, industrie chimique, médical...) et la seconde suivant leurs capacités. N'ont été représentés seulement les acteurs consommant plus de 10 tonnes de CO₂ par an. Aucun très gros consommateur (> 25 kt CO₂/an) n'a été identifié. Le marché reste très diffus.

La quasi-totalité des consommateurs de CO₂ identifiés sont regroupés dans le nord-ouest du département. Il a été choisi de ne pas éliminer les industries potentiellement consommatrices de CO₂ se trouvant proche dans la frontière avec le département de Seine-et-Marne dont Coca-Cola (91).

FIGURE 15 : CARTOGRAPHIE PAR CATÉGORIES DE CONSOMMATEURS DE CO₂ > 10 T/ AN

FIGURE 16 : CARTOGRAPHIE PAR VOLUMES DE CONSOMMATION DE CO₂ > 10 T/AN

Potentiel actuel de consommation identifié de 6 873 t/an

TABLEAU 13 : LISTE DES CONSOMMATEURS POTENTIELS DE CO₂ IDENTIFIÉS SUR LE TERRITOIRE DU 77

Numéro	Nom Structure	Catégorie	Consommation CO ₂ (t/an)
1	Abattoir de Jossigny	Agroalimentaire	10
2	Abattoir de Meaux	Agroalimentaire	10
3	Abattoir de Senart	Agroalimentaire	10
4	Aéroport Roissy Charles de Gaulle	Autres	1000
5	AIR LIQUIDE FRANCE INDUSTRIE	Gazier	0
6	ARC EN CIEL TERTIAIRE	Autres	16
7	AS Glaçon	Carboglaces	50
8	ASPASIA BUI KIM KHUE	Agroalimentaire	1000

9	Axima Réfrigération France (QUIRI REFRIGERATION - EQUANS)	Industrie chimique	10
10	BIOBANK	Medical	200
11	Bonny SAS	Agroalimentaire	500
12	Carbofroid	Carboglaces	1500
13	Centre Hospitalier	Medical	10
14	Centre Hospitalier	Medical	10
15	Centre Hospitalier de Coulommiers	Medical	10
16	Centre Hospitalier de Jouarre	Medical	10
17	Centre Hospitalier de Meaux	Medical	20
18	Centre Hospitalier de Melun-Sénart	Medical	50
19	Centre Hospitalier du Sud Seine-et-Marne	Medical	20
20	Centre Hospitalier du Sud Seine-et-Marne	Medical	10
21	Centre Hospitalier Léon Binet	Medical	10
22	Compagnie Francaise Des Grands Vins	Agroalimentaire	70
23	CryoLMG	Carboglaces	50
24	DUC	Agroalimentaire	20
25	GAZECHIM	Industrie chimique	300
26	GESTAMP NOURY	Usine mécanique	12
27	GETRAC	Industrie chimique	100
28	GSF CONCORDE	Autres	11
29	HEMERA	Autres	68
30	Hopital Forcilles, Hopital Privé ESPIC	Medical	10
31	MESSER FRANCE	Gazier	
32	PANORIENT	Agroalimentaire	50
33	RAFFINERIE TOTALENERGIES	Gazier	
34	SARL ABATTOIR KISSI II	Agroalimentaire	20
35	SOCIETE ASTRUC	Agroalimentaire	650
36	Sofrabrick	Agroalimentaire	50
37	SOVIAM	Agroalimentaire	20
38	STE FABRICATION PRODUITS ALIMENTAIRES	Agroalimentaire	650
39	UNIVAR SOLUTIONS	Industrie chimique	50
40	WAN SEN	Agroalimentaire	200
41	Coca-Cola	Agroalimentaire	1300

5.6. Intérêts pour les entreprises à passer au bioCO₂

Le passage au bioCO₂ présente plusieurs avantages stratégiques, environnementaux et économiques pour une entreprise consommatrice de dioxyde de carbone. Tout d'abord, le bioCO₂, issu de sources renouvelables telle que la méthanisation, est considéré comme neutre en carbone. Contrairement au CO₂ fossile, son utilisation n'augmente pas la concentration globale de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. En intégrant du bioCO₂ dans ses processus,

l'entreprise réduit ainsi son empreinte carbone, ce qui contribue à sa stratégie de développement durable et à l'atteinte d'objectifs de neutralité carbone.

D'un point de vue réglementaire, le bioCO₂ permet d'anticiper l'évolution des politiques climatiques, notamment l'éventuelle taxation du carbone fossile et les exigences croissantes en matière de reporting extra-financier. Cette démarche proactive permet aussi de répondre aux attentes des clients et partenaires en matière de responsabilité environnementale, renforçant ainsi l'image de marque de l'entreprise et sa différenciation concurrentielle.

Par ailleurs, le bioCO₂ peut s'intégrer dans une logique d'économie circulaire, en valorisant des sous-produits agricoles ou industriels localement disponibles. Cette approche favorise l'innovation, réduit la dépendance aux ressources fossiles importées et améliore la résilience des chaînes d'approvisionnement, souvent exposées à des tensions sur les marchés du CO₂ fossile. En somme, l'adoption du bioCO₂ constitue un levier concret pour allier performance environnementale, compétitivité économique et engagement sociétal.

6. Enquêtes auprès des exploitants méthaniseurs

Afin de faire l'état des lieux des méthaniseurs en injection du département de Seine-et-Marne, S3d Ingénierie a développé un questionnaire qui a été envoyé aux 45 exploitants méthaniseurs du territoire par le biais de GRDF et NaTran. Cela a permis d'établir un état des lieux de la situation et préciser les motivations de chacun au développement d'un projet de valorisation de leur bioCO₂ produit par méthanisation.

Il est à noter que 8 exploitants de méthaniseurs agricoles ou territorial et 1 STEP ont répondu au questionnaire, soit environ 20% des installations en injection de Seine-et-Marne. De ce fait, les réponses sont à analyser avec du recul. Nous estimons qu'un biais d'analyse est probable du fait que les répondants peuvent être considérés comme les plus intéressés par ce sujet. Les résultats détaillés de l'enquête figurent en Annexe 2.

Les exploitants ayant répondu sont les suivants :

TABEAU 14 : LISTE DES EXPLOITANTS MÉTHANISEURS AYANT RÉPONDU AU QUESTIONNAIRE

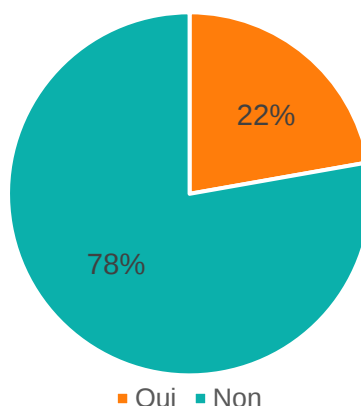
Nom de l'exploitation	Commune de l'exploitation	Débit de CH ₄ actuellement injecté
Agri Biogaz de la Brie	77166 Evry Greycy sur Yerres	240 Nm ³ /h
BBE GAZ	77122 Monthyon	240 Nm ³ /h
LETANG BIOGAZ	77171 Sourdun	150 + 230 Nm ³ /h
CVE Equimeth	77250 Moret-Loing-et-Orvanne	250 Nm ³ /h
SAS Plaines de France Energie	77230 Marchémoret	315 Nm ³ /h
cfber	77220 Favières	110 Nm ³ /h
Waga Energy	77410 Claye-Souilly	110 GWh/an

Sas champ d'énergie	77610 Châtres	140 Nm ³ /h
Syndicat Intercommunal d'Assainissement de Marne-la-Vallée Hassani	77400, Saint-Thibault-des-Vignes	215 Nm ³ /h

6.1. Etat des lieux de la situation

A ce jour, 22 % des répondants valorisent leur bioCO₂ ou sont en procédure pour le valoriser. Parmi ceux qui ne valorisent pas encore leur BioCO₂, 100 % affirment être intéressés par une potentielle valorisation de leur bioCO₂.

Valorisez-vous votre BioCO₂ produit ?



6.2. Motivations émergentes à la valorisation du BioCO₂ produit

De ce questionnaire en est ressorti que la valorisation du bioCO₂ produit s'inscrit dans une approche stratégique visant à répondre à des enjeux écologiques, économiques, réglementaires et industriels, chacun contribuant à la durabilité et à l'efficacité du projet à long terme.

Sur le plan écologique, cette initiative s'aligne avec la production d'énergie 100 % propre, en cohérence avec les objectifs de décarbonation. En réduisant les émissions de gaz à effet de serre (GES) liées aux processus de méthanisation, elle constitue une solution concrète pour limiter l'impact environnemental de l'activité tout en favorisant la transition énergétique. En effet, l'utilisation du bioCO₂ dans une boucle de valorisation permet de remplacer l'usage de CO₂ fossile qui au contraire du CO₂ biogénique participe au dérèglement climatique lorsqu'émis dans l'atmosphère.

Du côté financier, la valorisation du bioCO₂ offre une opportunité pour optimiser la rentabilité de l'unité de méthanisation, en générant de nouvelles sources de revenus à travers la vente de bioCO₂ ou son utilisation dans des applications industrielles. Cela permet d'augmenter les flux financiers, et offrant un levier pour la pérennisation du site notamment à l'issue du contrat de rachat de 15 ans. En intégrant cette activité dans un modèle économique plus large, il devient possible de garantir une stabilité financière sur le long terme et de maintenir l'emploi et les activités locales.

Sur le plan réglementaire, la valorisation du bioCO₂ permet de répondre aux exigences de la Directive Européenne RED (II et III), qui impose un bilan carbone strict pour les projets liés à la production d'énergie renouvelable. En réduisant l'empreinte carbone du processus de méthanisation, cette action contribue non seulement à la conformité avec les réglementations européennes, mais aussi à l'atteinte des objectifs climatiques fixés par l'Union Européenne.

Enfin, la synergie entre différents secteurs d'activité est un atout majeur pour le développement de nouvelles opportunités industrielles. Le bioCO₂ peut être utilisé comme matière première dans la fabrication de produits chimiques, alimentaires ou pharmaceutiques, contribuant à la création de nouvelles filières industrielles. Cette diversification des usages permet de développer des solutions innovantes, renforcer l'économie circulaire et ouvrir la voie à des partenariats avec différents acteurs industriels intéressés par la réutilisation du CO₂. Par cette approche intégrée, la valorisation du bioCO₂ s'inscrit dans une dynamique positive et durable pour l'environnement, l'économie et l'industrie.

Outre les motivations personnelles, 77,8 % des répondants affirment être tout à fait prêts à investir dans la mise en place d'un projet de valorisation de BioCO₂.

Les connaissances à ce sujet sont plutôt partagées. Comme énoncé précédemment, il existe différents standards de qualité autour de la valorisation de CO₂ (EIGA, ISBT, E290...) selon les domaines d'application. Seulement 56 % des répondants affirment connaître ces différents standards. Il en va de même pour ce qui concerne le sujet de séquestration de CO₂. Il pourrait être judicieux de réaliser un travail de communication et d'information à ce sujet. Cependant, un tiers des répondant énonce avoir déjà été contacté à ce sujet.

Avez-vous des connaissances au sujet de la séquestration de CO₂ ?

9 réponses

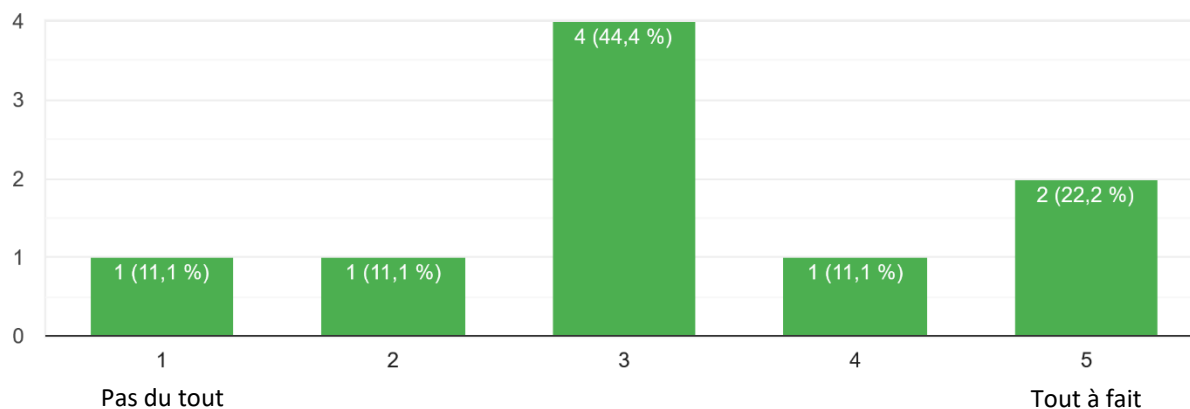


FIGURE 17 : EXTRAIT DES RÉSULTATS DU QUESTIONNAIRE AUX EXPLOITANTS SUR LA CONNAISSANCE AU SUJET DE LA SÉQUESTRATION DU CO₂

7. Identification des premiers freins liés au développement de la filière

Les deux premières phases de cette étude ont permis de faire émerger certains freins et leviers liés au développement de la valorisation du bioCO₂ issu de méthanisation, notamment au travers des différents entretiens avec de multiples acteurs de la filière.

7.1. Aspects économiques

Tout d'abord, les aspects économiques liés à la valorisation du bioCO₂ présentent plusieurs défis qui peuvent freiner le développement de petits projets. En effet, l'un des principaux obstacles réside dans les effets d'échelle. Pour les projets de petite taille, notamment ceux produisant moins de 3 ktCO₂ par an, la rentabilité peut être difficile à atteindre. Ces projets manquent souvent des volumes nécessaires pour optimiser les coûts de production et rendre leur modèle économique viable à court terme puisque cette faible échelle d'opération ne permet pas de bénéficier des économies d'échelle que l'on retrouve dans des projets de plus grande envergure.

Ensuite, la sécurisation des débouchés et la contractualisation à long terme sont des enjeux majeurs pour ces projets. En raison de l'instabilité du marché du bioCO₂, qui reste encore relativement jeune et en développement, il peut être difficile pour les petits acteurs de garantir un flux constant de clients sur le long terme. Les contrats à long terme sont essentiels pour assurer la stabilité financière du projet, mais leur négociation est souvent complexe et incertaine, surtout face à un marché qui peine à se structurer.

Cette volatilité du marché et l'incertitude de la demande rendent donc la valorisation du bioCO₂ moins attractive à court terme pour certains investisseurs ou entreprises, d'autant plus que les coûts de mise en place des infrastructures nécessaires à la capture et à la valorisation du gaz sont élevés. Par conséquent, ces conditions économiques instables peuvent devenir un frein important pour les petits projets, qui peinent à trouver un équilibre financier satisfaisant face à ces défis.

7.2. Contraintes techniques et opérationnelles

Cette incertitude économique, combinée à des difficultés à embaucher du personnel qualifié, exerce une pression supplémentaire sur la gestion des projets de valorisation du bioCO₂. Il s'agit d'un domaine technique qui nécessite des profils spécialisés dans des secteurs tels que la chimie, la gestion des gaz industriels et l'ingénierie de processus.

À cela s'ajoutent des contraintes spécifiques liées aux marchés de consommation. Par exemple, certains secteurs, comme celui des serristes (producteurs de légumes en serres), sont caractérisés par une forte saisonnalité dans leur demande de bioCO₂. Cette variation de la demande d'une saison à l'autre rend difficile la planification des volumes de production nécessaires et impose des ajustements constants dans l'organisation de la production. La gestion de cette saisonnalité exige une flexibilité dans la production et la distribution, ce qui peut être coûteux et complexe à mettre en place.

De plus, certains acteurs industriels peuvent exiger des mélanges de gaz spécifiques, tels que des mélanges de CO₂ et d'azote (50/50 ou 80/20), pour répondre à des besoins particuliers dans des secteurs comme l'alimentaire ou l'industriel. Ces exigences techniques particulières augmentent la complexité de la production et nécessitent des

équipements adaptés et un contrôle précis des gaz produits. L'adaptation à ces besoins spécifiques peut entraîner des coûts supplémentaires, tant en termes de matériel que de personnel, pour garantir que le produit final respecte les normes demandées par ces acteurs.

7.3. Partenariats et marché

Les partenariats avec des industriels sont eux aussi difficiles à établir en raison de la frilosité des acteurs pour les petits projets, ainsi que de la concurrence territoriale et de la segmentation du marché, qui oppose par exemple les usages alimentaires aux autres applications industrielles.

La complexité de certaines collaborations dans le secteur de la valorisation du bioCO₂ représente un autre frein majeur à l'expansion de ces projets, en particulier pour les petites initiatives. Les assurances exigées par certains acteurs industriels peuvent s'avérer particulièrement contraignantes. En effet, ces acteurs imposent souvent des conditions strictes en matière de responsabilité et de couverture des risques, ce qui peut entraîner des coûts supplémentaires significatifs pour les petites entreprises.

En parallèle, la frilosité des acteurs industriels face aux petits projets de valorisation du bioCO₂ constitue un autre obstacle à la croissance du secteur. De nombreux industriels, en particulier ceux de grande taille, préfèrent s'engager dans des projets plus vastes et plus sécurisés, qui présentent des garanties financières et opérationnelles plus solides. Les petits projets, malgré leur potentiel de rentabilité à long terme, sont souvent perçus comme risqués, notamment en raison de la volatilité du marché du bioCO₂ et des incertitudes associées à la rentabilité à court terme.

De plus, la demande pour le bioCO₂ reste encore insuffisante pour certains usages, ce qui limite les opportunités commerciales. Dans ce contexte, les acteurs industriels sont parfois réticents à s'engager sur des périodes prolongées la rentabilité du bioCO₂ n'étant pas toujours évidente, notamment en raison de la concurrence avec d'autres sources de gaz moins coûteuses.

Enfin, la concurrence territoriale et la segmentation du marché créent un environnement complexe pour les acteurs de la valorisation du bioCO₂. Le marché est souvent divisé en plusieurs segments d'utilisateurs finaux, tels que l'industrie alimentaire, ou encore l'industrie chimique, chacun ayant des exigences spécifiques en matière de qualité et de prix du bioCO₂. Cette segmentation peut entraîner une concurrence accrue entre les producteurs de BioCO₂, qui se battent pour répondre aux besoins de différents secteurs tout en maintenant des marges compétitives.

7.4. Réglementation et certification

Par ailleurs, bien que la réglementation, en particulier à travers la directive RED III (Renewable Energy Directive), présente des impacts positifs en matière de certification pour les projets de valorisation du bioCO₂, elle entraîne également des contraintes supplémentaires, qui varient en fonction des segments de marché visés. En effet, elle exige des normes strictes en matière de traçabilité, de qualité et de durabilité. Cela implique souvent un suivi rigoureux de l'origine et du processus de production du bioCO₂, des audits réguliers, ainsi que la mise en place de systèmes de documentation détaillés pour démontrer la conformité aux critères environnementaux.

Les contraintes sont particulièrement marquées lorsqu'il s'agit de secteurs alimentaires, où les normes de qualité et de sécurité sont plus exigeantes en raison des risques pour la santé publique (ex : certification FSSC 22000 : Food Safety System Certification). Dans ce secteur, le bioCO₂ peut être utilisé pour des applications telles que la conservation des produits alimentaires (par exemple, en tant qu'agent de conditionnement pour les produits frais). Or, l'utilisation du bioCO₂ dans ce contexte doit impérativement répondre à des exigences strictes de pureté et de traçabilité. Ces exigences sanitaires et de qualité sont bien plus strictes que pour des usages industriels non alimentaires, et leur respect nécessite des investissements supplémentaires dans les contrôles qualité et les systèmes de production. En parallèle, certaines industries peuvent également avoir des exigences particulières pour l'utilisation de gaz dans des procédés industriels, comme des mélanges spécifiques (ex : N₂ – CO₂) ou des applications nécessitant un contrôle rigoureux des paramètres de production.

En somme, bien que la réglementation RED III crée un cadre favorable à la valorisation du bioCO₂ en offrant des opportunités de certification et des avantages financiers, elle impose également des contraintes supplémentaires qui varient en fonction des segments de marché. Ces défis réglementaires peuvent représenter un frein important pour les petites entreprises.

8. Identification des premiers leviers au développement de la filière

8.1. Optimisation des processus et partenariats

L'optimisation des processus et la création de partenariats stratégiques jouent un rôle clé dans la maximisation des performances et de l'efficacité des installations de méthanisation. En concentrant les efforts sur la mutualisation des ressources et l'adoption de solutions innovantes, il est possible de répondre aux défis de la transition énergétique tout en réduisant les coûts opérationnels.

L'une des principales stratégies consiste à mettre en commun des équipements coûteux, tels que les liquéfacteurs ou les analyseurs. Cette mutualisation permet de maximiser l'utilisation de ces outils spécifiques, qui ne sont parfois nécessaires qu'à une fréquence réduite, tout en répartissant les coûts entre plusieurs installations.

Parallèlement, l'organisation d'une logistique partagée entre plusieurs sites de méthanisation permet de simplifier les flux de matières premières, les transports et la gestion des déchets. La création de circuits logistiques optimisés peut également réduire les coûts de transport et améliorer la gestion des stocks.

L'un des leviers essentiels pour une optimisation durable des installations de méthanisation réside dans la standardisation des équipements. En développant des solutions modulaires qui peuvent être adaptées aux petites installations, il devient plus facile de déployer rapidement des infrastructures tout en garantissant une certaine homogénéité dans les technologies utilisées. Cela permet d'harmoniser les processus et de simplifier la maintenance, tout en assurant des économies d'échelle et une meilleure interopérabilité entre les différents équipements et systèmes.

Pour finir, l'implication des adhérents dans des clusters ou des groupes de travail sectoriels est essentielle pour favoriser l'échange de bonnes pratiques et renforcer la coopération entre acteurs. Ces plateformes permettent de mutualiser les connaissances, d'identifier des solutions techniques innovantes et de peser sur les décisions

réglementaires et politiques liées au secteur de la méthanisation. De plus, elles assurent une visibilité accrue des acteurs auprès des parties prenantes et ouvrent des opportunités pour des partenariats commerciaux et techniques.

8.2. Soutien économique et institutionnel

Le soutien économique et institutionnel est un second levier pour stimuler le développement de projets innovants et faciliter l'intégration des solutions de méthanisation à faible émission de carbone, en particulier dans le secteur du bioCO₂. Les actions ciblées en matière de financement, de réglementation et de normalisation permettent de soutenir les acteurs de la filière et d'encourager l'innovation.

Tout d'abord, la mise en place de processus de normalisation ou d'homologation pour garantir la reconnaissance officielle du CO₂ issu de la méthanisation comme biogénique et bas carbone est primordiale. Cette reconnaissance ouvre la voie à des crédits carbone et à des certifications qui peuvent accroître la compétitivité des projets et renforcer leur légitimité sur le marché. A cela s'ajoute l'introduction d'un label vert spécifique pour les produits utilisant du bioCO₂ permettant de distinguer les produits bas carbone dans les filières industrielles et agricoles. Ce label favorise la visibilité des produits durables, renforce la confiance des consommateurs et encourage les entreprises à adopter des pratiques respectueuses de l'environnement.

En parallèle, des subventions spécifiques sont nécessaires pour soutenir la recherche et le développement dans le domaine de la méthanisation et de l'utilisation du CO₂. Les aides de la BPI (Banque publique d'investissement) et des subventions régionales peuvent faciliter l'implantation de nouvelles technologies, l'amélioration des processus existants et l'expansion des projets pilotes. Des incitations fiscales telles que des crédits d'impôt ou des déductions sur les investissements verts seraient également des leviers efficaces pour alléger les charges fiscales des projets innovants en bioCO₂. Ces mesures incitent les entreprises à investir dans des technologies écologiques et à adopter des pratiques bas carbone, contribuant ainsi à l'atteinte des objectifs climatiques nationaux et européens.

D'autre part, la mise en place de réglementations plus flexibles et simplifiées permettrait d'accélérer le déploiement de projets pilotes dans le domaine de la méthanisation et de la capture du CO₂. Un cadre juridique et législatif clair, simplifié et bien adapté encouragerait l'innovation et permettrait aux entreprises de tester de nouvelles solutions dans un environnement sécurisé, sans obstacles bureaucratiques majeurs. Des réglementations qui encouragent l'utilisation du bioCO₂, par exemple via des incitations à la valorisation du CO₂ dans des applications industrielles, permettraient de dynamiser le secteur et d'accélérer la commercialisation de nouvelles solutions technologiques.

En soutenant ces initiatives par des politiques publiques appropriées et des mécanismes de financement ciblés, il devient possible de créer un environnement propice à l'émergence de projets innovants et de développer des solutions bas carbone bénéfiques pour l'ensemble de la société.

8.3. Développement des marchés émergents

En premier lieu, la recherche sur des technologies permettant de convertir le CO₂ en produits chimiques ou matériaux à forte valeur ajoutée est cruciale pour transformer ce gaz en une ressource utile. Des investissements soutenus dans des domaines tels que la production de polymères, de méthanol ou d'autres produits chimiques pourraient permettre de créer de nouvelles filières industrielles basées sur la valorisation du CO₂. Ces solutions permettent de diversifier les applications du CO₂ et de créer des chaînes de valeur autour de son recyclage, tout en réduisant les émissions.

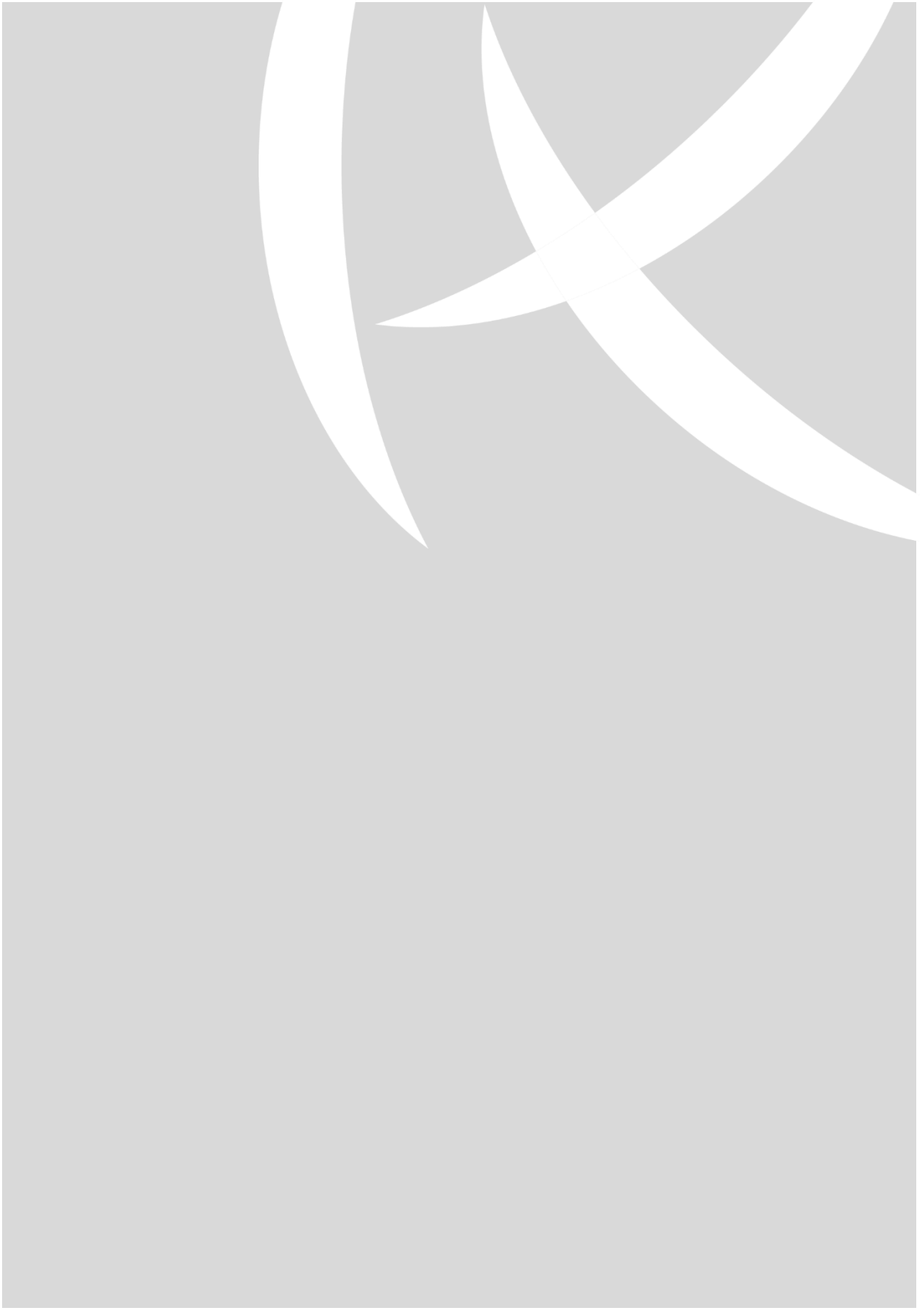
De même, le développement d'e-carburants et de béton recyclé représente un levier stratégique pour décarboner des secteurs difficiles à électrifier ou à décarboner directement. Les e-carburants, produits à partir de CO₂ capté, constituent une solution prometteuse pour les transports, notamment dans l'aviation et le secteur maritime. De même, l'intégration du CO₂ dans la production de béton recyclé permettrait de réduire significativement les émissions de ce secteur particulièrement énergivore.

Afin de rendre la capture et la valorisation du CO₂ économiquement viables à grande échelle, il est donc nécessaire d'investir dans l'innovation technologique. Cela inclut le financement de solutions permettant de réduire les coûts de capture du CO₂, d'améliorer l'efficacité des processus de conversion en produits et matériaux, et de rendre ces technologies accessibles à une large gamme d'industries.

Ces investissements stratégiques dans des technologies alternatives, combinés à un soutien à la recherche et à l'innovation, permettent de maximiser le potentiel de valorisation du CO₂ et de soutenir les efforts de décarbonation dans des secteurs clés de l'économie.

9. Principaux chiffres clefs en synthèse

- ▶ Le département dispose près de 45 sites de méthanisation en injection ce qui représente un potentiel actuel de production identifié de 82,5 kt CO₂/an.
- ▶ La bioraffinerie de Grandpuits présente un potentiel de 119 kt CO₂/an (dont minimum 45 kt de CO₂ d'origine biogénique).
- ▶ 41 industries consommatrices de CO₂ ont été identifiées sur le territoire, ce qui représente un potentiel actuel de consommation identifié de **8,2 kt CO₂/an**
- ▶ Aujourd'hui, sur le territoire de Seine-et-Marne environ 2 millions de tonnes de granulats recyclés sont produits, ce qui permettrait une séquestration théorique de **100 kt de CO₂ par an**.
- ▶ A ce jour, un certain nombre d'exploitants méthaniseurs (22% des répondants au questionnaire) valorisent leur CO₂ ou sont en procédure pour le valoriser. Parmi les répondants, ceux qui ne valorisent pas encore leur bioCO₂, 100 % affirment être intéressés par une potentielle valorisation de leur CO₂.
- ▶ 77,8 % des répondants des méthaniseurs affirment être tout à fait prêts à investir dans la mise en place d'un projet de valorisation de BioCO₂. Nous rappelons le probable biais d'analyse du fait que les répondants peuvent être considérés comme les plus intéressés par ce sujet.



ETUDE DU POTENTIEL DE CONSOMMATION DE CO2 BIOGENIQUE DE METHANISATION SUR LE TERRITOIRE DE SEINE-ET-MARNE

Rapport de phase 4

Mai 2025

Département de Seine-et-Marne



CLIENT

RAISON SOCIALE	Département de Seine-et-Marne
COORDONNÉES	Hôtel du département 12 rue des Saints-Pères 77000 Melun
INTERLOCUTEUR (nom et coordonnées)	Madame Sophie KUHN Tél. 01 64 14 79 45 / 06 46 52 25 29 sophie.kuhn@departement77.fr

S3d Ingénierie

COORDONNÉES	4, rue Viviani – CS26220 44262 NANTES Cedex 2 Tél. 02.51.17.82.94 - Fax 02.51.13.57.65 E-mail : contact@sol3d.com
INTERLOCUTEUR (nom et coordonnées)	Mme Carolina ROJAS Tél. 02 51 17 82 97 / +33 6 16 17 97 68 E-mail : rojas@sol3d.com

SIGNATAIRE

Numéro Omega	DATE	RÉVISION DU DOCUMENT	OBJET DE LA RÉVISION	RÉDACTEUR	CONTRÔLE QUALITÉ
241015	25/05/25	Version 1	Création	NLO	CRO

Sommaire

1. Contexte de l'étude.....	7
2. Avant-propos	8
2.1. Valorisation de CO₂ issue des unités de méthanisation	8
2.2. Référentiels qualité autour du CO₂.....	8
3. Etablissement des scénarios.....	9
3.1. Choix des modèles d'étude	9
3.2. Ration entrante	10
4. Evaluation économique.....	11
4.1. Scope d'étude.....	11
4.2. Hypothèses d'étude.....	11
4.3. Résultats.....	12
4.3.1. Investissements et charges liés à la valorisation du bioCO ₂ de méthanisation	12
4.3.2. Décomposition du coût de production de bioCO ₂ suivant les scénarios de valorisation.....	13
4.3.3. Sensibilité du TRI au prix de vente du bioCO ₂	14
4.3.4. Sensibilité du nombre d'unités dans le HUB sur le prix de vente du bioCO ₂	17
4.3.5. Coût de transport du CO ₂ liquide	18
4.3.6. Synthèse des résultats	19
5. Bilan de gaz à effet de serre de l'unité de méthanisation	19
5.1. Principe du bilan GES et présentation de la méthodologie	19
5.1.1. Principe	19
5.1.2. Méthode de calcul	20
5.1.3. Frontières du système.....	21
5.2. Résultats.....	22
5.2.1. Méthode de substitution	22

5.2.2. Méthode d'allocation économique.....	23
5.2.3. Bilan des résultats	23
6. Conclusion.....	25

Liste des figures

Figure 1 : Etapes de production de BioCO₂ issu de méthanisation	8
Figure 2 : Ressources organiques méthanisées en 2022 en Ile de France (en % du tonnage de matière brute) (Hors STEP).....	10
Figure 3 : Système considéré pour le calcul des CAPEX et OPEX.....	11
Figure 4 : Impact du prix de vente du CO₂ sur le TRI projet (scénario 1.b)	15
Figure 5 : Impact du prix de vente du CO₂ sur le TRI projet (scénario 1.c)	15
Figure 6 : Impact du prix de vente du CO₂ sur le TRI projet (scénario 2.b)	16
Figure 7 : Impact du prix de vente du CO₂ sur le TRI projet (scénario 2.c)	17
Figure 8 : Impact du nombre de méthaniseurs dans le HUB sur le prix de vente du bioCO₂ selon le grade de valorisation	18
Figure 9 : Exemple de substitution des émissions GES liées à la production de CO₂ par méthanisation.....	21
Figure 10 : Exemple d'allocation des émissions GES liées à la production de CO₂ par méthanisation.....	22

Liste des tableaux

Tableau 1 : Référentiels qualité autour du CO₂	9
Tableau 2 : 6 scénarios étudiés	10
Tableau 3 : Coûts des équipements liés à la valorisation de CO₂ pour une unité produisant autour de 3 000 tCO₂/an	12
Tableau 4 : Résultats des CAPEX et OPEX totaux des méthaniseurs selon la valorisation du bioCO₂ produit	13
Tableau 5 : Décomposition du coût de production du bioCO₂ selon le type de valorisation	13
Tableau 6 : Prix minimus de vente du CO₂ incluant les frais de transport	19
Tableau 7 : Résultats du bilan GES selon la méthode de substitution	22
Tableau 8 : Résultats du bilan GES selon la méthode d'allocation économique	23
Tableau 9 : Rappel des scénarios étudiés	25
Tableau 10 : Bilan de l'étude économique	25
Tableau 11 : Bilan de l'étude environnementale	25

1. Contexte de l'étude

En 2020, le Département de Seine-et-Marne s'est engagé pour accompagner la transition vers une énergie verte, décarbonée et renouvelable, en initiant une politique partenariale en faveur de la production de biométhane : CapMétha77. Cette politique fédère et engage à travers une charte 9 acteurs, le Département, la Préfecture du Département, l'ADEME, la Région Ile-de-France, la Chambre d'agriculture de région Ile-de-France, le Syndicat départemental des énergies de Seine-et-Marne (SDESM), l'Association des Maires et des Présidents d'EPCI de Seine-et-Marne (AMF77), GRDF et Natran, sur 2 grands objectifs : atteindre 75% d'autonomie gaz pour les usages résidentiels à horizon 2030 par la production de biométhane issu principalement d'une méthanisation agricole et contribuer à une mobilité décarbonée par le soutien au développement du bioGNV. Dans un contexte de hausse global des coûts, la filière a vocation à trouver de nouveaux débouchés permettant une plus-value économique de ses externalités. La valorisation du CO₂, jusqu'alors sous-exploitée, devient alors une piste inévitable pour améliorer la compétitivité de la filière.

Dans ce cadre, S3d Ingénierie a été missionné pour réaliser une étude du potentiel de consommation de CO₂ biogénique de méthanisation sur le territoire de Seine-et-Marne. Dans la première phase de cette étude, S3d Ingénierie a réalisé **un état des lieux territorialisé et sectorialisé des consommateurs de CO₂** par le biais d'une enquête terrain dans le but d'identifier les volumes approximatifs de CO₂ consommés par le territoire de Seine-et-Marne, les états du CO₂ (solide, liquide, neige carbonique, ...), les secteurs d'activités et l'évolution de ces consommations à horizon 2030. Cette enquête a été complétée par des échanges avec des importants fournisseurs actuels de CO₂ (Air Liquide, Nippon Gases, ...). L'objectif de la seconde phase a ensuite été d'**identifier l'intérêt des porteurs de projets et exploitants méthaniseurs à s'engager dans la valorisation du bioCO₂ produit par leurs sites**. En effet, certains producteurs n'ont jamais envisagé la valorisation de ce co-produit alors que d'autres ont déjà engagé des réflexions voire des démarches à ce sujet. L'ensemble de ces entretiens ont permis dans une 3^{ème} phase de **préciser de premiers freins et leviers autour du développement des projets de valorisation du BioCO₂ sur le territoire**.

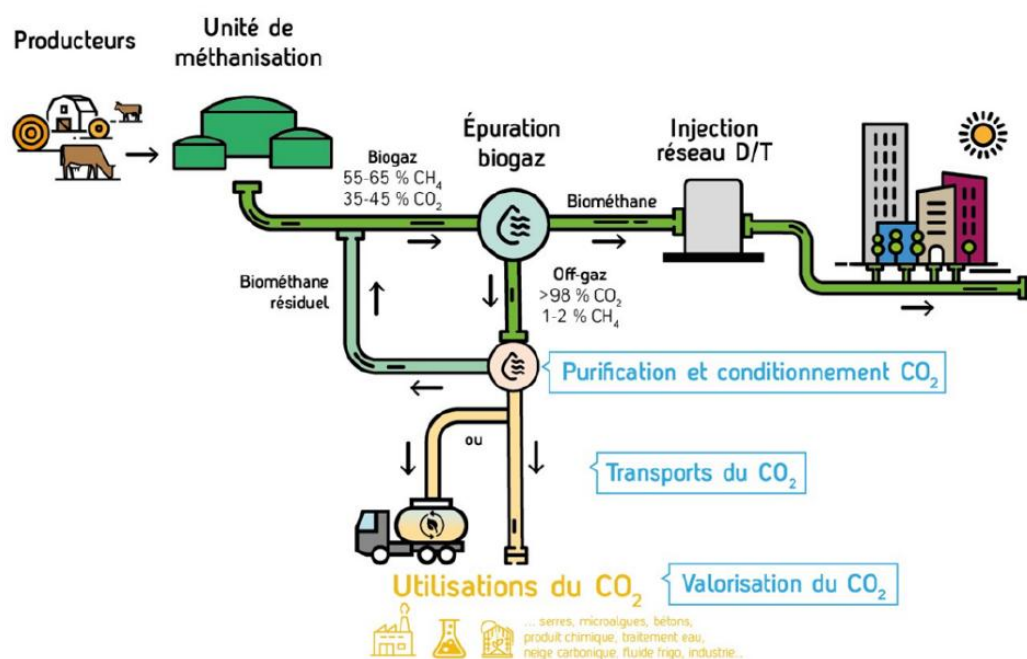
Le présent rapport conclut l'étude avec une **étude économique et environnementale de la mise en place de la brique de valorisation de CO₂ sur des méthaniseurs représentatifs du territoire**.

2. Avant-propos

2.1. Valorisation de CO₂ issue des unités de méthanisation

La **méthanisation** est un procédé de valorisation énergétique de déchets fermentescibles. Dans un milieu privé d'oxygène, dit anaérobie, et chauffé, la matière organique se dégrade et produit un biogaz composé principalement de méthane (50 – 70 %) et de dioxyde de carbone (20 – 50 %), ainsi que du digestat. Avant injection, le biogaz subit une étape d'épuration afin d'obtenir un biométhane chargé à minimum 97,5 % en CH₄. Cette étape d'épuration libère alors des off-gaz chargés en CO₂. Ces off-gaz sont usuellement rejetés à l'atmosphère, le CO₂ étant considéré comme biogénique. Il est alors possible de récupérer ce CO₂, de le purifier afin d'atteindre les spécifications qualité requises selon ses usages finaux, et de le liquéfier afin de faciliter son stockage et son transport.

Le schéma ci-dessous représente les différentes étapes de production de BioCO₂ (co-produit) par une unité de méthanisation :



GRDF ©

FIGURE 1 : ETAPES DE PRODUCTION DE BIOCO₂ ISSU DE MÉTHANISATION

2.2. Référentiels qualité autour du CO₂

Le précédent rapport a mis en lumière les différents domaines d'utilisation du CO₂ et ses différentes formes. Pour rappel, toutes les applications ne requièrent pas le même degré de pureté du CO₂, ne nécessitent pas la même traçabilité et n'ont pas la même taille de marché.

Comme énoncé précédemment, le BioCO₂ peut être commercialisé pour des usages alimentaires ou industriels. Concernant la qualité alimentaire, la spécification EIGA (European Industrial Gases Association) ou additif E290 sont la

référence dans le domaine. Pour atteindre la qualité requise, une purification du CO₂ sortant d'épuration est nécessaire. La traçabilité et la qualité du produit doit se faire par différentes analyses.

Le tableau ci-dessous dresse les spécificités requises selon différentes applications :

TABLEAU 1 : RÉFÉRENTIELS QUALITÉ AUTOUR DU CO₂

	Serres agricoles	Qualité industrielle	Qualité alim. (E290)	Référentiel EIGA
CO₂	Indifférent	> 97 %	> 99 %	> 99,9 % v/v.
Humidité	-	> 200 ppmv	-	< 20 ppm v/v
Ammoniac	-	Selon utilisateur	-	< 2,5 ppm v/v
Composés azotés	< 1 050 ppm v/v en NO et NO ₂	Selon utilisateur	-	< 2,5 ppm v/v en NO et NO ₂
Huiles	-	Selon utilisateur	< 5 ppm	< 5 ppm m/m
Monoxyde de carbone	< 75 000 ppmv	Selon utilisateur	< 10 ppm	< 10 ppm v/v
Composés soufrés	< 105 ppmv (SO ₂)	Selon utilisateur	-	< 0,1 ppm v/v

3. Etablissement des scénarios

3.1. Choix des modèles d'étude

Les précédentes phases de l'étude ont permis d'établir un état des lieux des potentiels producteurs de bioCO₂ de méthanisation du territoire. Pour rappel, la moyenne des unités de Seine-et-Marne se situe autour de 20 GWh/an soit environ 200 Nm³CH₄/h. Cependant, les acteurs rencontrés lors des phases antérieures estiment la capacité minimale des unités de valorisation du CO₂ à 3 kt/an pour atteindre une rentabilité économique satisfaisante.

Il a donc été décidé d'étudier 2 scénarios :

- Modèle 1 : 1 unité type, valorisant 300 Nm³CH₄/h
- Modèle 2 : Hub de 3 méthaniseurs de 200 Nm³CH₄/h

Le modèle 2 : HUB de méthaniseurs (partie 4.1 du rapport des phases 1, 2 et 3) permettra de déterminer si la mise en commun des équipements liés à la valorisation de CO₂ (liquéfacteur, analyseur) pourrait permettre à de plus petites unités de se lancer dans la valorisation du CO₂ grâce à la mutualisation des coûts.

Il est également intéressant d'analyser l'impact du grade de qualité du CO₂ produit sur la rentabilité de l'installation. En définitif, 6 scénarios sont à l'étude :

TABLEAU 2 : 6 SCÉNARIOS ÉTUDIÉS

1. Unité seule de 300 Nm³CH₄/h	2. Hub de 3 unités de 200 Nm³CH₄/h
1.a) Sans valorisation de CO₂	2.a) Sans valorisation de CO₂
1.b) Avec valorisation simple de CO₂	2.b) Avec valorisation simple de CO₂
1.c) Avec valorisation de CO₂ grade alimentaire	2.c) Avec valorisation de CO₂ grade alimentaire

3.2. Ration entrante

D’après une étude de L’INSTITUT PARIS REGION sur le Bilan de fonctionnement 2022 des unités de méthanisation en Île-de-France publié en avril 2024, la ration du territoire serait principalement végétale.

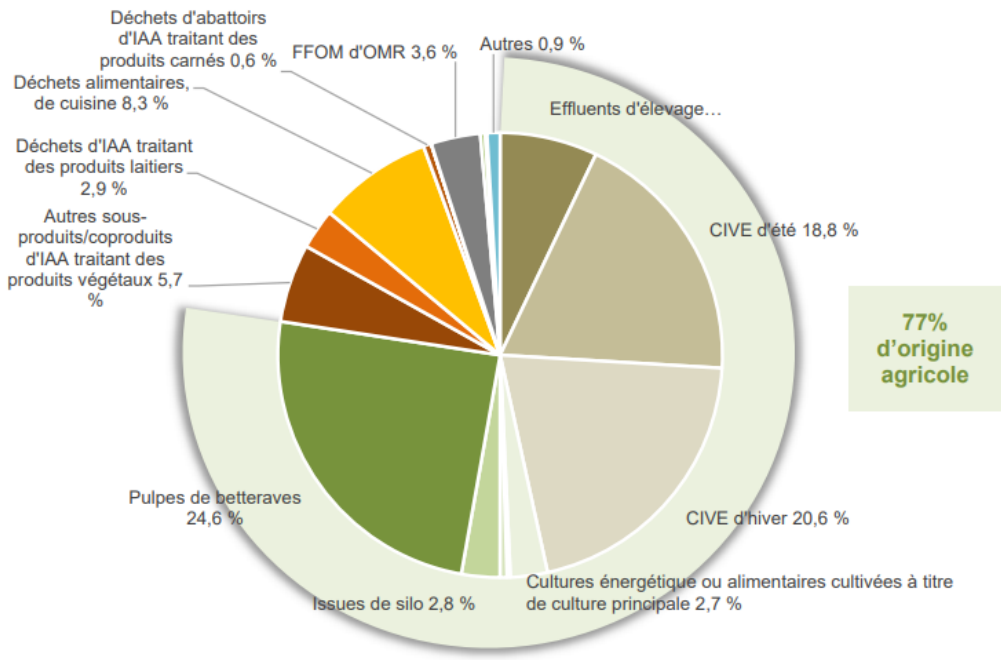


FIGURE 2 : RESSOURCES ORGANIQUES MÉTHANISÉES EN 2022 EN ILE DE FRANCE (EN % DU TONNAGE DE MATIÈRE BRUTE) (HORS STEP)

Pour cette étude la ration a donc été fixée comme suit pour tous les scénarios énoncés précédemment :

- ▶ 50% CIVE
- ▶ 20% coproduits agricoles (issues de céréales et pulpes de betteraves)
- ▶ 20% fumiers
- ▶ 10% coproduits agroindustriels (boues graisseuses)

4. Evaluation économique

4.1. Scope d'étude

Afin d'identifier l'intérêt des porteurs de projets et exploitants méthaniseurs à s'engager dans la valorisation du bioCO₂ produit par leurs sites, S3d Ingénierie a effectué une évaluation économique des différents scénarios présentés précédemment. Les CAPEX et OPEX ont été estimés sur la totalité de la chaîne de production du biométhane et du bioCO₂ allant du transport des substrats méthanisés à la gestion des produits (injection du CH₄, liquéfaction du CO₂, épandage du digestat).

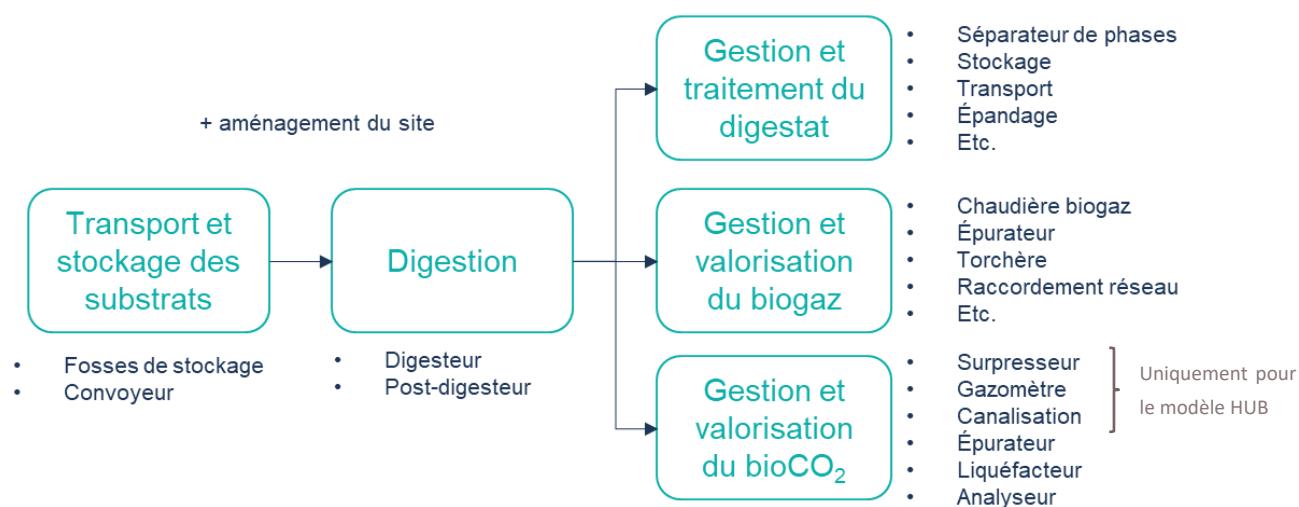


FIGURE 3 : SYSTÈME CONSIDÉRÉ POUR LE CALCUL DES CAPEX ET OPEX

Concernant la brique de valorisation du CO₂, cette dernière comprend les équipements suivants :

- ▶ Colonne de distillation (pour atteindre la pureté de CO₂ exigée)
- ▶ Liquéfacteur
- ▶ Analyseur (adapté à la qualité de CO₂ requise)

Le modèle 2 implique des équipements supplémentaires liés au transport de la molécule de CO₂ vers les équipements mutualisés, à savoir l'épurateur, le liquéfacteur et l'analyseur :

- ▶ Gazomètre pour stocker le CO₂ sur le site de méthanisation
- ▶ Un surpresseur
- ▶ Canalisations en polyéthylène (PE)

4.2. Hypothèses d'étude

Des hypothèses d'étude ont été fixées pour pouvoir réaliser les modélisations technico-économiques et ainsi permettre la comparaison des différents scénarios.

Hypothèses économiques

- ▶ Fonds propres : 15% des CAPEX
- ▶ Taux de subventions : 15% des CAPEX
- ▶ Durée d'amortissement : 15 ans
- ▶ Coût de l'électricité : 0,3 MWh / tCO₂ et 120 € / MWh
- ▶ Coûts d'investissement des équipements :

TABEAU 3 : COÛTS DES ÉQUIPEMENTS LIÉS À LA VALORISATION DE CO₂ POUR UNE UNITÉ PRODUISANT AUTOUR DE 3 000 TCO₂/AN

Équipement	Coût d'investissement
Unité de valorisation bioCO ₂ (compression, filtration, séchage, liquéfaction)	740 k€
Colonne de distillation (qualité alimentaire)	148 k€
Analyseur qualité CO ₂ liquide sortie d'unité	47 k€
Analyseur qualité CO ₂ liquide sortie d'unité (qualité alimentaire)	481 k€
Cuve stockage CO ₂ liquide 40 T	95 k€
Gazomètre 25 mbar	100 k€
Surpresseur	7,5 k€
Canalisation transport CO ₂ gazeux	120 €/m

Hypothèses supplémentaires pour le HUB

- ▶ Distance entre 2 méthaniseurs de 5km, basée sur les distances moyennes entre méthaniseurs proches sur le département de Seine-et-Marne
- ▶ Un demi ETP supplémentaire pour gérer la partie administrative ainsi que les analyses du CO₂ produit
- ▶ Mutualisation de certains équipements liés à la valorisation du CO₂ : épurateur, liquéfacteur, analyseur

4.3. Résultats

4.3.1. Investissements et charges liés à la valorisation du bioCO₂ de méthanisation

Dans un premier temps, une estimation des investissements et charges liés à la valorisation du bioCO₂ produit par méthanisation a été établie.

TABLEAU 4 : RÉSULTATS DES CAPEX ET OPEX TOTAUX DES MÉTHANISEURS SELON LA VALORISATION DU BIOCO₂ PRODUIT

	Unité de 300 Nm ³ CH ₄ /h		HUB de 3 unités de 200 Nm ³ CH ₄ /h	
	CAPEX	OPEX	CAPEX/unité	OPEX/unité
Sans valorisation de bio CO ₂	12 500 k€	1 900 k€	9 100 k€/an	1 300 k€/an
Avec valorisation simple de bio CO ₂	13 500 k€	2 000 k€	10 200 k€/an	1 400 k€/an
Avec valorisation de bio CO ₂ grade alimentaire	14 100 k€	2 000 k€	10 400 k€/an	1 400 k€/an

Il est à noter que l'évaluation économique a été effectuée sur des unités théoriques. Les résultats sont donc à une précision de plus ou moins 30%.

Globalement, l'ajout de la brique de valorisation de CO₂ ajoute un coût d'investissement entre 1 et 1,6 M€ par rapport à une unité qui rejette ses off gaz à l'atmosphère. Cependant l'écart de CAPEX entre les différentes qualités de CO₂, qui est principalement lié au coût de l'analyseur qui augmente significativement pour le grade alimentaire, est plus faible pour les unités en HUB que pour l'unité seule grâce à la mutualisation d'équipements.

4.3.2. Décomposition du coût de production de bioCO₂ suivant les scénarios de valorisation

La méthodologie de décomposition du coût de production du bioCO₂ permet de peser l'impact des différents posts sur les investissements et les charges ainsi que l'intérêt ou non pour un méthaniseur de rejoindre un HUB.

Les résultats obtenus sont les suivants :

TABLEAU 5 : DÉCOMPOSITION DU COÛT DE PRODUCTION DU BIOCO₂ SELON LE TYPE DE VALORISATION

		Unité seule de 300 Nm ³ /h		HUB de 3 unités de 200 Nm ³ /h	
		Valorisation simple	Grade alimentaire	Valorisation simple	Grade alimentaire
CAPEX à la tonne de CO ₂ produit	Valorisation du CO ₂	21 €	33 €	17 €	24 €
	Transport HUB*	0 €	0 €	18 €	18 €
	Total	21 €	33 €	35 €	42 €
	Electricité	36 €	36 €	36 €	36 €
	ETP	0 €	0 €	4 €	4 €

OPEX à la tonne de CO₂ produit	Total	36 €	36 €	40 €	40 €
Coût de production total du CO₂ à la tonne produite**		57 €	69 €	75 €	82 €

* Entre les unités de méthanisation et l'unité de liquéfaction mutualisée

** Hors transport utilisateur final

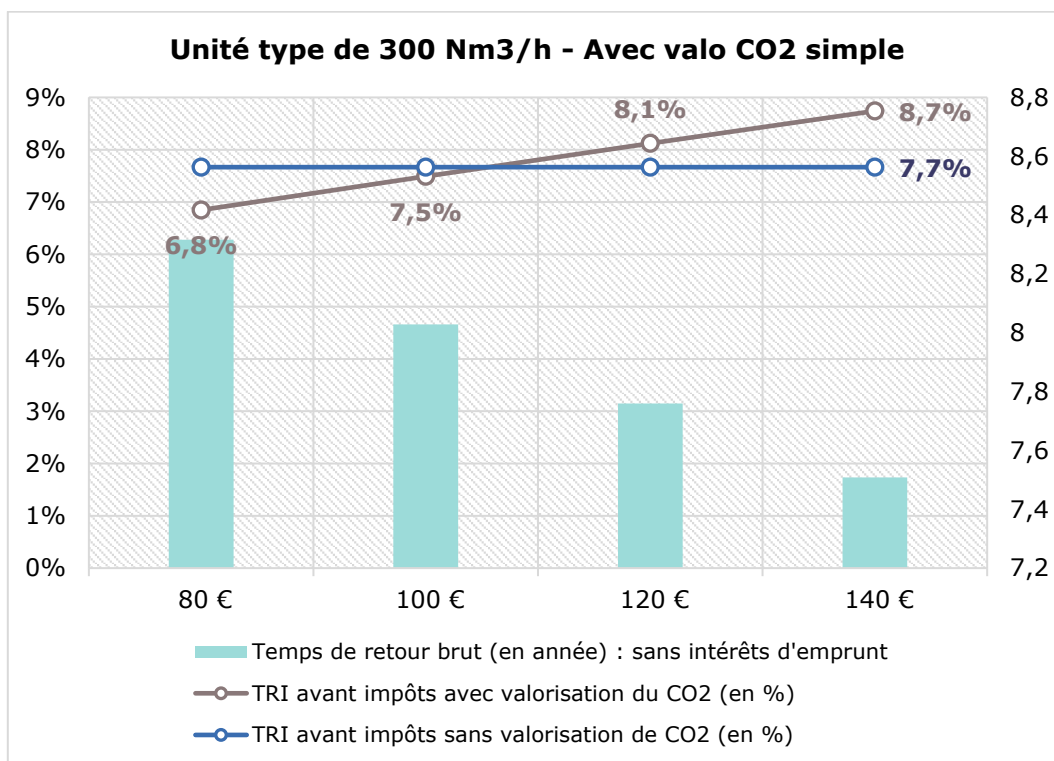
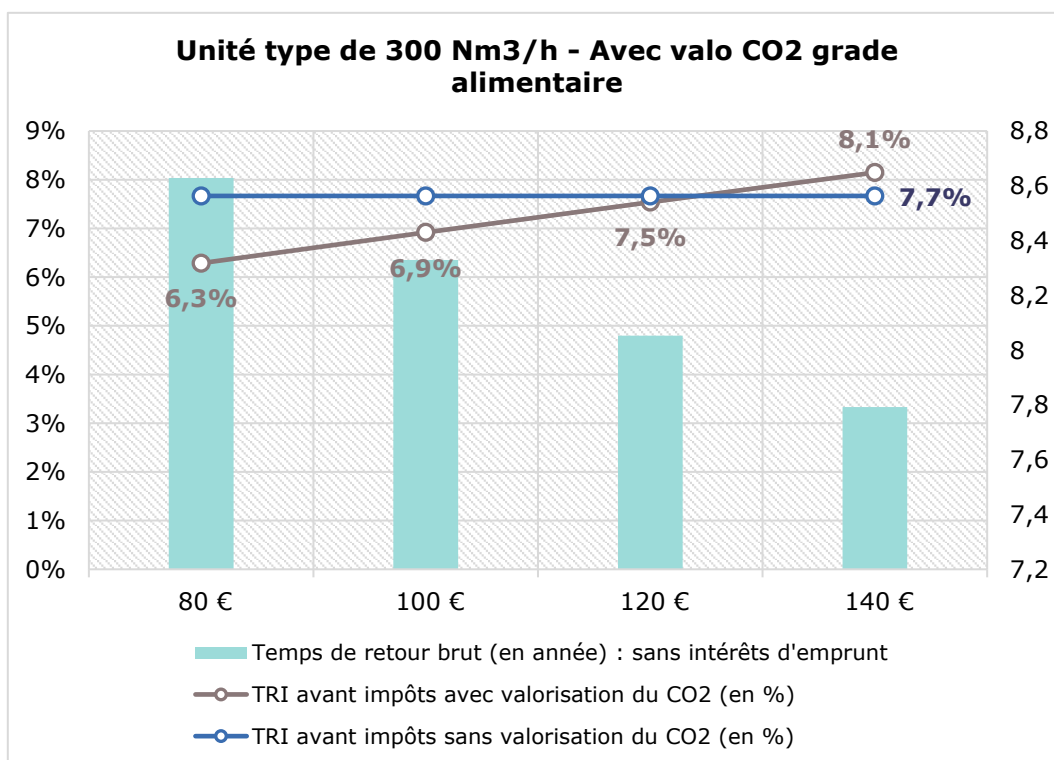
Les OPEX rapportés à la tonne de CO₂ produite sont équivalents dans les 4 scénarios d'étude. L'écart est lié à l'ajout d'un demi ETP dans le modèle HUB qui n'est pas nécessaire dans le modèle unité seule.

Parallèlement, les CAPEX du modèle HUB sont plus élevés que ceux du modèle unité seule. En effet, les investissements des équipements de valorisation du CO₂ sont repartis entre les unités mais ce gain est contrebalancé par le coût important des canalisations de transport de la molécule de CO₂ gazeuse vers le liquéfacteur et l'analyseur.

En somme, le coût de production total du CO₂ à la tonne produite (hors coût de transport) est plus élevé en configuration HUB, et la rend donc moins intéressante. Cependant les résultats obtenus restent cohérents avec les prix du marché identifiés lors des précédentes phases de l'étude.

4.3.3. Sensibilité du TRI au prix de vente du bioCO₂

Le prix de vente du bioCO₂ (ici hors transport) a un impact significatif sur la rentabilité de l'unité de méthanisation. L'exercice a donc été mené de faire varier le prix de vente du CO₂ et d'analyser son impact sur le taux de rentabilité interne (TRI).

4.3.3.1. Modèle 1 : Unité de 300 Nm³CH₄/hFIGURE 4 : IMPACT DU PRIX DE VENTE DU CO₂ SUR LE TRI PROJET (SCÉNARIO 1.B)FIGURE 5 : IMPACT DU PRIX DE VENTE DU CO₂ SUR LE TRI PROJET (SCÉNARIO 1.C)

La courbe bleue (à 7,7 % de TRI) représente le TRI de l'unité de méthanisation de 300 Nm³CH₄/h avant valorisation du bioCO₂. Elle permet de déterminer à partir de quel coût de vente du bioCO₂ produit, la rentabilité initiale de l'unité n'est pas détériorée.

De ce fait, pour le modèle 1, le prix minimum de vente du CO₂ pour retrouver le TRI de l'unité sans valorisation du CO₂ (7,7 %) est de :

- ▶ 105 € / tCO₂ en valorisation simple
- ▶ 125 € / tCO₂ en valorisation grade alimentaire

Ces données sont en accord avec les données récoltées en phase 2 de l'étude. Attention ces prix de vente ne comprennent pas le coût de transport vers l'utilisateur final qui sera pris en compte plus tard dans le rapport (partie 4.3.5).

4.3.3.2. Modèle 2 : HUB de 3 unités de 200 Nm³CH₄/h

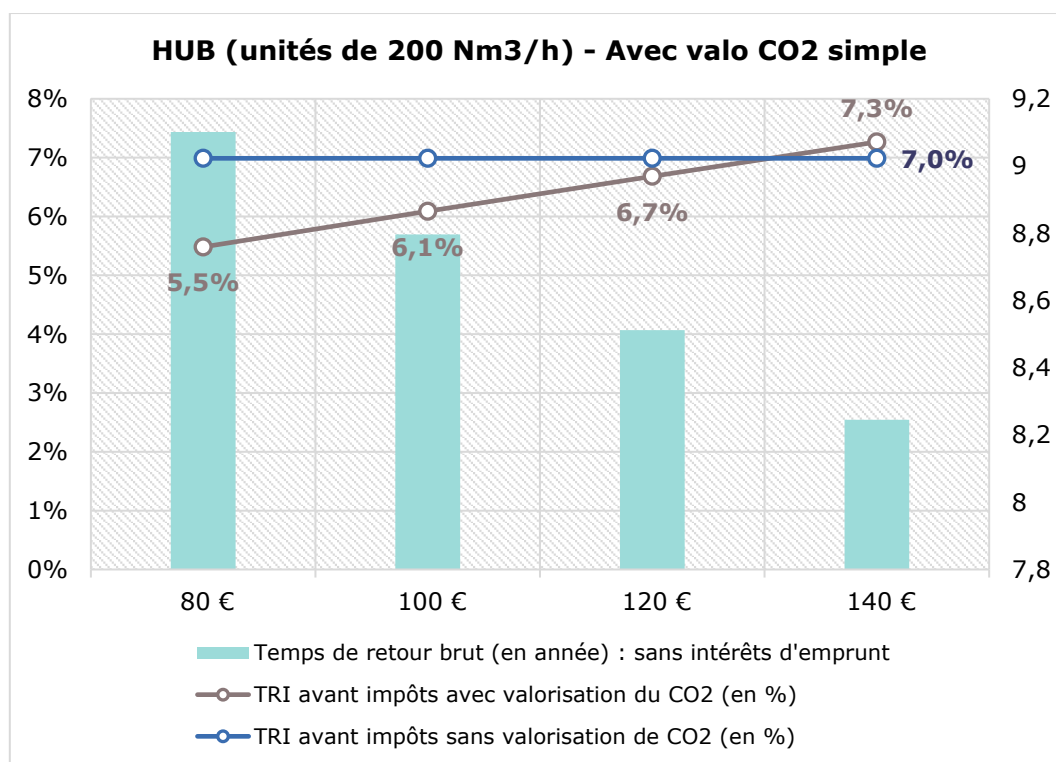
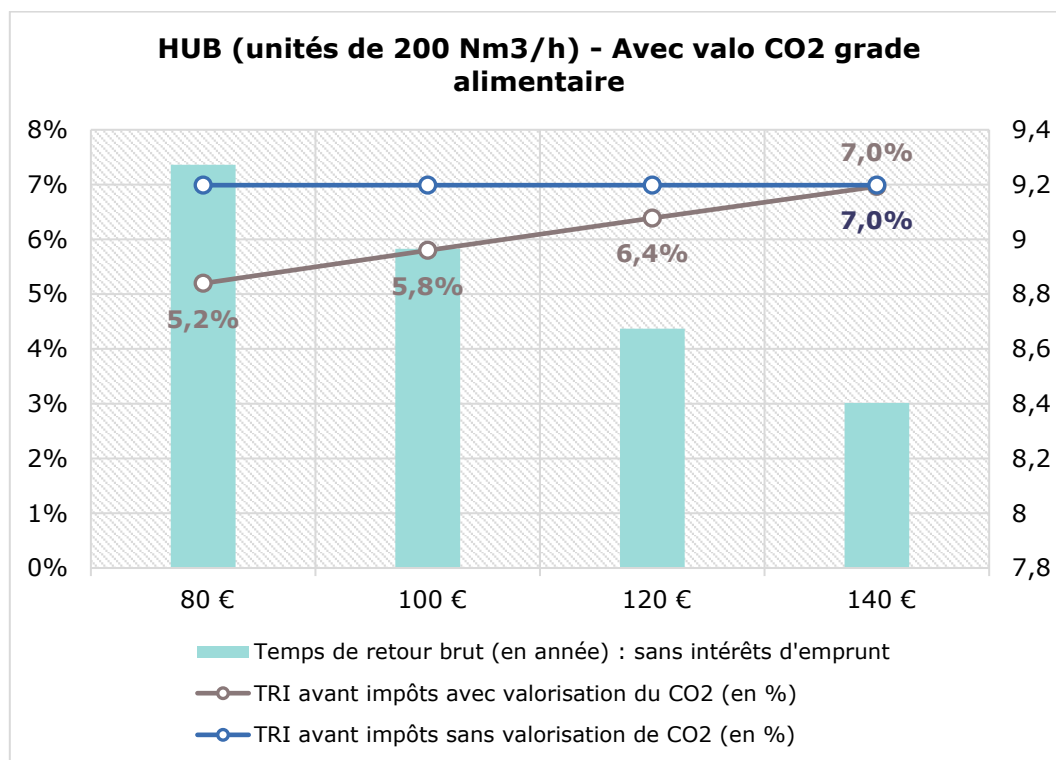


FIGURE 6 : IMPACT DU PRIX DE VENTE DU CO₂ SUR LE TRI PROJET (SCÉNARIO 2.B)

FIGURE 7 : IMPACT DU PRIX DE VENTE DU CO₂ SUR LE TRI PROJET (SCÉNARIO 2.C)

Cette même analyse a également été effectuée sur le modèle HUB de 3 méthaniseurs de 200 Nm³CH₄/h. Avant valorisation du bioCO₂, le TRI de référence pour une unité seule de 200 Nm³CH₄/h obtenu est de 7,0 %.

En outre, pour le modèle 2, le prix minimum de vente du CO₂ pour retrouver le TRI de l'unité sans valorisation du CO₂ (7,0 %) est de :

- ▶ 130 € / tCO₂ en valorisation simple
- ▶ 140 € / tCO₂ en valorisation grade alimentaire

Ces prix de vente sont toujours sans le coût de transport vers l'utilisateur final qui sera pris en compte plus tard dans le rapport (partie 4.3.5).

4.3.4. Sensibilité du nombre d'unités dans le HUB sur le prix de vente du bioCO₂

En deuxième lieu, l'impact du nombre de méthaniseurs impliqués dans le HUB sur le prix de vente du bioCO₂ en fixant la rentabilité des unités à 7,0 % (TRI sans valorisation du CO₂) a également été étudié.

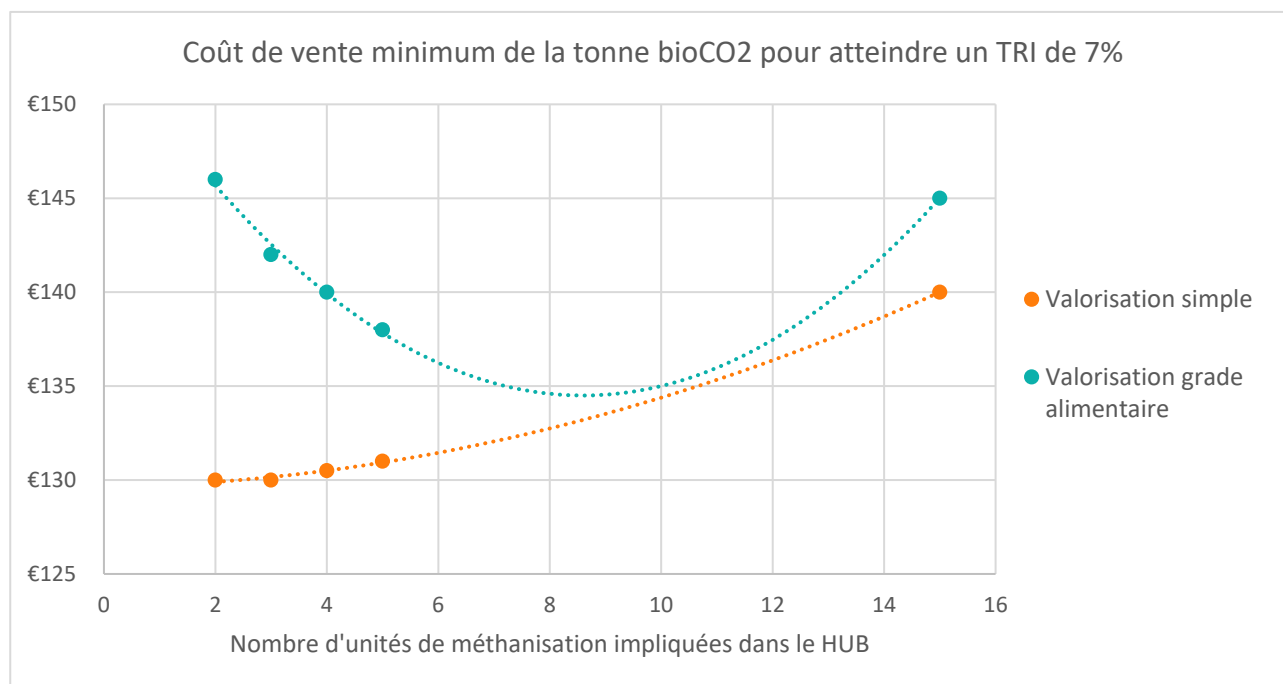


FIGURE 8 : IMPACT DU NOMBRE DE MÉTHANISEURS DANS LE HUB SUR LE PRIX DE VENTE DU BIOCO₂ SELON LE GRADE DE VALORISATION

Tout d'abord, le graphique ci-dessus met en évidence que la mise en configuration HUB présente peu d'intérêts pour les méthaniseurs dans le cadre d'une valorisation de grade simple. En effet, le coût des équipements de valorisation de CO₂ se retrouve vite dépassé par les coûts de canalisations pour le transport de la molécule de CO₂ gazeuse jusqu'aux équipements mutualisés (liquéfacteur et analyseur).

D'autre part, dans le cadre d'une valorisation du CO₂ de grade alimentaire, la configuration HUB permet d'abaisser le prix de vente du CO₂ (pour un même TRI) jusqu'à 8 unités environ. Au-delà, le coût de vente du CO₂ re-augmente. Cela est lié aux CAPEX du transport du CO₂ gazeux par canalisation vers le HUB qui deviennent prépondérants face aux économies dues à la mutualisation d'équipements coûteux dont l'analyseur. Attention, cette étude n'est basée que sur l'économie du projet et ne tient pas compte des contraintes d'implantation qui seront également à étudier dans le cadre de la mise en place d'un HUB (espace disponible, plan local d'urbanisme, zones réglementées, etc).

Pour rappel, la distance moyenne entre les méthaniseurs a été fixée à 5km (représentative du territoire). Cette dernière a un impact non-négligeable sur la rentabilité des projets dû à l'important coût des canalisations de transport (120 €/m).

4.3.5. Coût de transport du CO₂ liquide

Jusqu'à présent le coût de transport n'a pas été pris en compte dans l'étude économique des différents scénarios. Cependant, le coût de transport du CO₂ liquéfié varie typiquement entre 15 et 50 €/tCO₂ pour des distances inférieures à 200 km et peut représenter un coût significatif des projets.

Les prix minimums de vente du bioCO₂ pour ne pas dégrader la rentabilité de l'unité de méthanisation et comprenant le transport ont donc été calculés et sont les suivants :

TABLEAU 6 : PRIX MINIMUS DE VENTE DU CO₂ INCLUANT LES FRAIS DE TRANSPORT

	Unité de 300 Nm ³ /h	Hub de 3 unités de 200 Nm ³ /h
Avec valorisation simple de bioCO ₂	120 - 155 € / t CO ₂	145 - 180 € / t CO ₂
Avec valorisation de bioCO ₂ grade alimentaire	140 - 175 € / t CO ₂	155 - 190 € / t CO ₂

Ces prix de vente sont très cohérents avec le prix marché du CO₂ identifié dans les précédentes phases de l'étude (MDCO₂ / Verdemobil jusqu'à 180 €/t).

4.3.6. Synthèse des résultats

En définitif, la valorisation de bioCO₂, peu importe le référentiel qualité, semble bénéfique pour une unité de méthanisation type de 300 Nm³CH₄/h. Le coût de vente augmente de 20€/tCO₂ entre le grade simple et le grade alimentaire mais reste dans les prix du marché identifiés en phase 2 (MDCO₂, Verdemobil).

En ce qui concerne les unités de 200 Nm³CH₄/h, la mise en commun de l'unité de liquéfaction et de l'analyseur (HUB) présente peu d'intérêt économique en valorisation simple. En revanche, lorsque l'on passe au grade alimentaire, les coûts étant plus élevés (principalement dû au prix de l'analyseur), la mise en configuration HUB devient rentable à partir de 3 unités de méthanisation grâce à la mutualisation de certains coûts. Augmenter le nombre d'unités dans le HUB permet ensuite une diminution du prix de vente du CO₂, mais ce seulement jusqu'à 8 unités. Au-delà, les CAPEX liés aux canalisations de transport du CO₂ gazeux deviennent prépondérants face aux CAPEX liés aux équipements.

En outre, pour l'utilisateur final le prix d'achat du bioCO₂, production et transport inclus, se situe suivant les modèles envisagés :

- ▶ Entre 120 €/t et 175 €/t en valorisation simple
- ▶ Entre 145 €/t et 190 €/t en grade alimentaire

Ces prix étant en accord avec les prix du marché du CO₂ actuel, le département de Seine-et-Marne semble présenter des caractéristiques propices au développement de la filière de valorisation de bioCO₂ issu de méthanisation : ration type, distance moyenne entre méthaniseurs, capacité moyenne des unités de méthanisation présentes sur le territoire.

5. Bilan de gaz à effet de serre de l'unité de méthanisation

5.1. Principe du bilan GES et présentation de la méthodologie

5.1.1. Principe

La réglementation REDII (Renewable Energy Directive) est une directive européenne définissant un cadre européen commun pour favoriser le développement des énergies renouvelables. Elle a pour objectif de renforcer les exigences en termes de durabilité des matières premières, de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) et d'efficacité

énergétique (cogénération). Elle concerne toute production énergétique à partir de biomasse, RFNBO (Renewable Fuels of Non Biological Origin) et RCF (Recycled Carbon Fuel).

La directive précise entre autres :

- ▶ La méthodologie de calcul des émissions GES (valeurs par défaut, frontière des systèmes étudiés)
- ▶ Le pourcentage d'abattement minimum par rapport au conventionnel pour correspondre aux exigences de durabilité
- ▶ La procédure d'audit et de suivi par un organisme agréé pour la certification de l'installation

Le calcul du critère de réduction de GES en valeurs réelles est réalisé en 3 étapes :

- ▶ Bilan des émissions sur les étapes de production et d'utilisation du biométhane ou du biogaz en cogénération ;
- ▶ Calcul des émissions rapportées à l'énergie produite, gCO_{2eq}/MJ selon l'usage chaleur, transport, électricité ;
- ▶ Calcul de la réduction de GES, en %, obtenu par rapport au bilan d'une énergie fossile de référence

5.1.2. Méthode de calcul

Le bilan des émissions de gaz à effet de serre (GES) s'appuie sur le bilan matière et énergie établi lors de la phase de faisabilité du projet. Les flux obtenus sont ensuite convertis en tonnes équivalentes de CO₂ via l'utilisation de facteurs d'émission (FE) :

$$\text{Données (unité)} \times \text{FE (t}_{eq}\text{CO}_2\text{/unité)} = \text{Emissions de GES (t}_{eq}\text{CO}_2\text{)}$$

Ces FE sont extraits de bases de données comme la base Empreinte de l'ADEME, Ecoinvent (version 9.10) ou le règlement délégué de la directive RED.

La méthodologie ISCC consiste alors à rassembler l'ensemble des émissions obtenues sur l'intégralité de la chaîne de production et de consommation du biométhane selon les briques suivantes :

$$E = e_{ec} + e_l + e_p + e_{td} + e_u - e_{sca} - e_{ccs} - e_{ccr}$$

E : émissions totales dues à l'utilisation du combustible (gCO_{2eq} / MJ produit)

e_{ec} : émissions résultant de l'extraction ou de la culture des matières premières

e_l : émissions annualisées résultant de modifications des stocks de carbone dues à des changements dans l'affectation des sols

e_p : émissions dues la transformation

e_{td} : émissions dues au transport et à la distribution

e_u : émissions dues à la combustion lors de l'utilisation finale

e_{sca} : réductions d'émissions dues à l'accumulation du carbone dans les sols grâce à une meilleure gestion agricole

e_{ccs} : réductions d'émissions dues au captage et au stockage géologique du carbone

e_{ccr} : réductions d'émissions dues au piégeage et à la substitution du CO₂

Chaque brique modélise une étape du processus de production de biométhane et peut comprendre jusqu'à trois types de données :

- Données de flux entrant et sortant de l'étape. Par exemple, pour l'étape de digestion il s'agit de la quantité des substrats, d'électricité et de chaleur pour les entrants, et de la quantité de biogaz produit pour le flux sortant ;
- Données d'émissions directes des trois substances comptabilisées par la directive et ayant un impact sur le changement climatique : dioxyde de carbone fossile (CO₂), méthane (CH₄), protoxyde d'azote (N₂O) ;
- Données de facteurs d'émissions qui correspondent à une traduction préalable d'une activité humaine en termes de gCO₂ équivalent (ex : production d'électricité).

Les émissions résultantes de la fabrication des machines et des équipements ne sont pas prises en compte.

5.1.3. Frontières du système

La valorisation de déchets en biens manufacturés ou en énergie résulte en une production de co-produits tels la chaleur, le CO₂ ou le digestat par exemple. La manière dont ce coproduit est pris en compte dans le bilan GES peut fortement affecter les résultats. Deux approches différentes peuvent être utilisées :

- **La substitution** : Selon les normes ISO pour les ACV, la substitution est recommandée. L'idée principale est que les coproduits remplaçant la production de produits conventionnels permettent d'éviter dans l'absolu les impacts environnementaux causés par la production desdits produits conventionnels. Ces impacts environnementaux évités sont soustraits aux impacts environnementaux du produit principal. Cette méthode est également autorisée par la directive ISCC.

Exemple :

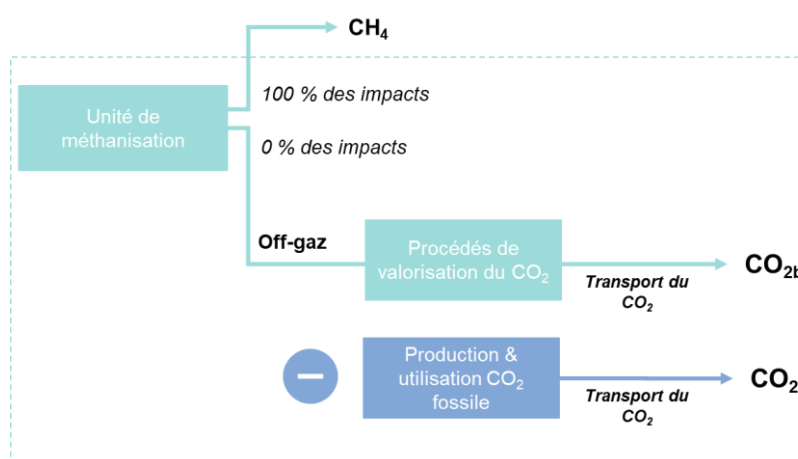


FIGURE 9 : EXEMPLE DE SUBSTITUTION DES EMISSIONS GES LIÉES À LA PRODUCTION DE CO₂ PAR MÉTHANISATION

Le CO₂ est utilisé en remplacement de CO₂ fossile et permet donc d'éviter ces émissions à l'atmosphère. Les impacts de la valorisation et du transport du CO₂b sont compté dans le facteur d'émission du CH₄. Un bénéfice est alloué au méthane par soustraction des émissions liées à la production et à l'utilisation du CO₂.

- **L'allocation** : Tous les impacts environnementaux (par exemple, les émissions) sont attribués proportionnellement au produit principal et aux coproduits, en fonction de leur valeur économique, de leur contenu énergétique ou de leur masse. **Cette méthode est recommandée par la directive ISCC.** Ce choix est en accord avec la réglementation, par exemple pour la vérification du respect des critères de durabilité.

Exemple :

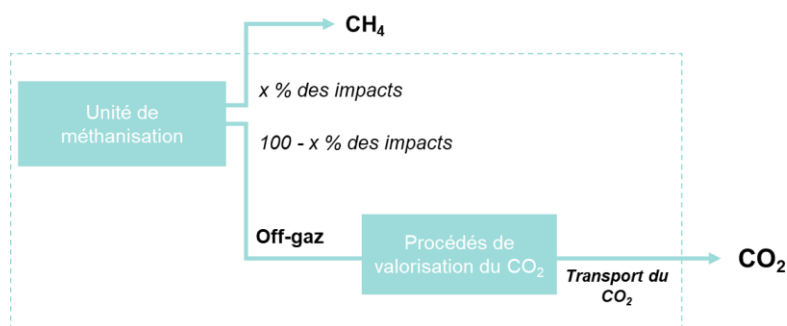


FIGURE 10 : EXEMPLE D'ALLOCATION DES EMISSIONS GES LIÉES À LA PRODUCTION DE CO₂ PAR MÉTHANISATION

Le CO₂ est ici considéré comme un produit de l'unité pour lequel on peut calculer un facteur d'émission. Les impacts du procédé sont répartis entre les deux produits, le CH₄ et le CO₂. Cette méthode est cependant très dépendante du prix de vente du CO₂ fixé.

5.2. Résultats

5.2.1. Méthode de substitution

L'application de la méthodologie de substitution énoncée précédemment permet d'obtenir les facteurs d'émissions, exprimés en grammes de CO₂ équivalent par mégajoules de méthane produits, suivants :

TABLEAU 7 : RÉSULTATS DU BILAN GES SELON LA MÉTHODE DE SUBSTITUTION

gCO ₂ /MJ CH ₄	Sans valorisation du CO ₂	Avec valorisation du CO ₂
e _{ec}	7,8	7,8
e _p	17,2	19,5
e _{td}	0,26	0,26
e _u	0,4	0,4
e _{sca}	- 11,0	- 11,0
e _{ccr}	-	- 30,5
E	14,7	0 (- 13,5)

NB : Un facteur d'émission ne peut être négatif. Il sera donc considéré comme nul dans le scénario avec valorisation de CO₂.

Ici la totalité des émissions GES est allouée au biométhane produit.

5.2.2. Méthode d'allocation économique

Une allocation doit se faire sur une grandeur estimable représentative des deux produits : grandeur physique (la masse, le volume etc.), énergétique (puissance) ou économique. Dans cette étude, une allocation économique est la méthode la plus pertinente et de plus recommandée par la méthodologie ISCC. Le CO₂ est alors considéré comme un produit et se voit allouer un facteur d'émission. Cela permet de réduire le facteur d'émission du biométhane car les émissions de CO₂ de l'ensemble du procédé sont réparties entre le biométhane et le CO₂.

Les parts de biométhane sont calculées à partir de la production totale d'énergie, soit :

$$\%CH_4 = \frac{Vente\ CH_4\ (\text{€/an})}{Vente\ CH_4\ (\text{€/an}) + Vente\ CO_2\ (\text{€/an})}$$

En utilisant cette méthode le terme e_{ccr} devient nul. La valorisation de CO₂ est entièrement prise en compte via l'allocation économique. Les résultats obtenus sont les suivants :

TABLEAU 8 : RÉSULTATS DU BILAN GES SELON LA MÉTHODE D'ALLOCATION ÉCONOMIQUE

gCO ₂ /MJ CH ₄	Sans valorisation du CO ₂	Avec valorisation du CO ₂ <i>Part CH₄ : 89,3 %</i>
e_{ec}	7,8	7,0
e_p	17,2	15,4
e_{td}	0,3	0,2
e_u	0,4	0,4
e_{sca}	- 11,0	- 9,9
e_{ccr}	-	-
E	14,7	13,2

NB : Cette méthodologie est très dépendante des prix de ventes des produits. Ici le prix de vente du CH₄ a été fixé à 115 €/MWh et celui du CO₂ à 125 €/t (sans transport).

Dans cette méthodologie le terme e_{ccr} est toujours nul car le CO₂ possède son propre facteur d'émissions, ce qui permet un abattement du facteur d'émissions du CH₄.

5.2.3. Bilan des résultats

Le terme prépondérant dans le bilan environnemental est la brique de méthanisation en elle-même. Ceci est principalement dû à la consommation d'électricité pour les cuves de méthanisation et l'épuration. Ces émissions sont compensées pas le terme e_{sca} qui correspond au bonus effluents d'élevages.

Il est à noter que le facteur d'émissions de référence (équivalent énergie fossile) pour une utilisation chaleur ou refroidissement est de 80 gCO_{2eq}/MJ. **Indépendamment du choix de la méthodologie suivie, les quatre scénarios de méthanisation permettent donc une réduction de plus de 80% des émissions GES.**

6. Conclusion

Dans cette quatrième phase de l'étude du potentiel de valorisation du bioCO₂ produit par méthanisation sur le département de Seine-et-Marne, une analyse économique et environnementale a été effectuée.

Pour rappel les 6 scénarios étudiés sont les suivant :

TABEAU 9 : RAPPEL DES SCÉNARIOS ÉTUDIÉS

1. Unité seule de 300 Nm ³ CH ₄ /h	2. Hub de 3 unités de 200 Nm ³ CH ₄ /h
1.a) Sans valorisation de CO ₂	2.a) Sans valorisation de CO ₂
1.b) Avec valorisation simple de CO ₂	2.b) Avec valorisation simple de CO ₂
1.c) Avec valorisation de CO ₂ grade alimentaire	2.c) Avec valorisation de CO ₂ grade alimentaire

Les résultats des 4 scénarios avec valorisation du CO₂ étudiés sont en cohérences avec les données récoltées lors des précédentes phases de l'étude :

TABEAU 10 : BILAN DE L'ÉTUDE ÉCONOMIQUE

Unité de 300 Nm ³ /h	HUB d'unités de 200 Nm ³ /h
Avec valorisation simple de bio CO ₂	Peu d'intérêt économique
Avec valorisation de bio CO ₂ grade alimentaire	Coût de vente augmente de 20€/tCO ₂ entre le grade simple et le grade alimentaire Rentable à partir de 3 unités de méthanisation Permet une diminution du prix de vente minimum du CO ₂

Il en ressort que des unités de 200 Nm³CH₄/h en configuration HUB présentent une rentabilité inférieure à une unité de 300 Nm³CH₄/h seule valorisant son CO₂. Cependant, la mutualisation des équipements permet à de plus petites unités de se lancer dans cette filière innovante et promettante tout en diversifiant ses activités et donc ces revenus.

D'un point de vue environnemental, la valorisation du CO₂ co-produit permet bien la diminution du facteur d'émission GES du biométhane produit par méthanisation. Cela peut permettre à des unités ne répondant pas au critère REDII de réduction de 80% des émissions par rapport à l'équivalent fossile d'être certifié.

TABEAU 11 : BILAN DE L'ÉTUDE ENVIRONNEMENTALE

gCO ₂ /MJ CH ₄	Sans valorisation du CO ₂	Avec valorisation du CO ₂
E (substitution)	14,7	0
E (allocation économique)		13,2



www.sol3d.com

GROUPE KERAN