

Méthanisation

FEUILLE DE ROUTE STRATÉGIQUE

SOMMAIRE

➔	PRÉAMBULE	3
➔	1/ LE PÉRIMÈTRE	5
➔	2/ LES ENJEUX	8
➔	3/ LES VISIONS	17
➔	4/ LES VERROUS	24
➔	5/ LES BESOINS DE RECHERCHE, DÉVELOPPEMENT ET INNOVATION	27
➔	BIBLIOGRAPHIE	34
➔	ANNEXE 1	35

CLIQUEZ
sur la page
concernée



➔ Ce document est édité par l'ADEME

ADEME

27, rue Louis Vicat
75737 PARIS Cedex 15

Coordination technique : Denis Tappero

Crédits photo : ©La médiathèque Terra / ©Adobe Stock / ©Olivier Theobald - ADEME

Impression : STIPA (ce document a été imprimé sur papier Satimat Green, composé de 60% de fibres recyclées et 40% de fibres vierges, labellisé FSC - PEFC et ISO 14001)

Création graphique : studio graphique « On y croit ! ».

Brochure référence : 010241

ISBN imprimé : 979-1-02970-858-9 / **ISBN électronique :** 979-1-02970-859-6 / juin 2017 - 1 000 exemplaires

Dépôt légal : ©ADEME Éditions, juin 2017

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (Art L. 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (Art L. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L. 122-10 à L. 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

➔ PRÉAMBULE

L'ADEME est l'un des opérateurs de l'État qui accompagne la transition écologique et énergétique. Dans le cadre de ses missions, l'ADEME soutient le développement, la démonstration puis la diffusion de nouvelles solutions, technologiques ou organisationnelles, contribuant à la transition énergétique et écologique.

Pour accompagner spécifiquement le développement de la méthanisation et structurer au niveau national une réflexion stratégique sur les besoins de recherche et développement, l'ADEME a soutenu la réalisation d'une feuille de route stratégique "Méthanisation".

Les objectifs sont :

- d'éclairer les enjeux industriels, économiques, sociétaux et environnementaux du développement de la filière ;
- d'imaginer des visions cohérentes et partagées de la méthanisation à long terme ;
- d'identifier les verrous scientifiques et technologiques, organisationnels, économiques, financiers, sociologiques, culturels, psychologiques et ceux liés aux politiques et mesures publiques ;
- de mettre en avant les besoins et les priorités de recherche, de développement, d'innovation (RDI) pour favoriser et accompagner le développement d'une filière française.

Ces besoins peuvent servir de base pour structurer une offre nationale de RDI en rapprochant :

- la programmation de la recherche au sein de l'ADEME et d'autres institutions comme l'Agence nationale de la recherche (ANR), l'Alliance nationale de coordination de la recherche pour l'énergie (Ancre), l'Alliance nationale de recherche pour l'environnement (AllEnvi), les collectivités territoriales (conseils régionaux, métropoles...) ;
- et les recherches menées par des organismes publics et privés de RDI.

Ces priorités de recherche et d'expérimentation sont déterminées en croisant les visions et les verrous identifiés. Elles prennent également en compte les capacités françaises dans les domaines de la recherche et de l'industrie. La feuille de route a été réalisée avec l'aide d'un groupe d'experts (cf. liste dans le tableau ci-après) qui s'est réuni six fois entre novembre 2015 et juin 2016. Un séminaire sur les sciences humaines et sociales a également été organisé en mai 2016 pour approfondir ce sujet avec la participation de deux intervenants : Marie-Laurence Grannec (Chambre régionale d'agriculture de Bretagne) et Hervé Flanquart (université du Littoral Côte d'Opale).

Les écrits de la feuille de route engagent les experts intuitu personae et non l'institution à laquelle ils appartiennent. Par ailleurs, ce document ne reflète ni la vision de l'ADEME ni celle du gouvernement sur la politique environnementale et énergétique de la France pour les années à venir. Le groupe d'experts a reçu de l'ADEME l'appui d'un secrétariat technique composé de Loïc Antoine, Erwan Autret, Marc Bardinal, Guillaume Bastide, Luc Bodineau, Daniel Clément, Aïcha El Khamlichi, Bruno Gagnepain, Michel Gioria, Olivier Théobald, Julien Thual, avec la contribution d'ingénieurs des directions régionales de l'ADEME (Bertrand Aucordonnier, Iman Bahmani, Julie Barthélémy, Christophe Bogaert, Cédric Djedovic, Claire Florette, Christophe Hévin, Sébastien Huet, Christelle Lancelot, Pierre Laurent, Marie-Émilie Mollaret, Jonathan Muller, Sophie Pouthier et Bernard Vigne).



LISTE DES MEMBRES DU GROUPE D'EXPERTS

NATURE DE L'ORGANISME	NOM	ORGANISME D'APPARTENANCE
Entreprises privées	Carole Bloquet	Suez Environnement (SITA) et Fédération nationale des activités de la dépollution et de l'environnement (Fnade)
	Pierre Coursan	Suez Environnement (Degrémont Services)
	Jean-Marie Faure	Arcbiogaz
	Anthony Mazzenga	Engie (GrDF puis Engie Corp)
	Isabelle Robin	Evalor
Instituts techniques / centres technologiques	Pascal Levasseur	IFIP (Institut du Porc)
	Sylvain Marsac	Arvalis (Institut technique au service des agricultures et des filières)
	Philippe Pouech	Apesa (Centre technologique en environnement et maîtrise des risques)
Organismes de recherche	Pascal Peu	Irstea – Rennes (Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture)
	Sébastien Pommier	INSA Toulouse (Institut national des sciences appliquées)
	Marc-André Théoleyre	École centrale Paris
Organismes de financement	Aurélien Hue	CDC (Groupe Caisse des Dépôts)
	Loïc Imbert	Crédit Agricole Énergie - Centre
Organisme consulaire	Carine Pessiot	Assemblée permanente des Chambres d'agriculture et Chambre Agriculture 56
Associations	Armelle Damiano	AILE (Association d'initiatives locales pour l'énergie et l'environnement)
	Claire Ingremeau	ATEE Club biogaz (Association Technique Énergie Environnement)
	Jean-Marc Onno	AAMF (Association des agriculteurs méthaniseurs de France)



➔ 1/ LE PÉRIMÈTRE



Le périmètre de la feuille de route est défini par un champ thématique, un horizon temporel et un périmètre géographique. Le champ thématique couvre la chaîne de valeur de la méthanisation, depuis la mobilisation du gisement jusqu'à la valorisation du biogaz et du digestat (voir encadré ci-dessous).

LA MÉTHANISATION EN QUELQUES MOTS

La méthanisation est une technologie basée sur la dégradation par des micro-organismes de la matière organique, en conditions contrôlées et en l'absence d'oxygène, donc en milieu anaérobie, contrairement au compostage qui est une réaction aérobie. Cette dégradation aboutit à la production :

- **d'un produit humide riche en matière organique** partiellement stabilisée appelé digestat. Sa valorisation consiste, en général, en un "retour au sol" après une éventuelle phase de maturation par compostage ;
- **de biogaz, mélange gazeux saturé en eau à la sortie du digesteur**. Le biogaz (dénommé biométhane après épuration) est composé de 50 à 70 % de méthane (CH_4), de 20 à 50 % de dioxyde de carbone (CO_2) et de quelques gaz traces (NH_3 , N_2 , H_2S). Le biogaz a un pouvoir calorifique inférieur de 5 à 7 kWh/m³ (kilowattheure par mètre cube). Cette énergie renouvelable peut être utilisée sous différentes formes : combustion pour la production d'électricité et de chaleur, production d'un carburant ou injection dans le réseau de gaz naturel après épuration.

On suppose les conditions réunies pour que la méthanisation réponde à des critères de performances économique et environnementale, dans une logique d'économie circulaire, à savoir : l'approvisionnement en ressources renouvelables (matières organiques, énergies renouvelables) est durable, l'utilisation des ressources non renouvelables (eau, énergie non renouvelable) est efficace, les impacts environnementaux et sanitaires (émissions dans l'environnement, production de déchets...) sont réduits sur le cycle de vie des matières méthanisées et les taux de valorisation énergétique (sous forme de biogaz) et agronomique (sous forme de digestat) sont optimisés. La méthanisation apporte toutes les garanties nécessaires en termes de sécurité et toutes les visions et propositions de recherche identifiées dans cette feuille de route concourent à l'accroître.

Les gisements concernés sont les suivants : les effluents d'élevage, les résidus de culture, les résidus de fauche de bord de route, les plantes invasives, les cultures énergétiques, les cultures intermédiaires à vocation énergétique (CIVE⁽¹⁾), les cultures alimentaires, les déchets verts, les déchets d'industries (agroalimentaire, papeterie, chimie...), les déchets de la restauration collective et de la distribution, les déchets des ménages, les boues de stations d'épuration (Step), les eaux usées issues de l'assainisse-

ment autonome ou du petit collectif, les microalgues, les sous-produits animaux, etc.

Sont prises en compte, dans le périmètre de la feuille de route, les étapes amont de récolte, de collecte et de conservation des substrats (notamment leur caractérisation), ainsi que les activités de logistique et de transport vers des lieux de stockage et de méthanisation. Les étapes préalables de culture, d'élevage et de production de biomasse sont en revanche exclues du champ thématique.

Le périmètre couvre toute solution possible de méthanisation, que l'on peut qualifier par le type d'intrant et de porteur majoritaire du projet, comme une collectivité, une entreprise agricole, une industrie, une entreprise⁽²⁾, voire un particulier. Il n'existe cependant pas de classification universelle des installations de méthanisation, d'autant plus qu'elles peuvent accepter différents types d'intrants, associer plusieurs acteurs d'un territoire (collectivités, entreprises, agriculteurs) et être de taille très variable. À l'heure actuelle, on peut positionner a priori les différentes solutions de méthanisation selon le type d'intrant et de porteur majoritaire (cf. tableau 1) et supposer dans le cadre de cet exercice prospectif que d'autres se développeront dans les prochaines décennies.

⁽¹⁾ Une culture intermédiaire à vocation énergétique est une culture implantée et récoltée entre deux cultures principales dans une rotation culturale.

⁽²⁾ Notamment des entreprises du traitement des déchets, de production d'amendements organiques ou d'énergie.



TABLEAU-1 SOLUTIONS EXISTANTES DE MÉTHANISATION, SELON LE TYPE D'INTRANT ET DE PORTEUR MAJORITAIRE

PORTEUR MAJORITAIRE DU PROJET D'UNITÉ DE MÉTHANISATION :	COLLECTIVITÉ	ENTREPRISE AGRICOLE	MULTIPARTENARIAL / CENTRALISÉ*
INTRANT MAJORITAIRE :			
Effluents d'élevage		•	•
Résidus de culture		•	•
Cultures énergétiques		•	•
CIVE		•	•
Déchets verts	•	•	•
Déchets d'industries agroalimentaires, de la restauration collective et de la distribution	•	•	•
Déchets des ménages	•		
Boues de Step	•	•	•

* Unité de méthanisation avec participation de multiples acteurs du territoire (agriculteurs, entreprises, collectivités...) valorisant pour partie des matières agricoles (effluents d'élevages, résidus de cultures...). Source : ATEE Club biogaz, 2014 [1]

Le prétraitement et la préparation des matières sont définis selon les caractéristiques des intrants, le procédé de méthanisation et les spécificités attendues du digestat et du biogaz. Le premier objectif est d'éliminer tout impondérable susceptible de perturber le bon fonctionnement de l'installation. Des procédés de prétraitement physiques, biologiques et/ou chimiques peuvent être mis en œuvre pour améliorer l'hydrolyse et la biodégradabilité de la matière organique et augmenter ainsi le rendement de production de méthane lors de la phase de digestion. Par exemple, le tri et le broyage permettent de diminuer la taille des matières solides avant la digestion. La préparation de certains sous-produits animaux est assurée par des procédés d'hygiénisation tels que le chaulage⁽³⁾.

L'étape de méthanisation permet ensuite de produire du biogaz et un digestat par digestion de la matière organique entrant dans l'installation. La conception et le dimensionnement d'un méthaniseur, et donc sa rentabilité, reposent sur un choix de "recette", de procédé et de technologies associées.

La recette consiste à privilégier un approvisionnement stable, équilibré et maîtrisé pour constituer la ration alimentaire du digesteur. Les principaux paramètres qui déterminent cet équilibre sont le potentiel méthanogène, la concentration en matière organique et éléments minéraux, le rapport C/N⁽⁴⁾. L'absence d'indésirables (matières non méthanisables, susceptibles de perturber les processus en jeu) est un préalable. Chaque substrat et co-substrat (enzyme par exemple) a également ses qualités et ses contraintes qu'il convient de connaître pour favoriser les synergies et éviter les antagonismes éventuels. Il convient aussi de maîtriser au mieux la sélection des populations bactériennes et de pouvoir les contrôler pour optimiser la digestion.

Les procédés de méthanisation sont variés. On distingue deux familles : la méthanisation en phase humide, qui comporte 5 à 15 % de teneur en matières sèches, et celle en voie sèche, qui en comporte 15 à 40 %. Les procédés se différencient notamment par ce taux admissible de matières sèches (voie liquide ou sèche), les conditions de température de digestion (mésophile, thermophile ou psychrophile⁽⁵⁾), le principe d'une réaction en continu ou en lots (batch en anglais), horizontale ou verticale, le temps de séjour du mélange dans le réacteur ou encore le type d'agitation. La méthanisation en phase liquide est généralement réalisée dans des réacteurs infiniment mélangés, en condition mésophile. En voie sèche, la méthanisation peut être réalisée soit en continu (réacteur de type piston), soit en discontinu et en condition thermophile.

Le biogaz peut être valorisé sous forme d'énergie directement après méthanisation ou après une étape complémentaire de traitement. Ses propriétés permettent d'envisager aujourd'hui de nombreuses applications du CH₄ et du CO₂ qui le composent. Les traitements et valorisations suivants sont étudiés dans le cadre de la présente feuille de route :

- la production d'électricité, de chaleur et de froid, séparément ou simultanément (chauffage, cogénération ou trigénération⁽⁶⁾) ;
- l'épuration du biogaz jusqu'à obtenir un biométhane injectable (directement ou après portage) dans le réseau de gaz naturel ou de valorisation sur un site industriel ;
- la production de bioGNV (biogaz naturel véhicule) ;
- la production d'hydrogène (H₂) par reformage du biométhane, notamment pour des applications industrielles ou de mobilité ;

- l'interaction entre des unités de méthanisation et de production d'électricité d'origine renouvelable : cela permet de produire du méthane de synthèse par méthanation du CO₂ issu du biogaz avec de l'hydrogène produit à partir d'électricité par électrolyse de l'eau (principe du power-to-gas) ; de même, l'hydrogène fatal⁽⁷⁾ présent sur certains sites industriels peut être valorisé en méthane de synthèse ;
- l'utilisation du CO₂ pour des applications en chimie, matériaux et énergie (production de diméthyl-éther, méthanol...).

Sont également prises en compte dans le périmètre de la feuille de route les étapes de conditionnement, de compression, de transport, de distribution et de stockage des combustibles vers les lieux de vente et les points de consommation.

Le digestat est un engrais organique qui peut être utilisé en l'état, par épandage direct, ou transformé par des procédés physiques, chimiques et/ou thermiques en vue d'une fertilisation optimisée.

Différentes technologies (presse à vis, centrifugation, filtre-presse...) permettent de séparer la fraction solide (concentrée en matière organique et éléments phosphatés, utilisable comme amendement de fond) de la fraction liquide (riche en azote ammoniacal et substituable aux engrais minéraux). L'obtention de digestat sec fait appel à des procédés d'évaporation ou de traitement thermique. Un digestat possédant un plus grand degré de maturité et une meilleure stabilité peut être obtenu après une étape de compostage. L'extraction sélective de certains composés est enfin possible par des procédés spécifiques tels que :

- le stripping avec lavage acide pour récupérer l'ammonium et/ou l'ammoniaque ;
- la production de struvite (phosphore) par précipitation d'ammonium et de phosphate ;
- l'osmose inverse pour produire un concentré dépourvu de matière solide, et qui contient la majorité de l'azote du digestat et 70 % du potassium.

Les étapes suivantes sont également prises en compte dans le périmètre de la feuille de route : le stockage du digestat, l'épandage, le conditionnement, le transport, la logistique, l'export.

Est considéré hors champ thématique :

- l'étape d'utilisation du vecteur énergétique après sa distribution⁽⁸⁾ et l'adaptation des dispositifs de consommation d'énergie issue de la valorisation énergétique du biogaz (comme l'adaptation des moteurs des bus bio-GNV) ;
- la production de biogaz issu d'installations de stockage de déchets non dangereux ;
- la production de biogaz par gazéification de la biomasse (déjà traitée dans la feuille de route "Biocarburants avancés" [2]).

L'horizon temporel de la feuille de route est fixé à 2050 pour les visions de long terme. Cet horizon est

suffisamment lointain pour s'affranchir délibérément des stratégies industrielles actuelles et des orientations des politiques publiques connues aux échéances 2020-2025. Il permet d'imaginer et de construire des visions souhaitables, parfois caricaturales, et de décrire différentes modalités de déploiement d'options technologiques, organisationnelles et socio-économiques. Cependant, l'horizon 2050 permet de considérer avec un certain réalisme des déterminants comme la démographie ou l'impact de décisions politiques.

La feuille de route conduit également à identifier des besoins de recherche dont les résultats permettront d'atteindre ces visions. Identifiés en 2016, ils pourront être formalisés dans des textes d'appel à projets de recherche sur la période 2017-2020, pour une réalisation entre 2018 et 2023 et des solutions innovantes mises sur le marché entre 2025 et 2030.

Le périmètre géographique est a minima européen.

S'il porte en priorité sur les installations de méthanisation situées en France, il ne peut s'affranchir d'une réflexion plus large éclairée par un benchmark des technologies, de leur utilisation, de leurs impacts, a minima européen voire international, d'une prise en compte des importations et des exportations de substrats, de digestats et d'énergie. Une attention particulière est également portée d'une part aux spécificités régionales et d'autre part à l'adéquation territoriale des installations de méthanisation par rapport aux gisements et aux débouchés.



⁽³⁾ Le chaulage est une méthode de traitement chimique qui vise à réduire les agents pathogènes grâce au contact avec de la chaux.

⁽⁴⁾ Le rapport C/N ou rapport carbone sur azote est un indicateur qui permet de juger du degré d'évolution de la matière organique, c'est-à-dire de son aptitude à se décomposer plus ou moins rapidement dans le sol.

⁽⁵⁾ Mésophile : température de réaction entre 35 et 40 °C ; Thermophile : entre 50 et 65 °C ; Psychrophile : à température ambiante.

⁽⁶⁾ Production d'électricité, de chaud et de froid.

⁽⁷⁾ Hydrogène produit, non utilisé dans le processus industriel, perdu si on ne l'utilise pas par ailleurs.

⁽⁸⁾ En revanche, la valorisation énergétique sur site (cogénération, moteur...) est dans le périmètre.

➔ 2/ LES ENJEUX



➔ 2.1/ UN DÉVELOPPEMENT RÉGULIER DE LA FILIÈRE FRANÇAISE DEPUIS DIX ANS

En France, la méthanisation s'est développée entre autres grâce à une évolution des dispositifs de soutien et des cadres réglementaires. Historiquement conçue comme une technique de dépollution des effluents pour les secteurs industriels et les stations d'épuration urbaines, la méthanisation s'inscrit aujourd'hui comme une des solutions de la transition énergétique et implique de plus en plus le monde agricole depuis une dizaine d'années.

Le développement de la méthanisation est porté par plusieurs agendas politiques relatifs au changement climatique, à l'énergie et à l'agriculture :

- La loi de programmation pluriannuelle des investissements (PPI électricité, chaleur et gaz, 2009), le plan d'action national en faveur des énergies renouvelables (2010) prévu par la Directive 2009/28/CE relative à la promotion de l'utilisation des énergies renouvelables, et plus récemment, l'arrêté du 24 avril 2016 relatif à la programmation des capacités de production d'énergie renouvelable. Ce dernier précise les nouveaux objectifs de développement de la production électrique, de la production de chaleur, du biogaz injecté et des carburants à partir d'énergies renouvelables en France métropolitaine continentale à l'horizon 2023.

Quant au plan national, il prévoit, au niveau français, une cible de 23 % de la consommation finale d'énergie apportée par les énergies renouvelables à l'horizon 2020. Pour le biogaz (y compris issu d'installation de stockage de déchets), les objectifs annuels de capacité installée et de production brute d'électricité sont une multiplication par quatre de la puissance installée entre 2010 (164 mégawatts ou MW) et 2020 (625 MW). Dès 2015, l'objectif de puissance installée (363 MW) a été atteint avec 365 MW installés au 1er janvier 2016 tandis que la production d'électricité (1,7 térawattheure ou TWh) est inférieure aux objectifs (2,1 TWh) [3]. Ce plan prévoit également que 555 ktep⁽⁹⁾ de chaleur devront être produits à partir de biogaz en 2020 (contre 86 ktep en 2009), dont une part, non précisée, grâce à l'injection de biométhane dans les réseaux de gaz naturel. En 2014, la méthanisation a produit environ 1 600 gigawattheures (GWh) de chaleur [4], soit 138 ktep, en deçà des 205 ktep prévues par le plan.

En complément, l'arrêté du 24 avril 2016 fixe des objectifs de valorisation énergétique pour la méthanisation

(hors installations de stockage de déchets et stations d'épuration) sous forme d'électricité, de chaleur et de biométhane (dont bioGNV) aux horizons 2018 et 2023 (cf. tableau 2). Deux options, haute et basse, sont envisagées à l'horizon 2023.

- Le plan Énergie Méthanisation Autonomie Azote (EMAA) : il vise à développer un modèle français de la méthanisation agricole, avec notamment à l'horizon 2020 l'installation de 1 000 méthaniseurs à la ferme (contre 90 fin 2012), à encourager la valorisation agronomique des digestats de méthanisation et à créer, par le soutien à l'innovation, une filière française d'équipements de méthanisation. L'objectif chiffré de 2020 ne sera atteint que par une forte accélération du rythme actuel de création d'unités.

Le développement de la méthanisation a été rendu possible par la création à partir de 2002 de dispositifs incitatifs de financement de projets (voir encadré) et d'un cadre réglementaire progressivement structuré (voir encadré).

⁽⁹⁾ Kilotonne d'équivalent pétrole.

TABLEAU 2

OBJECTIFS DE VALORISATION ÉNERGÉTIQUE POUR LA MÉTHANISATION AUX HORIZONS 2018 ET 2023

ÉCHÉANCE	VALORISATION ÉLECTRIQUE	VALORISATION CHALEUR	VALORISATION BIOMÉTHANE	
	PUISSANCE TOTALE INSTALLÉE	PRODUCTION D'ÉNERGIE	PRODUCTION DE BIOMÉTHANE INJECTÉ	CONSOMMATION DE BIOGNV*
31/12/2018	137 MW	300 ktep	1,7 TWh	0,7 TWh
31/12/2023	Option basse : 237 MW Option haute : 300 MW	Option basse : 700 ktep Option haute : 900 ktep	8 TWh	2,0 TWh

* Dans la perspective où le bioGNV représente 20 % des consommations totales de GNV (BioGNV et GNV d'origine fossile) en 2023, sur des segments complémentaires de ceux des véhicules électriques et des véhicules hybrides rechargeables.

DES DISPOSITIFS INCITATIFS DÈS 2002**De nombreux dispositifs ont soutenu le développement de la méthanisation agricole et centralisée en France :**

- En 2002⁽¹⁰⁾, la création de tarifs d'achat d'électricité issue de biogaz produit par méthanisation ; ils dépendent de la puissance électrique maximale installée, de l'installation et de son efficacité énergétique ; ces tarifs ont été revalorisés régulièrement ensuite ;
- En 2010⁽¹¹⁾, l'instauration d'un tarif d'achat du biométhane injecté dans les réseaux de gaz naturel ; le producteur bénéficie d'une garantie de vente du biométhane à un tarif fixé par arrêté, selon le type de déchets traités et la capacité maximale de production de biométhane de l'installation ;
- Les tarifs préférentiels d'achat d'électricité pour les installations lauréates des appels d'offres de l'État ; ils ont été mis en œuvre par la Commission de régulation de l'énergie (CRE) pour atteindre les objectifs prévus dans le cadre de la programmation pluriannuelle d'investissement d'électricité d'origine renouvelable ; les unités de méthanisation de puissance comprise entre 0,5 et 5 MWe (mégawatt électrique) y sont éligibles depuis 2015 ;

- Les aides à l'investissement de l'ADEME :
 - les équipements de traitement spécifique du digestat sont éligibles au Fonds Déchets ;
 - les projets de méthanisation avec valorisation du biogaz par cogénération sont éligibles depuis 2007 au Fonds Déchets ;
 - les projets de méthanisation avec valorisation chaleur, épuration puis injection dans le réseau de gaz naturel ou valorisation carburant de type GNV, et des projets de réseaux de chaleur issus de cogénération sont éligibles depuis 2009 au Fonds Chaleur ;

Ainsi, de 2007 à 2015, 547 projets ont bénéficié d'un soutien à l'investissement pour un montant d'aide ADEME de 192,3 M€ ;

- Les aides des collectivités (département, région), du Feder⁽¹²⁾, des agences de l'eau ;
- L'utilisation de biométhane en tant que biocarburant est favorisée depuis 2011 dans le cadre de soutien pour l'injection dans le réseau de gaz naturel, via une disposition spécifique relative à la valorisation des garanties d'origine, lorsque le biométhane est valorisé en tant que carburant pour véhicules.

⁽¹⁰⁾ Arrêté du 16 avril 2002 fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par méthanisation, abrogé par les arrêtés du 10 juillet 2006, du 19 mai 2011, du 30 juillet 2013 et du 30 octobre 2015 fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations qui valorisent le biogaz.

⁽¹¹⁾ Loi Grenelle 2 adoptée le 12 juillet 2010, ainsi que 4 décrets et 4 arrêtés de novembre 2011, modifiés les 27 février 2013 et 27 juin 2014.

⁽¹²⁾ Le Feder vise à promouvoir la cohésion économique et sociale en Europe par la correction des principaux déséquilibres régionaux et la participation au développement et à la reconversion des régions, tout en garantissant une synergie avec les interventions des autres Fonds structurels.





Le cadre réglementaire s'est progressivement mis en place avec la création en 2009 et 2010 de rubriques spécifiques respectivement consacrées à la méthanisation et à la valorisation du biogaz dans la nomenclature des installations classées : l'activité de méthanisation de déchets non dangereux relève de la rubrique n° 2781 (décrets du 29 octobre 2009 et 26 juillet 2010) et les moteurs de cogénération consommant du biogaz de méthanisation relèvent de la rubrique n° 2910 C (décrets du 28 avril 2010 et 26 juillet 2010).

Concernant l'approvisionnement des installations de méthanisation par des cultures alimentaires, le décret du 7 juillet 2016⁽¹³⁾ fixe les seuils maximums d'approvisionnement des installations de méthanisation à partir de déchets non dangereux ou de matières végétales brutes par des cultures alimentaires, avec notamment une proportion maximale de 15 % du tonnage brut total des intrants par année civile (art. D. 543-292).

Concernant la réglementation sur la valorisation agromique des digestats, de nombreux travaux sont en cours pour favoriser un développement durable d'un marché au niveau de l'Union européenne. Plusieurs solutions juridiques sont possibles sous certaines

conditions pour les producteurs de digestats, comme l'épandage direct (le digestat reste alors statutairement un déchet), l'autorisation de mise sur le marché ou le suivi des spécifications des normes existantes⁽¹⁴⁾ ; pour ces deux derniers cas, le digestat devient alors statutairement un produit, au même titre que tout autre produit cédé ou commercialisé. La législation et la réglementation relatives à la mise sur le marché des fertilisants ont été révisées par une ordonnance du 4 juin 2015 et un décret du 21 juillet 2015. Si l'autorisation de mise sur le marché est une procédure bien connue et utilisée pour les supports de culture et matières fertilisantes, son application aux digestats est encore récente puisque les premiers avis ont été publiés en 2013, avec trois avis favorables en 2013 et trois autres en 2014. Au niveau communautaire enfin, la révision du règlement 2003/2003, relatif aux engrais, est à l'ordre du jour dans le cadre du paquet économie circulaire (Communication COM(2015) du 2 décembre 2015) pour l'étendre aux matières fertilisantes organiques et stimuler le développement durable d'un marché au niveau de l'Union européenne.

⁽¹³⁾ Décret n° 2016-929 du 7 juillet 2016 pris pour l'application de l'article L. 541-39 du code de l'environnement, JORF n°0158 du 8 juillet 2016.

⁽¹⁴⁾ - NFU 44 051 Amendement organique ;

- NFU 44 095 Composts contenant des matières d'intérêt agromique issues du traitement des eaux (MIATE) ;

- NF U42-001-2 "Engrais organiques". L'application de cette norme est rendue obligatoire par l'arrêté du 11 décembre 2015 modifiant l'arrêté du 5 septembre 2003 portant sur la mise en application obligatoire de normes (JO du 24 décembre 2015). Cette norme prévoit deux types de dénomination d'engrais NP (à base d'azote, N, et de phosphore, P) issu de lisier :

- Type 6a, engrais NP issu de lisier : produit obtenu par extraction de la phase solide des lisiers bruts suivie de compostage avec ou sans addition de matière végétale et/ou séchage et contenant au moins 40 % de matière sèche ;
- Type 6b, engrais NP issu de lisier méthanisé composté : produit obtenu par extraction de la phase solide des lisiers, après méthanisation avec ou sans addition de matière végétale, suivie de compostage avec ou sans addition de matière végétale, et avec ou sans séchage et contenant au moins 40 % de matière sèche.



On dénombre actuellement en France environ 400 unités de méthanisation, pour une puissance électrique installée supérieure à 100 MWe (hors installations de stockage de déchets). L'inventaire français, réalisé pour l'année 2014 par l'ADEME pour l'Agence internationale de l'énergie [4], faisait état de 389 unités : 88 à partir de boues de station d'épuration, 11 à partir de déchets ménagers et assimilés, 210 unités à la ferme et centralisées et environ 80 industrielles

Le rythme de création d'unités de méthanisation sur la période 2011-2015 est évalué à une cinquantaine par an, principalement à la ferme et centralisées. Le nombre d'installations de traitement de boues d'épuration et d'effluents ou de déchets industriels (agroalimentaire ou papeterie) est à peu près stable depuis plusieurs années ; pour les boues d'épuration, il connaît cependant une nouvelle dynamique grâce aux nouveaux dispositifs qui favorisent l'injection du biogaz dans le réseau de gaz, comme en témoigne l'augmentation du nombre de projets d'études et d'appels d'offres, qui devrait se concrétiser par des mises en service dans les deux à trois prochaines années.

Au 1^{er} janvier 2016, l'ADEME comptabilise 236 unités de méthanisation en service à la ferme et 31 unités centralisées (cf. encadré), soit un total de 267 unités pour une puissance électrique installée totale de 78 MWe (cf. figure 1). La puissance électrique installée moyenne est de 202 kWe pour les unités à la ferme et de 1 180 kWe pour les unités centralisées. La quasi-totalité des unités (251) valorisent le biogaz en cogénération. Au total, 17 unités de méthanisation injectent le biogaz épuré dans le réseau de gaz naturel (unités à la ferme, centralisées, déchets ménagers et Step), auxquelles il convient d'ajouter deux unités mises en service après octobre 2015 (à Villeneuve-sur-Lot (47) et Chagny (71)).



À LA FERME OU CENTRALISÉE ?

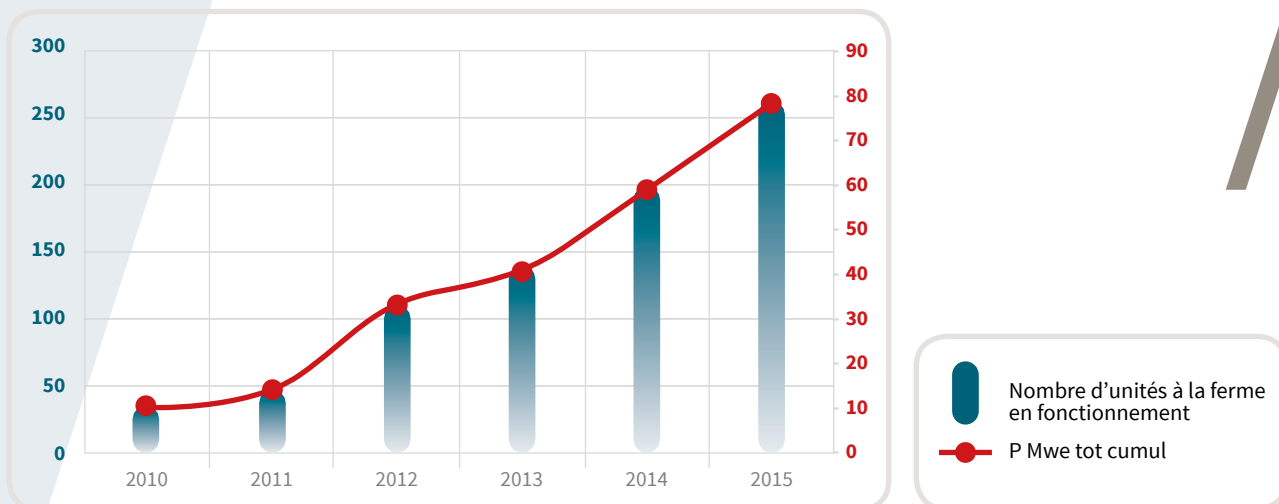


L'ADEME utilise les définitions suivantes [5] :

Une unité de méthanisation à la ferme est portée majoritairement par un ou plusieurs exploitants agricoles. Les effluents de ferme et les déchets agricoles y sont majoritaires et la puissance installée est généralement inférieure à 500 kWe.

Une unité centralisée est une unité de codigestion de grande taille, souvent appelée unité "territoriale" ou "multipartenariale". Sa puissance installée dépasse généralement les 500 kWe et les projets font appel à de nombreux gisements codigérés sur la même unité. Ce secteur regroupe à la fois les projets collectifs agricoles (taux effluents de ferme supérieurs à 60 %) et les projets de type "déchets", qui font intervenir moins d'acteurs, et où les effluents d'élevage ne sont souvent pas une priorité.

FIGURE-1 ÉVOLUTION DU PARC D'UNITÉS DE MÉTHANISATION À LA FERME ET D'UNITÉS CENTRALISÉES ; ÉVOLUTION DE LA PUISSANCE INSTALLÉE [5]



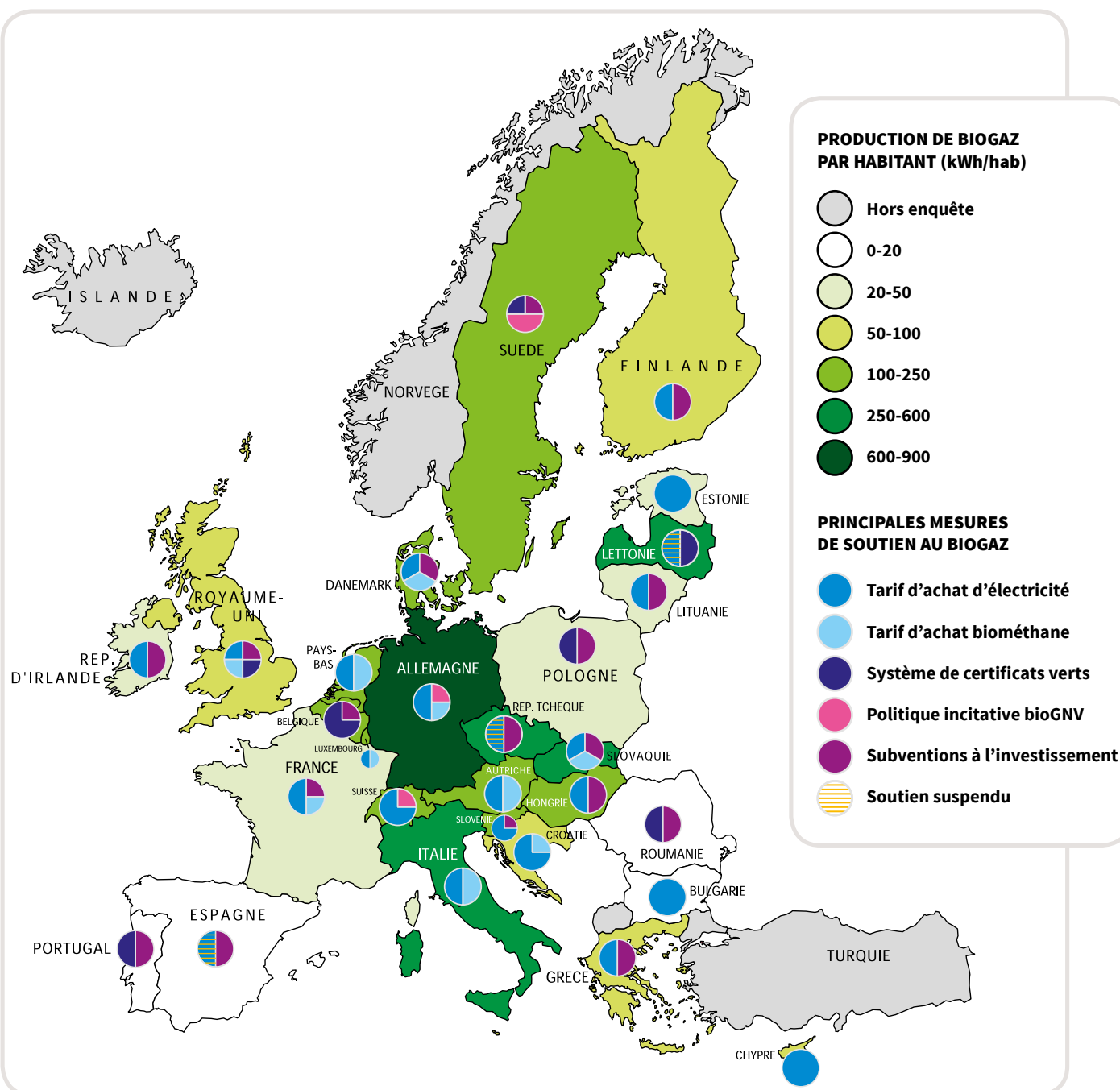
➔ 2.2/ UNE SITUATION CONTRASTÉE EN EUROPE

En Europe, le développement de la filière méthanisation est très contrasté selon les pays, aussi bien en nombre d'installations qu'en production de biogaz comme le montre la figure 2 issue de l'étude ADEME [6].

Elle met en évidence trois niveaux de développement : les pays dont la filière est développée (Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, France, Italie, Pays-Bas, Royaume-Uni, Suède, Suisse), émergente (Espagne, Luxembourg...) ou peu développée (Irlande, Portugal...). La méthanisation s'est développée de façon quasi exponentielle dans certains pays, comme l'Allemagne (2 121 unités en 2010 et

9 145 unités en 2012) ou l'Italie (quelques dizaines d'unités en 2000 et près de 1 500 en 2012). Quant à la France, elle est reconnue par ses partenaires européens pour son savoir-faire dans la maîtrise des technologies et le pilotage des installations, notamment de traitement de boues urbaines.

FIGURE-2 **PRODUCTION DE BIOGAZ (HORS BIOGAZ DE DÉCHARGE) PAR HABITANT ET PRINCIPALES MESURES DE SOUTIEN EN EUROPE (SITUATION 2013) [6]**



Cette étude a analysé les politiques publiques passées et actuelles et en tire les enseignements suivants :

- les pays qui ont connu un développement rapide l'ont fait avec des mesures fortes et simples (Allemagne, Autriche, Italie) et ont aujourd'hui plus ou moins stoppé leur développement ; ils disposent d'une capacité de production bien supérieure à celle de la France, même si le biogaz ne se développe plus ;
- les pays qui ont connu un développement rapide l'ont fait avec une part offerte aux cultures énergétiques, avec une dérive possible lorsque les exploitants achètent la matière sans la produire eux-mêmes ; acheter des cultures à d'autres exploitations agricoles entraîne notamment une perte d'autonomie (et de maîtrise du gisement) et accentue la mobilisation de gisements en concurrence avec l'usage alimentaire ;
- la place des petites installations (2 ou 3 GWh/an soit 100-150 kWe) ne dépasse pas 20 % de la production nationale de biogaz par méthanisation dans les pays où la filière est développée, à part au Luxembourg ; la Suisse atteint 20 % et la France 13 % de production de biogaz à partir d'installations à la ferme d'une taille moyenne de 2 GWh ;
- sept pays ou régions ont un système d'assurance qualité ou une réglementation nationale permettant d'utiliser le digestat comme fertilisant (Pays-Bas, Royaume-Uni, Flandres, Suisse, Allemagne, Suède et Autriche), soit en tant que digestat brut, soit en tant que fraction solide ou liquide.

➔ 2.3/ DES ENJEUX VARIÉS PAR RAPPORT AUX SOLUTIONS ALTERNATIVES

La méthanisation a la particularité d'être une solution intéressante aussi bien pour la transition énergétique, le passage à une économie plus circulaire que pour l'évolution des systèmes de production agricole. Elle permet de traiter des matières organiques tout en produisant un biogaz et un digestat valorisés ensuite sous diverses formes (énergétique, agronomique, etc.).

TABLEAU 3
POSITIONNEMENT DES PRINCIPALES FILIÈRES ALTERNATIVES À LA MÉTHANISATION PAR RAPPORT AUX ENJEUX IDENTIFIÉS

Porteur	Lutte contre le CC et réduction des émissions de GES	Réduction des consommations d'énergie fossile	Augmentation de la production d'EnR	Réduction du volume de déchets éliminés, incinérés	Pérennisation des systèmes de production agricole	Réduction des risques de conflit d'usage des sols	Réduction de la dépendance de l'agriculture aux éléments minéraux
Méthanisation	●	●	●	●	●	Variable selon les filières	●
FILIÈRE ALTERNATIVE DE GESTION DE DÉCHETS :							
Compostage	○	○	○	●	○	○	●
Stockage d'effluents	●	○	○	○	○	○	○
Incinération	●	●	●	●	○	○	○
Combustible solide de récupération (CSR)	●	●	●	●	○	○	○
FILIÈRES ALTERNATIVES À LA VALORISATION DU BIOGAZ :							
Biomasse énergie, autres EnR, H ₂	●	●	●	○	○	Variable selon les filières	○
Énergies fossiles	●	●	●	○	○	○	○
FILIÈRES ALTERNATIVES À LA VALORISATION DU DIGESTAT :							
Épandage direct de boues et d'effluents d'élevage	●	○	○	●	●	○	●
Fertilisants chimiques	●	●	○	○	○	○	●

○ impact favorable ● impact défavorable ○ sans impact

La méthanisation doit se positionner comme une filière de référence, parmi d'autres, face aux enjeux suivants (présentés sans hiérarchie, tous considérés selon une vision systémique) :

- la lutte contre le changement climatique (CC) et la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) ;
- la réduction de la consommation de ressources fossiles, y compris non énergétiques (eau, phosphates...) ;
- l'augmentation de la part de la production des énergies renouvelables (EnR) dans le mix énergétique ;
- la réduction des volumes de déchets destinés à l'enfouissement ou à l'incinération ;
- la pérennisation des systèmes de production agricole dans un contexte de transitions énergétique et écologique ;
- la réduction des risques de conflit d'usage des sols (alimentaire, énergétique, préservation de la biodiversité...) ;
- la réduction de la dépendance de l'agriculture française aux principaux éléments minéraux tels que l'azote (N), le phosphore (P) et les oligo-éléments comme le potassium (K) ou le soufre (S) en respectant l'équilibre de la fertilisation et la qualité des sols ;
- la création de valeur, de compétences et d'emplois.

D'autres filières partagent ces enjeux⁽¹⁵⁾, comme le compostage, la biomasse énergie ou l'épandage direct de boues et d'effluents d'élevage. Cependant, aucune d'entre elles n'est a priori en capacité de les adresser tous simultanément, comme le montre le tableau 3.

⁽¹⁵⁾ Ces filières alternatives ont néanmoins d'autres enjeux, qui ne sont pas évoqués ici.

On entend par filière de référence une filière de développement durable, optimisée, qui intègre les enjeux économiques, mais aussi environnementaux et sociaux. La méthanisation doit être performante et compétitive, en prenant en compte tous les enjeux du développement durable, face à des solutions alternatives sur les marchés du carbone, du CO₂, de l'azote, etc.

a/ Lutte contre le réchauffement climatique et réduction des émissions de gaz à effet de serre

La méthanisation présente globalement un bilan favorable grâce aux valorisations du biogaz et du digestat, par rapport à des solutions de référence de traitement de ces gisements sans valorisation ou de consommation équivalente de gaz naturel et fertilisants chimiques. La valorisation du biogaz, de même que celle du digestat lorsqu'il se substitue à un engrais minéral, contribue à limiter le recours aux ressources fossiles comme le pétrole ou le gaz naturel. Quelques analyses de cycle de vie, réalisées récemment sur des cas particuliers de méthanisation, indiquent que des gains sont envisageables.

Ainsi, l'analyse de cycle de vie du biogaz issu de cultures énergétiques a été réalisée dans le cas d'une valorisation en carburant véhicule et en chaudière après injection dans le réseau de gaz naturel [7]. Cela a permis de dresser un premier diagnostic sur le rôle des cultures énergétiques dans les bilans environnementaux d'une filière de méthanisation.



Dans cette étude, un seul substrat principal a été étudié (le lisier) et l'incorporation de plusieurs cultures énergétiques a été modélisée, à des taux variables. Les résultats ont été comparés aux filières essence, diesel et GNV pour une valorisation en carburant véhicule et gaz naturel pour une utilisation en chaudière. Résultat : avec toutes les précautions nécessaires d'usage quant aux données et méthodes utilisées, d'importantes réductions d'émissions de GES peuvent être obtenues : entre 60 et 70 % selon les cultures et le taux d'incorporation de cultures énergétiques⁽¹⁶⁾.

L'évaluation des impacts GES de l'injection du biométhane dans les réseaux de gaz naturel a également été réalisée à partir de différentes hypothèses de développement de cette filière [8]. À l'horizon 2020, l'injection de biométhane est estimée à 4 TWh, soit environ 1 % de la consommation prévisionnelle de gaz, selon un mix moyen calculé à partir du portefeuille de projets de GrDF et détaillé dans l'étude. Six filières de production de biométhane sont comparées : installations de stockage des déchets non dangereux, ordures ménagères avec et sans tri à la source, déchets agricoles et territoriaux, déchets agricoles à la ferme et Step. Le développement de ces filières et leur impact sur le changement climatique (émissions induites et évitées) sont comparés à la situation actuelle (filiales de traitement des déchets existantes, utilisation des résidus de culture ou effluents d'élevage, utilisation des terres). Le développement de l'injection de biométhane dans le réseau de gaz permettrait à l'horizon 2020 une réduction nette des émissions de GES estimée à 188 gCO₂eq/kWh par rapport à une situation sans développement de cette filière. Pour une production de 4 TWh, les gains de GES en 2020 seraient de 751 kTCO₂eq.

Les risques d'émissions de GES lors de la méthanisation sont, d'après l'état actuel des connaissances [9], d'éventuelles fuites non maîtrisées de CH₄ lors de l'étape de production et de traitement du biogaz, et dans une moindre mesure lors du stockage et du traitement des digestats, ainsi que des rejets de protoxyde d'azote (N₂O) lors de la valorisation du digestat. Ces émissions sont cependant plus faibles dans le cas d'une méthanisation maîtrisée par rapport à d'autres modes de gestion comme le stockage et l'épandage direct ou le compostage.

b/ Qualité de l'air

La méthanisation étant réalisée en cycle fermé et faisant appel à des procédés de traitement et d'épuration du biogaz, les impacts possibles sur la qualité de l'air sont limités, ce qui n'empêche pas de les mesurer et les réduire au maximum. Le processus conduit par ailleurs à désodoriser un substrat, ce qui réduit la diffusion d'odeurs lors de l'épandage du digestat par rapport à un substrat non méthanisé. On manque néanmoins de données de référence pour quantifier et comparer les impacts de la méthanisation par rapport à d'autres solutions de gestion, comme le stockage et l'épandage, le compostage, l'incinération ou l'élimination en installation de stockage. D'après l'état actuel des connaissances [9], les

impacts potentiels sont les suivants : des émissions d'hydrogène sulfuré (H₂S) lors de la production du biogaz, des émissions de polluants réglementés (NO_x, SO_x...) lors de sa valorisation et des émissions d'ammoniac (NH₃) et d'odeurs lors du stockage des substrats et du digestat ainsi que lors de l'épandage du digestat. L'odeur est par ailleurs la principale raison évoquée par les personnes qui ne souhaitent pas qu'une installation de méthanisation soit localisée à moins d'un kilomètre de chez elles [10].

c/ Réduction de la consommation de ressources fossiles

Comme évoqué précédemment, la valorisation énergétique du biogaz permet de réduire la consommation de ressources fossiles qui seraient destinées au même usage. La valorisation agronomique du digestat permet également de réduire la consommation d'énergies fossiles qui auraient été nécessaires pour produire une quantité équivalente de fertilisants chimiques.

La valorisation du digestat en substitution à un engrais minéral contribue également à réduire l'extraction d'oligo-éléments, composants des engrais.

d/ Augmentation de la production des énergies renouvelables

Le recours à la méthanisation est prévu par l'État pour augmenter la part de la production des énergies renouvelables dans le mix énergétique [11] : **à l'horizon 2020, l'État prévoit de porter à 2,3 % la part du biogaz dans la production électrique d'origine renouvelable (soit 3,7 TWh et 625 MW installés, contre 1,1 % en 2010) et à 2,8 % la part du biogaz dans l'énergie produite à partir de sources renouvelables dans le secteur du chauffage et du refroidissement (soit 555 ktep en consommation finale contre 0,7 % en 2010).**

Par ailleurs, comme évoqué plus haut (cf. tableau 2), l'arrêté du 24 avril 2016 relatif à la programmation des capacités de production d'énergie renouvelable précise les nouveaux objectifs à l'horizon 2023. Pour la méthanisation, en termes de puissance totale installée, ils sont de ⁽¹⁷⁾ :

- 137 MW au 31 décembre 2018 ;
- 237 MW (option basse) et 300 MW (option haute) au 31 décembre 2023.

⁽¹⁶⁾ L'étude précise que les gains sont estimés sans prendre en compte le changement d'affectation des sols, qu'ils soient directs ou indirects ; de tels changements, s'ils devaient exister, pourraient être de nature à réduire voire annuler ces gains. Les changements directs restent cependant peu probables et bien encadrés.

⁽¹⁷⁾ Cet arrêté précise que l'objectif de production d'électricité à partir du biogaz pour les deux filières – biogaz de décharge ou de stations d'épuration et usine d'incinération d'ordures ménagères – est d'équiper les sites existants de moyens de production électrique permettant de valoriser l'énergie produite lorsque c'est économiquement pertinent. Les auteurs de l'étude rappellent que les données présentées sont des ordres de grandeur et des tendances à considérer dans leur contexte afin d'en apprécier la valeur.



e/ Création de valeur, de compétences et d'emplois

On dénombre 1 700 emplois en 2013, par enquête auprès de plus de 370 sites biogaz et acteurs de la filière [12] : environ un tiers est lié aux installations biogaz et deux tiers aux activités connexes (études, conception, conseil, développement, réalisation, construction...). Il s'agit essentiellement d'emplois qualifiés non délocalisables : 90 % de l'ensemble des travailleurs sur site ont

une formation postbac et 70 % dans les activités connexes ont une formation bac+4. Cette étude fournit également une estimation du nombre d'emplois qui seraient créés par l'atteinte des objectifs fixés par l'État à l'horizon 2020 : 10 043 emplois en développement et construction et 4 854 emplois en exploitation et maintenance. L'intérêt de cette étude est aussi de proposer des ratios ETP (équivalent temps plein)/MW selon différents types de site, comme le montre le tableau 4.

TABEAU 4

RATIO EMPLOI CRÉÉ DANS LA FILIÈRE MÉTHANISATION PAR MW INSTALLÉ, SELON LE TYPE D'UNITÉ DE MÉTHANISATION (ETP/MW [12])

TYPE D'UNITÉ DE MÉTHANISATION	RATIO EMPLOI EN DÉVELOPPEMENT CONSTRUCTION / MW	RATIO EMPLOI PERMANENT / MW
Agricole / industriel 250 kWe	7,1 ETP / MW	4,8 ETP / MW
Agricole territorial 700 kWe	14,9 ETP / MW	6,7 ETP / MW
Industriel 1 MWe	3,8 ETP / MW	1,4 ETP / MW
Step 1 MWe	14,0 ETP / MW	2,1 ETP / MW
Déchets ménagers 1 MWe	49,7 ETP / MW	17,9 ETP / MW

➔ 2.4/ DES ENJEUX SPÉCIFIQUES

Pour devenir une filière compétitive, la méthanisation fait face aujourd'hui à des enjeux spécifiques de natures économique, technique, environnementale et sociale ; elle doit aussi se positionner comme une solution résiliente, polyvalente et multifonctionnelle.

Sur le plan économique, l'enjeu est de développer un modèle pérenne de gestion des déchets, valorisant les différents atouts de la méthanisation (production d'énergie, de digestat, service écosystémique, réduction des externalités négatives...).

La méthanisation doit aussi se différencier des autres solutions de gestion en offrant des services à un coût acceptable. Chaque maillon de la chaîne de valeur (recherche et développement, portage de projet, étude-conception, construction, exploitation, maintenance, financement) doit trouver sa rentabilité, pour différentes catégories de projets, selon la taille, le portage (individuel ou mutualisé), les intrants et les modes de valorisation.

Sur le plan technique, plusieurs sujets de préoccupation sur la conception, l'exploitation et la maintenance des installations sont identifiés par les acteurs de la filière [13, 14] et devront être résolus à terme : évaluation des potentiels méthanogènes, de leurs variations et pilotage de la formulation ; préparation de la matière ; ajustement des procédés en fonction des substrats ; optimisation des dimensionnements ; efficacité énergétique des équipements ; traitement et valorisation des fertilisants ; performances de l'épuration du biogaz ; performances de la cogénération ; injection du biométhane ; contrôle et validation des performances. La sécurité est également un enjeu important.

D'autres sujets mériteront une attention particulière dans les prochaines années. Ils nécessiteront des ruptures technologiques et/ou une vision systémique du positionnement de la méthanisation dans les territoires (intégrant agriculture, industrie, énergie, économie circulaire...). Il s'agit de rendre la méthanisation adaptée, compatible, contribuant aux évolutions énergétiques de demain, aussi bien du côté de la production des vecteurs énergétiques que des modes de gestion des réseaux (électriques, gaz) et/ou des usages (électricité, chaleur, carburant pour la mobilité, bâtiment, numérique, stockage d'énergie...). Il s'agit aussi de rendre la méthanisation adaptée aux spécificités et aux dynamiques des territoires (agricoles, urbains), à des échelles géographiques variables, avec :

- une bonne adéquation entre des gisements mobilisables et la demande en nature et en quantité de digestats ;
- l'adaptabilité à différentes formes de biomasse ;
- une meilleure intégration de la méthanisation dans les différents plans de gestion et de valorisation de la biomasse.



➔ 3/ LES VISIONS



Les visions de long terme établies dans le cadre de cette feuille de route ont vocation à décrire, à traits grossiers, la méthanisation à l'horizon 2050. Il s'agit donc de "raconter" différentes solutions crédibles au travers de choix de ressources mobilisées, de technologies de méthanisation, de vecteurs énergétiques ou de digestats produits.

Ces visions n'ont pas la prétention de décrire ce que sera la réalité à l'horizon 2050, mais plutôt de définir le champ des possibles pour ensuite en déduire un large ensemble de verrous et de priorités de recherche. La réalité sera très probablement une combinaison de ces visions prospectives.

➔ 3.1/ MÉTHODOLOGIE

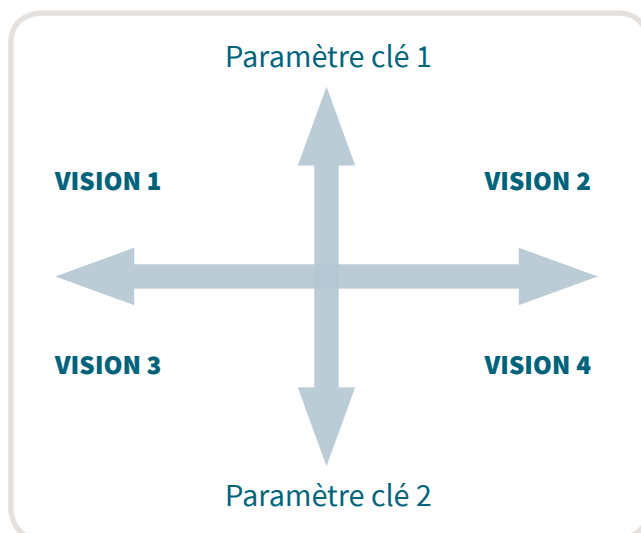
La construction de visions à long terme repose sur l'identification de paramètres clés, des facteurs externes à la méthanisation mais de nature à infléchir son développement à l'horizon 2050. Ils ont été choisis sachant que leur évolution contrastée aboutira à des visions radicalement différentes (cf. figure 3). Ces visions ayant notamment vocation à éclairer les décideurs, il est utile de limiter le nombre de paramètres clés et le nombre de visions qui en découlent.

La construction d'un maximum de quatre visions est un exercice conceptuel qui s'affranchit délibérément de choix d'orientations stratégiques ou de la définition d'objectifs prioritaires.

Les visions qui suivent sont toutes a priori envisageables et compatibles avec l'atteinte du Facteur 4⁽¹⁹⁾ en 2050. On considère de plus que la méthanisation est une filière en capacité de s'adapter à la volatilité du prix de l'énergie et aux variations aussi bien à la hausse qu'à la baisse des prix de l'énergie. Nous considérons qu'en 2050, les unités de méthanisation sont performantes, sûres et rentables, notamment par la rémunération de services rendus.

⁽¹⁹⁾ Issu du programme d'orientation de la politique énergétique française de 2005, le Facteur 4 vise à diviser par quatre les émissions françaises de gaz à effet de serre à l'horizon 2050 par rapport à leur niveau de 1990.

FIGURE-3 SCHÉMA CONCEPTUEL DES VISIONS PROSPECTIVES SELON LES PARAMÈTRES CLÉS



➔ 3.2/ PARAMÈTRE CLÉ N°1 : LA GESTION DES APPROVISIONNEMENTS

Ce paramètre est associé à la notion de proximité dans la gestion des approvisionnements, ce qui conduit à deux situations contrastées :

a/ Une gestion locale

Elle implique un circuit court, autrement dit une proximité entre le lieu de production des intrants et l'unité de méthanisation. Dans certains cas, l'unité de méthanisation peut être localisée sur le lieu même de production des intrants. C'est le cas de la méthanisation à la ferme ou de la micro-méthanisation.

La valorisation énergétique du biogaz et la valorisation agronomique du digestat se font dans la mesure du possible au plus près de l'unité de méthanisation, ce qui favorise par exemple l'autonomie énergétique et l'autonomie en azote des exploitations agricoles. Cela réduit également la consommation de matières premières non renouvelables (gaz naturel, carburants, CO₂) et de fertilisants chimiques.

Parfois, des regroupements d'acteurs locaux gèrent une unité de méthanisation mutualisée, collective, multipartenariale, sur tout ou partie de la chaîne de valeur (appro-

visionnement, méthanisation, traitement et transformation du digestat, collecte, épuration, injection du biogaz).

b/ Une gestion globale

Les approvisionnements sont sélectionnés pour leurs prix et leurs propriétés intrinsèques conformément à "la recette" du digesteur, indépendamment de leur proximité avec l'installation de méthanisation. Ils peuvent ainsi être importés et transportés sur de longues distances si besoin.

L'unité de méthanisation est de taille importante. Elle est notamment conçue pour produire massivement des vecteurs énergétiques (biométhane dit de 3^e génération issu de microalgues, mix biométhane/méthane de synthèse, bioGNV).

Elle se positionne également comme une brique d'autres activités industrielles, par exemple pour optimiser la valorisation de sous-produits d'une bioraffinerie ou fournir du CO₂ d'origine renouvelable.

➔ 3.3/ PARAMÈTRE CLÉ N°2 : LA VALORISATION

Ce paramètre permet de faire varier le nombre et la complexité des valorisations, entre les deux extrêmes suivants : valorisation "simple" et "multiple".

Le biogaz et le digestat peuvent être valorisés en tout ou partie, sur site ou hors site. Plusieurs montages juridiques sont envisageables :

- le maître d'ouvrage de l'unité de méthanisation gère lui-même les valorisations ;
- le maître d'ouvrage livre son biogaz à un tiers, qui le collecte, le transporte et le transforme : épuration, injection, bioGNV, H₂ carburant... ; ce tiers est un acteur spécialisé de l'énergie et peut être en capacité d'optimiser les productions de différents vecteurs énergétiques par rapport aux profils de consommations ;
- le maître d'ouvrage fournit un digestat brut à un traiteur, transformateur en produit homologué, normalisé, en molécules (parfois qualifiées de molécules à valeur ajoutée).

a/ Valorisation simple :

L'unité de méthanisation valorise le digestat brut par épandage et le biogaz sous la forme d'un ou plusieurs vecteurs énergétiques (chaleur, électricité, biométhane injecté en réseau, bioGNV), sans chercher nécessairement d'optimisation énergétique entre eux et de synergie avec les usages.

La valorisation énergétique du biogaz contribue aussi bien à l'autoconsommation du site en chaleur, en électricité, voire en carburant, qu'à la production massive d'un vecteur énergétique.

b/ Valorisation multiple :

Toutes les voies de valorisation du digestat et du biogaz sont a priori envisageables, qu'elles soient agronomique, énergétique ou matière (engrais NP, engrais organique, amendement organique, vecteurs énergétiques sous forme de chaleur, électricité, biométhane injecté en réseau, bioGNV, H₂, CO₂, molécules), y compris celles encore peu explorées comme le biométhane de 3^e génération issu de microalgues ou la valorisation du CO₂ du biogaz.

L'unité de méthanisation produit un digestat qui fait l'objet d'un traitement et de la production d'au moins deux vecteurs énergétiques.

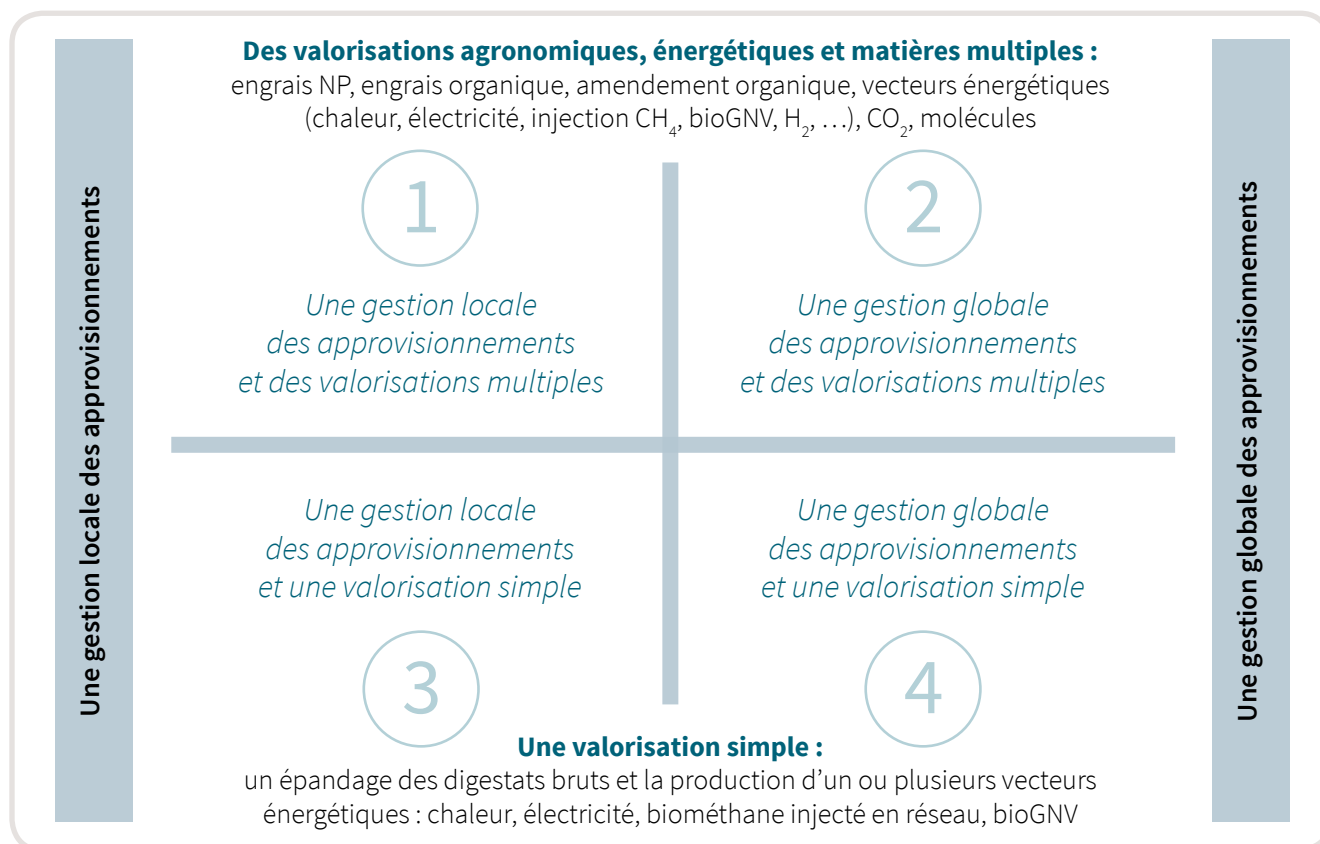
La valorisation énergétique du biogaz permet aussi d'envisager de nouveaux schémas d'optimisation et de synergies entre vecteurs, comme la convergence de la production de biogaz avec des réseaux électriques qui ont un surplus d'électricité d'origine renouvelable pour produire de l'hydrogène carburant.

Plusieurs modèles économiques sont envisageables pour gérer les valorisations multiples du digestat et du biogaz, selon que le maître d'ouvrage assure lui-même ou non cette étape. On trouve dans cette option les différents modèles de bioraffinerie (territoriale, mondialisée) ayant recours à la méthanisation.

➔ 3.4/ LES VISIONS PROSPECTIVES DE LA MÉTHANISATION

Les quatre visions sont décrites dans la figure 4.

FIGURE-4 QUATRE VISIONS PROSPECTIVES DE LA MÉTHANISATION EN 2050



a/ Vision 1 : une gestion locale des approvisionnements et des valorisations multiples

Selon cette vision :

- les gisements sont gérés localement ;
- l'unité de méthanisation a la capacité de gérer des intrants multiples, hétérogènes ;
- les acteurs locaux se regroupent autour d'un projet de développement de territoire ;
- la méthanisation est adaptée aux sites industriels, aux stations d'épuration qui proposent des valorisations multiples de biogaz et digestats ;
- la valorisation énergétique du biogaz est adaptée à des usages locaux ;
- le digestat est traité, transformé pour une valorisation agronomique locale en priorité.

La méthanisation est une alternative au compostage, à l'épandage direct ou à l'élimination en installation de stockage de déchets. Des unités de méthanisation se développent selon le modèle de bioraffineries territoriales. L'unité est localisée par exemple sur le site d'un industriel producteur de déchets organiques, sur une Step, sur un site de traitement de déchets ou en zone rurale avec un regroupement de plusieurs exploitants agricoles.

Cette vision est portée aussi bien par des acteurs économiques industriels, agricoles et des collectivités territoriales en propre que par des groupements de plusieurs partenaires. Les porteurs du projet possèdent la majorité des gisements. Le schéma simplifié est le suivant :

- une plateforme de réception et de préparation des gisements locaux ;
- une étape de méthanisation ;
- des étapes multiples sur site ou hors site de valorisation du biogaz et du digestat, telles que :
 - réseau de chaleur et de froid, épuration et injection de CH₄ en réseau, bioGNV, reformage en hydrogène carburant (cf. exemple détaillé dans l'encadré ci-après) ;
 - production sur site d'engrais NP, d'engrais organiques, d'amendements organiques homologués, normalisés ; éventuellement autoconsommation et exportation ;
 - transformation sur site ou hors site du digestat en azote (N), phosphate (P), molécules.

La valorisation de la méthanisation par “reforming catalytique du biogaz” est encore peu explorée, au stade de “démonstration de la technologie en environnement représentatif”. Ainsi, un pilote de 5 m³/h de production d'H₂ carburant à partir de biogaz de décharge est actuellement installé à Labessière-Candeil (81) sur un site géré par Trifyl, syndicat départemental d'élimination des déchets. Des unités industrielles (avec du biogaz de différentes origines) sont envisagées, pour être déployées dans les 5 prochaines années. Leurs capacités sont évaluées entre 100 et 500 m³/h d'hydrogène, soit quelques centaines de m³/h de biogaz non épuré⁽²⁰⁾. La production d'hydrogène carburant par cette voie apporterait une contribution aux nouvelles solutions de d'électromobilité en milieu urbain et périurbain, une contribution à la fois décarbonée et à zéro émission (ni particules ni NOx). Dans la vision 1, le déploiement de l'hydrogène énergie se fait dans une logique de mise en adéquation des ressources renouvelables d'un territoire avec les besoins en énergie des consommateurs. À terme, 10 000 stations-service hydrogène seraient à construire d'ici à 2050 en Europe ; même si la production locale n'est envisagée que pour 10 % d'entre elles, le marché serait de plusieurs dizaines d'unités de méthanisation par an. La filière biogaz pourrait en capter une bonne partie grâce à un positionnement économique avantageux pour des applications en milieu urbain soumis à de fortes exigences de qualité de l'air.

b/ Vision 2 : une gestion globale des approvisionnements et des valorisations multiples

Selon cette vision :

- les gisements sont sélectionnés non pas selon des critères de proximité géographique, mais pour leurs propriétés par rapport à la « recette » du digesteur afin d'obtenir les valorisations envisagées ;
- le système de production est à l'échelle industrielle, de taille importante, pour tirer parti de l'effet d'échelle ; la production est optimisée selon une approche systémique avec la prise en compte simultanée des enjeux par rapport au climat, aux déchets et à la substitution de matières premières vierges.

L'unité de méthanisation est localisée sur une zone facile d'accès, telle qu'un nœud routier ou fluvial, une zone portuaire, aéroportuaire, une zone d'écologie industrielle et territoriale⁽²¹⁾ ...

Cette vision est portée principalement par des acteurs économiques de l'industrie des agroressources, de l'agroalimentaire, de la chimie, des matériaux et des bioénergies. Son schéma simplifié est le suivant :

- une activité logistique importante, relative à la gestion des gisements ;
- une étape de méthanisation, en interaction avec d'autres systèmes de production industrielle de matières premières et d'énergie (cf. exemple détaillé dans l'encadré ci-après) ;
- des étapes multiples de valorisation du biogaz et du digestat, sur site ou hors site, telles que :
 - réseau de chaleur et de froid, épuration et injection de CH₄ en réseau, bioGNV, couplage méthanisation et méthanation (cf. exemple détaillé en encadré) ;
 - production sur site d'engrais NP, d'engrais organiques, d'amendements organiques homologués, normalisés ; éventuellement autoconsommation et exportation ;
 - transformation sur site ou hors site du digestat en azote, phosphate, molécules... ;

- nombreuses voies de valorisation du CO₂ (cf. exemple détaillé en encadré).

Chaque unité industrielle est un cas particulier qui tire profit de ces valorisations, comme le montrent les exemples ci-après, qui n'ont d'autre but que d'illustrer le champ des possibles imaginables aujourd'hui.



⁽²⁰⁾ La corrélation entre la production d'H₂ et de CH₄ non épuré dépend notamment du taux de CH₄ dans le biogaz.

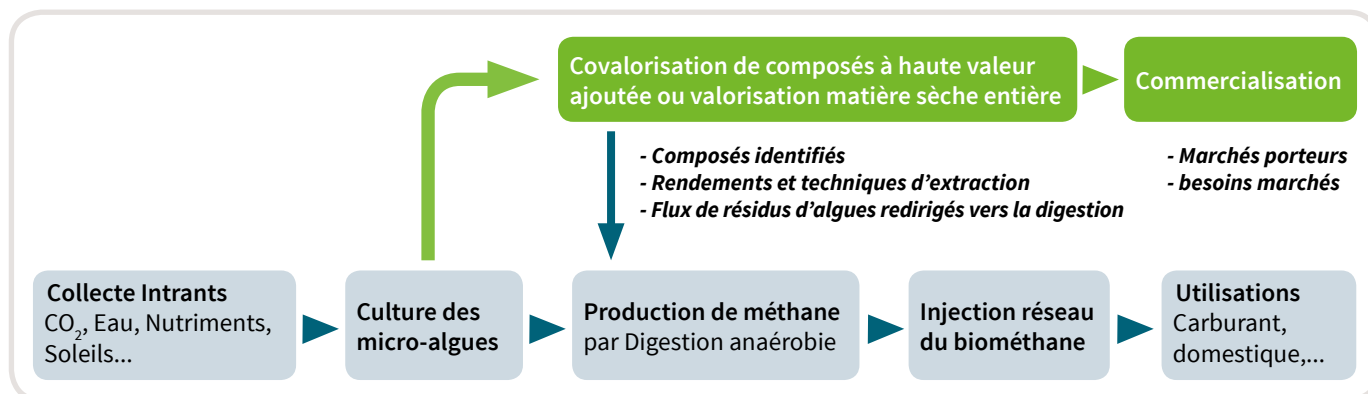
⁽²¹⁾ L'écologie industrielle et territoriale, dénommée aussi symbiose industrielle, constitue un mode d'organisation inter-entreprises par des échanges de flux ou une mutualisation de besoins.

MICROALGUES ET BIOMÉTHANE DE 3E GÉNÉRATION

La culture de microalgues est actuellement à l'étude dans de nombreux projets pour en extraire des composés pour l'alimentation et l'industrie (chimie, carburants ; cf. projets ALLGAS, SALINALGUE et SYMBIOSE listés en annexe). Il est particulièrement intéressant d'intégrer dans ces systèmes de production une étape

de méthanisation des résidus, ce qui permet non seulement d'apporter une source de CO_2 nécessaire à la croissance des microalgues mais aussi de produire du biométhane pouvant être injecté en réseau, comme le montre la figure 5.

FIGURE-5 LA FILIÈRE BIOMÉTHANE DE 3E GÉNÉRATION [15]



POWER-TO-GAS

La production de méthane issu d'une unité de méthanisation peut être significativement augmentée en la couplant avec une unité de méthanation du CO_2 (ou power-to-gas). Cette solution présente un intérêt en cas d'excédents d'électricité d'origine renouvelable dès lors que l'unité de méthanisation est à proximité de cet excédent. Le principe de la méthanation consiste à utiliser cette électricité pour produire de l'hydrogène par électrolyse de l'eau. L'hydrogène est ensuite injecté dans le digesteur ou dans le biogaz pour réagir avec le CO_2 issu de la méthanisation et produire du CH_4 de syn-

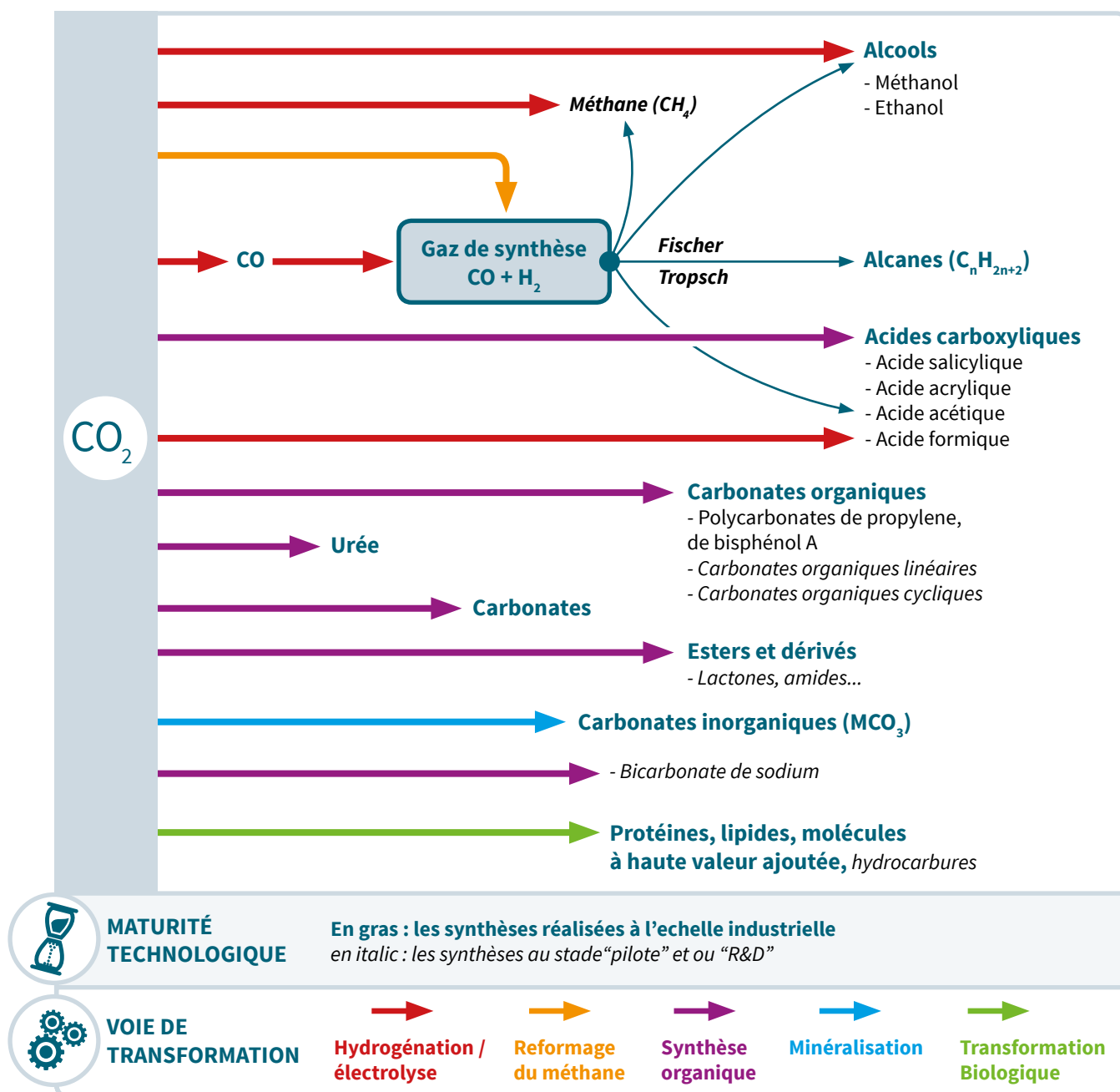
thèse. Au global, avec ce système, environ 60 % du méthane produit et injecté en réseau provient du biométhane (issu de la méthanisation) et 40 % du méthane de synthèse (issu de la méthanation). Les investissements supplémentaires à prévoir sont un électrolyseur et un dispositif d'injection d'hydrogène. Plusieurs projets de production de méthane de synthèse à partir de CO_2 issu du biogaz sont à des états plus ou moins avancés de développement (cf. projets Alpha plant, El upgraded biogas, Electrochaea, Eucolino, HyCaBioMe, P2G-BioCat listés en annexe).

DES SOLUTIONS DE VALORISATION DU CO_2

Le CO_2 contenu dans le biogaz peut être valorisé sous de multiples formes chimiques, comme le montrent des études récentes [16, 17] et comme le décrit la figure 6. Certaines synthèses sont d'ores et déjà réalisées à l'échelle industrielle. Le CO_2 issu de la méthanisation

présente l'intérêt de ne pas être d'origine fossile. Aussi, peut-on imaginer qu'une production massive de CO_2 sur des sites de méthanisation industrielle intéresse des clients industriels fortement consommateurs de CO_2 et situés à proximité du site.

FIGURE-6 PRINCIPAUX PRODUITS CHIMIQUES OBTENUS À PARTIR DE CO₂ [17]



c/ Vision 3 : une gestion locale des approvisionnements et une valorisation simple

Selon cette vision :

- les gisements sont gérés localement ;
- l'unité de méthanisation est conçue pour répondre au besoin de traiter un ou plusieurs gisements, avec l'opportunité d'une valorisation simple du biogaz et du digestat ;
- le porteur du projet possède généralement le gisement ;
- le digestat brut est épandu et le biogaz est valorisé sous la forme d'un ou plusieurs vecteurs énergétiques, sans chercher nécessairement d'optimisation entre les uns et les autres ni de synergie avec les usages.

La différence avec la vision 1 provient d'une part du niveau de valorisation du biogaz et du digestat (simple ici et multiple en vision 1) et d'autre part, dans certains cas, de la nature des porteurs du projet. Ici le porteur du projet est généralement l'acteur économique qui possède le gisement et l'unité de méthanisation est localisée sur son lieu de production ; tandis que dans la vision 1, les acteurs économiques sont amenés à s'associer pour gérer l'unité en partenariat.

Trois types d'unité sont adaptés :

- 1/ La méthanisation à la ferme : L'unité est intégrée à l'exploitation agricole. Elle en est son prolongement et contribue à son autonomie en énergie et en oligo-éléments grâce au retour au sol du digestat brut sur l'exploitation. Le biogaz est valorisé sous forme de chaleur et d'électricité, voire de bioGNV, pour l'autoconsommation avec revente éventuelle du surplus (injection du CH₄ sur le réseau) ; la synergie avec d'autres vecteurs énergétiques n'est pas nécessairement recherchée. Le biogaz brut peut aussi être vendu à un collecteur.
- 2) La méthanisation intégrée à un site industriel ou à une Step : L'unité de méthanisation est localisée au plus près du gisement, par exemple sur le site d'un industriel producteur de déchets organiques ou d'une Step. Le biogaz est valorisé sous forme de chaleur et d'électricité, voire de bioGNV, pour l'autoconsommation avec revente

éventuelle du surplus (injection du CH₄ sur le réseau) ; la synergie avec d'autres vecteurs énergétiques n'est pas nécessairement recherchée. Le biogaz brut peut également être vendu à un collecteur ; le digestat livré à un tiers pour transformation.

- 3) La micro-méthanisation résidentielle, tertiaire : L'unité est intégrée à un bâtiment résidentiel ou tertiaire. Elle traite les eaux usées domestiques et les résidus organiques tout en produisant de l'énergie (chaud/froid/électricité) qui est consommée localement par les usagers. Le digestat est utilisé localement ou cédé à un tiers.

d/ Vision 4 : une gestion globale des approvisionnements et une valorisation simple

Selon cette vision :

- les gisements sont sélectionnés non pas selon des critères de proximité géographique, mais pour leurs propriétés nécessaires à la « recette » du digesteur afin d'obtenir une valorisation énergétique spécifique ;
- le dispositif est à l'échelle industrielle avec production massive d'un vecteur énergétique, qui se transporte facilement et qui est adapté à des usages nationaux (biométhane injecté en réseau, bioGNV) ;
- le digestat est généralement cédé à un tiers qui le traite et le transforme pour le valoriser.

L'unité de méthanisation est localisée sur une zone facile d'accès d'une part pour l'approvisionnement des gisements et d'autre part pour le transport et la distribution du vecteur énergétique. Elle est située sur un gros site producteur de biogaz, comme une Step, un site industriel ou un site dédié.

Cette vision est portée principalement par des énergéticiens. Son schéma simplifié est le suivant :

- une activité logistique importante, relative à la gestion des gisements ;
- une étape de méthanisation ;
- une production massive de biométhane (injecté en réseau, bioGNV ; cf. encadré ci-dessous) ;
- le digestat est épandu, brut, localement ou cédé à un tiers pour traitement et transformation.

PRODUCTION DE BIOGNV GAZEUX OU LIQUÉFIÉ

La production de bioGNV gazeux existe actuellement à l'échelle industrielle et permet, après épuration du biogaz, d'utiliser le biométhane comme carburant en substitution de GNV d'origine fossile, sans modification des motorisations. Plusieurs stations de bioGNV existent ainsi en France, de nombreuses sont en projet pour des flottes de bus, de bennes à ordures, mais aussi de véhicules de collectivités, d'entreprises, de taxis et de particuliers⁽²²⁾. Quant au bioGNV liquéfié, sa production est actuellement en phase de démonstration industrielle,

avec notamment le projet BIOGNVAL accompagné par l'ADEME dans le cadre du programme Économie circulaire des Investissements d'Avenir. C'est le premier démonstrateur en France à proposer la production de biométhane liquéfié. La liquéfaction permet de condenser le gaz en réduisant son volume d'un facteur de près de 600 pour un même pouvoir calorifique, ce qui facilite son transport. Il est utilisé pour le transport terrestre par camion, le transport par voies maritimes, et comme moyen de stockage à court terme du gaz.

⁽²²⁾ Morsbach (57), Vert-le-Grand (91), Lille (59), Strasbourg (67), Antibes (06), Locminé (56).

➔ 4/ LES VERROUS



Ils sont de différentes natures.

➔ 4.1/ LES VERROUS SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES

Ils peuvent se présenter lors d'une ou plusieurs étapes de la méthanisation : lors de la mobilisation du gisement, de la production de biogaz et de la valorisation. Il est également important de garder à l'esprit que le cycle de vie de la méthanisation commence par la production d'un gisement et se termine par une utilisation finale - ce qui dépasse le périmètre de cette feuille de route. Il faut en tenir compte pour réaliser notamment des évaluations globales et systémiques.

On note un déficit de connaissances des écosystèmes microbiens impliqués dans les processus de décomposition de la matière organique et de sa transformation en biogaz ou en molécules à valeur ajoutée. Ce déficit est en partie lié au manque d'outils de biologie moléculaire adaptés à la méthanisation. Il en résulte des verrous sur :

- la compréhension des processus, leur contrôle et leur orientation ;
- le couplage de modèles biologiques de digestion anaérobie à des modèles chimiques et biochimiques : de tels modèles permettraient de mieux comprendre le fonctionnement des systèmes en appréhendant les facteurs en jeu, pour développer des outils de pilotage, prédire des productions des réacteurs (pic de pointe, molécules à valeur ajoutée, etc.)
- les connaissances sur les processus de modification du carbone, l'évolution de sa stabilité, les transformations tout au long de son cycle de vie ;
- l'évaluation des impacts sanitaires, notamment les connaissances sur les micropolluants émergents et les micro-organismes pathogènes pour mieux comprendre leurs interactions avec la flore microbienne, les conditions de leur prolifération et de leur destruction ;
- la métrologie à chaque étape, de la mobilisation du gisement à la production du biogaz et sa valorisation : les outils de contrôle, les indicateurs biologiques, les kits d'analyses, les outils portables de mesure sont insuffisants, tout comme les outils de suivi des "signaux analytiques" pour anticiper un problème de production de gaz et les règles de conduites pour y faire face (en cas de problème le retour à l'équilibre prendra des semaines). Il manque par exemple des outils de mesures rapides de BMP (Biochemical Methane Potential) selon un protocole standardisé.

Le manque de procédés intensifs est également un verrou pour traiter différentes ressources, souvent disper-

sées, peu méthanogènes mais présentes en grande quantité sur un territoire. À l'heure actuelle, le développement technologique est plutôt empirique et repose rarement sur une compréhension fine des phénomènes biologiques, chimiques, physiques... Les domaines à approfondir scientifiquement sont : la méthanisation par voie sèche, solide ou pâteuse, le découplage réactionnel (hydrolyse, acidogénèse, etc.) ou encore la maîtrise de recettes d'alimentation (effets antagonistes et/ou synergiques).

Les verrous ont été identifiés pour chaque étape de la méthanisation.

Concernant la mobilisation des gisements, on constate d'une façon générale un déficit de solutions technologiques et logistiques. Il manque par exemple des solutions de collecte et de stockage pour certains effluents d'élevage⁽²³⁾, des technologies adaptées pour mobiliser des résidus de cultures, ou encore des déchets de bord de route⁽²⁴⁾.

Concernant l'étape de production, les verrous identifiés sont :

- le manque de solutions de séparation des produits d'intérêt (par exemple par extraction ou purification), aussi bien en pré qu'en post digestion ; la difficulté à orienter des consortiums microbiens vers des transformations d'intérêt ;
- le besoin de solutions technologiques (mécanique, biologique, chimique) à l'échelle industrielle pour améliorer la biodisponibilité de la matière organique ;
- l'inadéquation des équipements et/ou des procédés aux gisements, le besoin de flexibilité, notamment pour gérer des variations et des hétérogénéités (agitateurs, broyeurs, trémies d'alimentation, systèmes de transfert et de brassage...) ; le manque de solutions en voie sèche, ce qui contraint parfois à humidifier des gisements secs pour passer en voie humide ; le déficit de retour d'expériences sur la complémentarité des voies sèche et liquide sur un même site⁽²⁵⁾;

- le besoin de solutions de micro-méthanisation ;
- les coûts importants de la construction, qui mériteraient d'être réduits au moyen par exemple de nouveaux modes constructifs.

Les verrous concernant la valorisation du biogaz sont :

- le manque d'offres de groupes électrogènes de faible puissance (< 60 kW) ;
- le besoin d'offres d'épurateurs de petite capacité ;
- le déficit d'offres de petites stations GNV "carburant sur site" ;
- l'éloignement entre les sites de production du biométhane et les points d'injection au réseau ;
- le besoin de solutions économiques pour créer une filière logistique de transport de biogaz en bonbonnes⁽²⁶⁾ : il n'existe pas de technologie de compression adaptée au biogaz, ni d'optimum économique de la filière "compression-transport-stockage-épuration-détente-injection" ;

- le manque de technologies performantes de stockage ;
- la nécessité d'une proximité et d'une adéquation entre la fourniture de biogaz (plus ou moins épuré et comprimé) et son utilisation (chaudière, moteur...) ;
- le rebours⁽²⁷⁾ du gaz injecté du réseau de distribution au réseau de transport.

Les verrous spécifiques au traitement, à la transformation et à la valorisation agronomique du digestat sont :

- le déficit de solutions de récupération de la matière organique, des macronutriments (N, P, K, S) et micronutriments. ...
- le manque de connaissances sur les conséquences du retour au sol des digestats sur la vie des sols, de l'humus... ; sur le bilan à long terme ; sur l'impact de la méthanisation sur la dégradation de la matière organique.

⁽²³⁾ Pour éviter le stockage de ces effluents, ce qui génère des pertes de pouvoir méthanogène, ils doivent être gérés directement depuis leur production à leur méthanisation. Cela nécessite la construction d'un bâtiment d'élevage adapté pour une gestion en continu.

⁽²⁴⁾ Les problèmes concernent la séparation des inertes et de la matière organique (solutions manuelles actuellement) ; la mobilisation du gisement, en respectant la sécurité routière et en préservant la biodiversité (par exemple : ne pas faucher pendant la nidification) sans générer de problème pour l'agriculture (adventice) ; l'absence de solution technologique économique ; le manque de connaissance et de retour d'expérience.

⁽²⁵⁾ Des produits pailleux en méthanisation par voie sèche associés en continu à un petit digesteur liquide peuvent favoriser l'ensemencement tout en évitant les "à-coups des réactions" qui seraient provoqués si les digestions étaient séparées (projet en cours à Recques-sur-Course, 62).

⁽²⁶⁾ Un projet d'expérimentation a été identifié : Cobiogaz (22), porté par la société de projet éponyme.

⁽²⁷⁾ Le rebours consiste à comprimer le gaz présent dans un réseau vers le réseau amont, par exemple du réseau de distribution au réseau de transport.

➔ 4.2/ LES VERROUS ORGANISATIONNELS

Dans chaque vision, le développement de la méthanisation nécessite des collaborations entre les différents acteurs de la chaîne de valeur "gisement-traitement-valorisation", en lien avec les autres acteurs économiques et politiques du territoire et la société civile. La difficulté de ces acteurs à travailler ensemble, à se faire confiance, à partager leurs intérêts est un verrou pour :

- positionner la méthanisation comme une réponse intégrée aux questions du territoire sur la gestion des matières organiques, la gestion durable des sols, la production d'énergies renouvelables, la gestion de l'énergie et du mix énergétique ;
- s'accorder sur la question de la concurrence d'usages des sols pour des productions alimentaires et non alimentaires ;
- mettre en place de petites infrastructures de méthanisation optimisées, voire de très petites installations (micro-méthanisation), en capacité de gérer intrants, sortants (biogaz, digestats), valorisation énergétique et matières (sous formes de digestats, molécules, etc.).

On constate par ailleurs, en France⁽²⁸⁾, un nombre réduit de démonstrateurs de méthanisation préindustriels, de bancs d'essais, et de plateformes d'essais. De tels équipements pourraient aider les acteurs à travailler ensemble, renforcer leurs connaissances, leurs compétences et faciliter le transfert de la recherche vers le secteur industriel. Les acteurs de la méthanisation, quels qu'ils soient, auront également besoin de recourir à des outils de plus en plus complexes et précis d'aide à la décision, à des

guides, à des méthodes, etc. On constate qu'il manque à l'heure actuelle de tels outils pour assurer :

- l'adéquation entre les zones de production de matière organique pouvant être méthanisée et les zones de consommation de ressources (énergétiques et matières) pouvant être apportées par la méthanisation ; cela ne permet pas, entre autres, d'apporter des réponses satisfaisantes aux problématiques suivantes : la mobilisation effective des ressources, la restitution des "digestats" au territoire, la localisation optimisée d'un parc de méthaniseurs, le renforcement du réseau électrique, le choix de projet gaz, entre transport et distribution...
- un choix éclairé d'une solution éco-efficiente de méthanisation, à partir d'informations comme les caractéristiques des intrants, les meilleures technologies disponibles, les gains de productivité, les performances (économique, technique, environnementale), la facilité d'intégration de la méthanisation dans une activité existante (agricole, bioraffinerie, Step...).

⁽²⁸⁾ Ont été identifiés : le démonstrateur Biogaz Vallée (60 m³, voie liquide) à Troyes, la plateforme semi-industrielle Solidia en voie sèche (Toulouse) et de prétraitement mécanique de la biomasse à Bure.

➔ 4.3/ LES VEROUS ÉCONOMIQUES, FINANCIERS

Les verrous suivants limitent le développement de la méthanisation :

- la difficulté d'associer une valeur économique et commerciale au service rendu par la méthanisation pour un territoire, pour une production de digestat (le bénéfice du retour au sol de la matière organique n'est, par exemple, pas chiffré) ou une production de biogaz (la réduction des émissions de GES par substitution du gaz naturel par du biogaz n'est pas chiffrée non plus) ;
- les projets d'investissement sans aide financière (de l'ADEME, des régions...) peuvent être difficiles à financer ; le financement doit parfois être découpé en plusieurs phases, au détriment de l'intérêt global du projet, par exemple avec un report du financement de la valorisation de la chaleur ;
- la méconnaissance de l'impact économique et le manque de gestion du risque associé, pour un exploitant (agricole, industriel...) qui investit dans une solution de méthanisation ;
- la méthanisation n'est pas perçue à sa juste valeur comme levier pour stabiliser l'activité économique d'une exploitation (par exemple agricole) ou pour favoriser sa résilience ;
- le prix des unités de production et des équipements associés est souvent prohibitif pour la taille des installations agricoles (< 50 m³/h), surtout pour les groupes de cogénération et les unités d'épuration de gaz ;
- la longueur des circuits de commercialisation, le cumul des marges entre fournisseurs de technologies et installateurs limitent les bénéfices des exploitants d'unités de méthanisation ;
- les charges d'exploitation sont trop élevées par rapport aux autres énergies renouvelables ;
- le digestat est difficile à valoriser dans le cadre de la réglementation actuelle ;
- le coût d'accès au réseau de gaz condamne l'injection pour les petites unités de production.

➔ 4.4/ LES VEROUS ÉCONOMIQUES, FINANCIERS

Les verrous concernent aussi bien les porteurs de projets de méthanisation (à la ferme ou centralisée) que les riverains et les citoyens concernés. Ils portent sur :

- le refus de la présence d'une unité de méthanisation avec, selon les cas, une opposition à :
 - tout type d'unité industrielle ;
 - la méthanisation en raison de la perception des dangers possibles ;
 - tout ou partie d'un projet de méthanisation avec une interrogation, une remise en cause des choix de localisation, de conception, de gisements mobilisés, de procédés mis en œuvre, de coûts, etc. ;
- le déficit d'information vulgarisée sur la méthanisation à destination du grand public alors même que les informations sur les accidents, les dangers, les nuisances ne manquent pas ;
- le manque de communication lors du montage des projets ;
- la méconnaissance des porteurs de projets, voire des décideurs, concernant les cultures intermédiaires à vocation énergétique et les cultures dédiées⁽²⁹⁾, risquant de conduire à des amalgames et des incompréhensions ;
- un contexte parfois défavorable de défiance et d'attentisme, avec la crainte de se lancer, de participer, de co-financer un projet de méthanisation ;
- la difficulté pour un porteur de projet de maîtriser des disciplines variées et de se conformer aux nombreuses réglementations associées, comme la gestion des déchets, le traitement biologique de la matière organique, la production et le transport de gaz, la valorisation de digestats...

⁽²⁹⁾ Les cultures dédiées, y compris énergétiques, s'inscrivent à l'inverse des cultures intermédiaires à vocation énergétique, dans une logique de culture principale ; la France s'est opposée à ce modèle pour la méthanisation, à la différence de l'Allemagne.

➔ 4.5/ LES VEROUS LIÉS AUX POLITIQUES ET MESURES PUBLIQUES

Ont été identifiés :

- le nombre important et la fragmentation des acteurs décisionnels intervenant dans le processus administratif ; les hétérogénéités régionales ; la quantité et la variété de rubriques réglementaires auxquelles doivent se conformer les projets de méthanisation, ce qui se traduit par une réelle difficulté à monter un projet dans un délai raisonnable ;
- la complexité des dossiers de financement ;
- le peu de tolérance à l'utilisation de cultures énergétiques (CIVE ou culture énergétique dédiée) ;
- le manque d'incitation de la réglementation actuelle pour mettre en œuvre des solutions de rupture, concernant notamment le déploiement des nouveaux usages énergétiques et de mobilité : par exemple, les véhicules fonctionnant à l'hydrogène carburant produit par reformage du biogaz pourraient être favorisés par une évolution de la réglementation sur la qualité de l'air en milieu urbain pour réduire significativement les émissions des GES, les particules fines et les NO_x.

➔ 5/ LES BESOINS DE RECHERCHE, DÉVELOPPEMENT ET INNOVATION

L'atteinte des visions 2050 passe par la levée des verrous décrits précédemment ainsi que par la mise en œuvre de programmes de recherche, développement et innovation (RDI) de natures différentes et complémentaires : scientifiques, technologiques et méthodologiques.

Ils nécessitent la mobilisation d'une communauté internationale d'acteurs publics et privés de la recherche ainsi qu'une coordination nationale renforcée. Cela permettra de favoriser l'adéquation de l'offre de recherche avec les besoins actuels et futurs des acteurs économiques des territoires, et de faire le lien entre les travaux scientifiques, technologiques et méthodologiques.

Les besoins de RDI s'inscrivent aussi dans une dynamique. Le groupe d'experts a intégré dans ses réflexions les nombreux travaux et projets déjà réalisés ou en cours. L'échelle TRL (Technology Readiness Level) est utilisée pour caractériser les besoins de RDI technologique selon le degré de maturité de la voie technologique (cf. figure 7).

FIGURE-7 ÉCHELLE DE MATURITÉ D'UNE TECHNOLOGIE OU ÉCHELLE « TRL » (TECHNOLOGY READINESS LEVEL)

TRL 1	2	3	4	5	6	7	8	9
Principes de base observés	Concept de la technologie formulé	Preuve expérimentale du concept	Validation en laboratoire du concept	Validation de la technologie dans un environnement significatif	Démonstration dans un environnement significatif	Démonstration dans un environnement opérationnel	Système complet et qualifié	Opérations missions réussies



➔ 5.1/ BESOINS DE RECHERCHE CONCERNANT LES MÉCANISMES ET LES IMPACTS

Ces besoins portent sur l'acquisition de connaissances sur les mécanismes réactionnels propres à la méthanisation et sur les impacts environnementaux associés. Ces recherches et les développements technologiques et méthodologiques qui en découlent sont intimement liés et s'enrichissent mutuellement.

a/ Une compréhension approfondie des mécanismes biologiques, chimiques et physiques et de leurs interactions est nécessaire pour poursuivre le développement de technologies et de modèles, notamment sur les thématiques suivantes :

- les effets antagonistes et/ou synergiques des populations microbiennes selon les conditions physico-chimiques du milieu ;
- la connaissance de l'activité biologique tout au long du processus de méthanisation jusqu'à l'usage des digestats et leur impact sur la biodiversité des sols ;
- les processus de modification du carbone, l'évolution de sa stabilité, les transformations tout au long de son cycle de vie, y compris plusieurs années après être retourné au sol ;
- la connaissance des impacts des micropolluants émergents et des micro-organismes pathogènes sur la digestion, pour mieux comprendre leurs interactions avec la flore microbienne et les conditions favorables à leur maîtrise ;
- l'orientation biologique de la digestion sur des compositions préférentielles de biogaz (CH_4 , H_2 , CO_2 ,...), par exemple avec l'utilisation d'additifs ;
- la connaissance des variations saisonnières d'un gisement, et ses conséquences sur la digestion et la production de biogaz et de digestat ;

- la sélection de souches microbiennes adaptées à la méthanation biologique pour favoriser la production de CH_4 de synthèse à partir d' H_2 injecté dans le digesteur tout en maintenant la production de biogaz par digestion anaérobie.

b/ Il est aussi important de développer des connaissances en termes d'impacts positifs et négatifs de la méthanisation sur le climat, l'eau, la qualité de l'air, les odeurs, les sols, les déchets, etc., pour différents gisements et différentes solutions de digestion et de valorisation énergétiques et agro-nomiques. Cela dans le but d'améliorer la qualité des études d'impacts et des évaluations multicritères selon une approche basée sur le cycle de vie. Ces connaissances contribueront également à la réflexion sur la monétarisation des externalités. Des besoins de recherche sont notamment identifiés sur :

- l'évaluation des fuites de biogaz ;
- les émissions lors de l'épandage de digestats (N_2O , NH_3) ;
- l'impact des cultures intermédiaires ;
- l'impact du prélèvement des résidus de culture sur la qualité des sols ;
- le contenu carbone du biométhane.

➔ 5.2/ BESOINS TECHNOLOGIQUES ET MÉTROLOGIQUES

Des travaux de RDI technologique sont nécessaires pour développer à l'échelle industrielle des équipements, des procédés et des systèmes de production éco-efficients de préparation de la matière, de digestion anaérobie, de valorisation énergétique et de transformation des digestats.

L'objectif est d'améliorer les services rendus par la méthanisation, de disposer de solutions technologiques à très haute performance⁽³⁰⁾, à impact environnemental réduit et à fort potentiel de commercialisation. La RDI en génie des procédés visera par exemple, selon les applications, à aboutir à des unités flexibles, robustes, intensives, miniaturisées, polyvalentes, sûres, et/ou réactives à l'hétérogénéité et aux variations des intrants et des marchés matières et énergie.

Des besoins spécifiques sont identifiés à chacune des étapes de la filière : lors de la mobilisation du gisement, de la digestion anaérobie et de la valorisation. La RDI sur les nouveaux procédés doit intégrer dès le départ une approche économique, qui sera renforcée au fur et à mesure de l'évolution de la maturité de la technologie, pour que le procédé industriel, in fine, soit en adéquation avec les

attentes du marché. Les besoins de RDI sont présentés ci-après par degré croissant de TRL.

a/ Les besoins concernant la mobilisation du gisement sont :

- le développement de technologies de prétraitement de la matière organique par voie biologique, chimique, ou physique ; le développement de solutions de préparation de la matière par hydrolyse ou préparation mécanique (broyage, défibrage...) [TRL2-4 voie biologique ; TRL 5-8 voie physico-chimique] ;
- le développement de systèmes optimisés de collecte de gisements récurrents et exceptionnels associé à un mode de stockage adapté permettant une alimentation la plus régulière possible du méthaniseur [TRL5-8] ;
- le développement de matériels de déconditionnement et désensachage [TRL6-8].

b/ Les besoins concernant la digestion anaérobie en produits intermédiaires sont :

- le développement d'une solution de méthanisation "flexible" permettant de produire à partir d'un même gisement, et selon la demande, différentes qualités de biogaz et digestat [TRL2-4] ;
- le développement de plateformes multimodales de traitement de déchets et biomasse, avec une combinaison de traitements en voie solide et liquide, et par extension tout le continuum entre les deux [TRL2-4] ;
- le développement de technologies de destruction de germes pathogènes tout en préservant les populations microbiennes nécessaires à la digestion et utiles à la biodiversité des sols [TRL2-4] ;
- la conception et le développement de réacteurs permettant de réaliser une méthanation biologique dans un digesteur (in situ), avec un dispositif adapté d'injection d' H_2 et une surface d'échange optimisée entre l' H_2 et le CO_2 , tout en maintenant la production de biogaz par digestion anaérobie [TRL2-4] ;
- le développement de micro-méthaniseur pour une production optimisée de CH_4 [TRL2-8]⁽³¹⁾ ;
- l'optimisation de procédés de méthanisation [TRL5-8] ;
- l'amélioration des performances techniques et énergétiques des solutions d'hygiénisation [TRL7-8].

c/ Les besoins concernant la valorisation du biogaz portent sur le vecteur biométhane, le réseau électrique et la valorisation du CO_2 .

Concernant le biométhane, ils portent sur :

- a conception de réseau gaz intelligent (smart gas grid) avec toutes les briques technologiques nécessaires pour y intégrer la méthanisation [TRL2-4] ;
- la réduction de la taille des équipements avec le développement de technologies de micro-épuration des gaz, via l'émergence de nouveaux procédés [TRL2-4] et la miniaturisation de technologies existantes [TRL4-6] ;
- la logistique, avec des solutions de valorisation du biométhane installées à proximité des sites de production et des infrastructures de distribution et de transport adaptées, permettant d'éviter la saturation des réseaux locaux : la compression et le stockage de gaz [TRL2-4, exemple : membranes poreuses], la microliquéfaction [TRL3-4], le rebours distribution/transport et le rebours distribution/distribution [TRL6-8], la compression et le biogaz porté (transport par la route) avec injection mutualisée [TRL7-8] ;
- l'adaptation de technologies au traitement de quantités variables de biogaz et à la production variable de biométhane (exemples : épuration sous azote, siloxanes) [TRL4-8] ;
- la production d'hydrogène, par exemple par reformage catalytique ou par des technologies plasma micro-onde [TRL6-8].

Concernant la production d'électricité, un démonstrateur [TRL5-8] permettrait de développer et d'expérimenter une solution d'agrégation⁽³²⁾ de la production issue de la méthanisation sur le marché électrique, en synergie avec

les contraintes des autres énergies disponibles (solaire, éolien) et en intégrant des solutions de stockage. Le fonctionnement du méthaniseur devra être adapté pour optimiser l'agrégation.

Concernant la valorisation du CO_2 issu du biogaz, les besoins concernent :

- le développement de technologies de production de CH_4 par méthanation du CO_2 issu de la méthanisation avec de l' H_2 obtenu par voie biologique [TRL3-5] et catalytique [TRL5-8] ;
- le développement de technologies de valorisation du CO_2 par précipitation pour produire des carbonates ;
- le développement de technologies d'épuration pour produire du CO_2 à usage direct, par exemple de grade alimentaire [TRL7-8].

Le développement et l'industrialisation de ces technologies de valorisation du CO_2 en CH_4 , carbonates, CO_2 pur, etc. devra rechercher, pour être rentable par rapport à l'offre actuelle, des synergies matières et énergie sur le site de méthanisation, voire avec d'autres activités industrielles à proximité.

d/ Les besoins concernant la valorisation du digestat sont :

- le développement de technologies d'extraction de molécules [TRL2-4] ;
- le développement de technologies de transformation et de formulation d'engrais et d'amendements [TRL8].

e/ Les besoins en métrologie :

La métrologie contribue à améliorer les connaissances et fait progresser l'ensemble des acteurs, aussi bien dans le domaine de la conception, de la construction et de l'exploitation d'unités de méthanisation que celui des études, du conseil, du contrôle et de la vérification. On note actuellement un besoin renforcé en capacités de tests (de type bancs d'essais) permettant de vérifier les allégations environnementales de nouvelles écotechnologies, comme le prévoit par exemple le programme ETV⁽³³⁾ (Environmental Technology Verification).

⁽³⁰⁾ La performance est évaluée à partir d'une moyenne sur une durée (semaine, mois, année) et non pas d'une valeur instantanée (heure, minute, seconde).

⁽³¹⁾ Cet écart important de maturité technologique s'explique par l'offre existante de micro-méthaniseurs à bas coût et mono-substrat ; la RDI TRL<8 vise à optimiser ces solutions tandis que la RDI TRL>2 vise à en développer de nouvelles.

⁽³²⁾ L'agrégation est une fonction intermédiaire entre le système électrique et les utilisateurs : son rôle est d'optimiser en temps réel l'équilibre du système électrique en favorisant les synergies et la flexibilité entre les acteurs de la production (centralisée, intermittente), du stockage, de la distribution et de la consommation.

⁽³³⁾ Le programme ETV s'adresse aux entreprises qui vendent des écotechnologies innovantes. Un organisme de vérification vérifie les allégations de performance, en faisant au besoin intervenir des structures de tests.

Les développements concernent, entre autres :

- des outils de mesures, d'analyse, de diagnostic ainsi que de nouveaux protocoles permettant de caractériser des gisements, leur variabilité, l'évolution de la méthanisation, la production de biogaz et de digestat, la présence de pathogènes... au-delà des paramètres classiquement mesurés actuellement ; ces outils doivent être portables et les analyses rapides ;
- des outils de mesures de fuites de méthane, notamment aux jonctions, à destination des exploitants ; elles devront être faciles à mettre en œuvre sur le terrain ;

- une meilleure fiabilité de la métrologie sur les moteurs biogaz, en particulier du comptage de gaz (débit, rendement) ;
- des capteurs fiables, rapides, connectés et in situ pour l'analyse des gaz, notamment épurés (nanochromatographe, mesure laser, infrarouge) ;
- la réalisation d'un benchmark des technologies de mesures et test en conditions réelles, puis la rédaction d'un guide et de préconisations ;
- la réalisation de tests de fatigue des matériels (pompage, agitation, motorisation).

➔ 5.3/ LES BESOINS D'OUTILS ET MÉTHODES POUR LES ACTEURS DE LA FILIÈRE

Une recherche dite "organisationnelle" est également nécessaire pour développer des outils et des méthodes. Cela peut se traduire par l'élaboration de données de référence, la réalisation d'enquêtes socio-économiques, des expérimentations, la rédaction de guides de bonnes pratiques, le développement d'outils numériques, etc. Objectif : aider à la concertation, à la décision, à la planification, à la conception, la construction et l'exploitation d'unités de méthanisation et au suivi du développement de la filière.

Les besoins de recherche, listés par grands domaines thématiques, concernent :

a/ Planification et ingénierie de projet de méthanisation

- la création d'outils d'aide à la décision pour l'intégration de la méthanisation dans un mix énergétique territorial, la planification d'un parc de méthaniseurs adapté aux spécificités du territoire (gisements et marchés) ;
- l'amélioration des connaissances détaillées des gisements et des besoins de ressources (énergie, engrais...), et l'adéquation de la méthanisation à traiter ces gisements et à produire ces énergies et ces matières ;
- le développement de plans d'approvisionnement durable à une échelle territoriale en adéquation à un parc de méthaniseurs, lui-même dimensionné pour répondre aux capacités des marchés énergétiques et matières ;
- le développement d'outils d'information sur les débouchés biogaz ou autres (carburant, hydrogène, CO₂, etc.) pour évaluer les besoins d'épuration selon des spécifications publiques ou des prescriptions d'utilisateurs privés ;
- le développement d'outils de conception de projets "sur mesure" (dont les risques et gains potentiels sont importants) et génériques (risques et gains potentiels plus limités).

b/ Analyse des risques économiques et nouveaux modèles d'affaires

- la caractérisation du risque financier par type d'installation, dans le but d'améliorer l'expertise financière des projets, la visibilité des acteurs du financement de la filière ainsi que la maîtrise des paramètres clés de la rentabilité pour les porteurs de projet ;

- l'implication et le rôle des assurances par rapport aux risques ;
- une réflexion sur le devenir des sites ayant bénéficié des premiers tarifs d'achat d'électricité ;
- le développement de nouveaux modèles d'affaires, selon une répartition différente de la valeur, voire la création de nouveaux services rendus, ou encore le chiffrage des services rendus en plus de la valorisation du biogaz et du digestat, comme le traitement des déchets ou l'impact sur l'économie sociale et solidaire.

c/ Freins et leviers sociologiques

- une compréhension des freins, des leviers, des accompagnements et apprentissages nécessaires pour favoriser la transition écologique et énergétique et les changements de comportements des acteurs ;
- l'analyse de démarches citoyennes participatives à des projets incluant la méthanisation (conception, financement...) ;
- les perspectives et modalités d'évolution des pratiques agricoles vers la production d'énergie ;
- la mesure des impacts sociaux de la méthanisation selon une approche basée sur le cycle de vie et multicritère.

d/ Nouveaux outils numériques

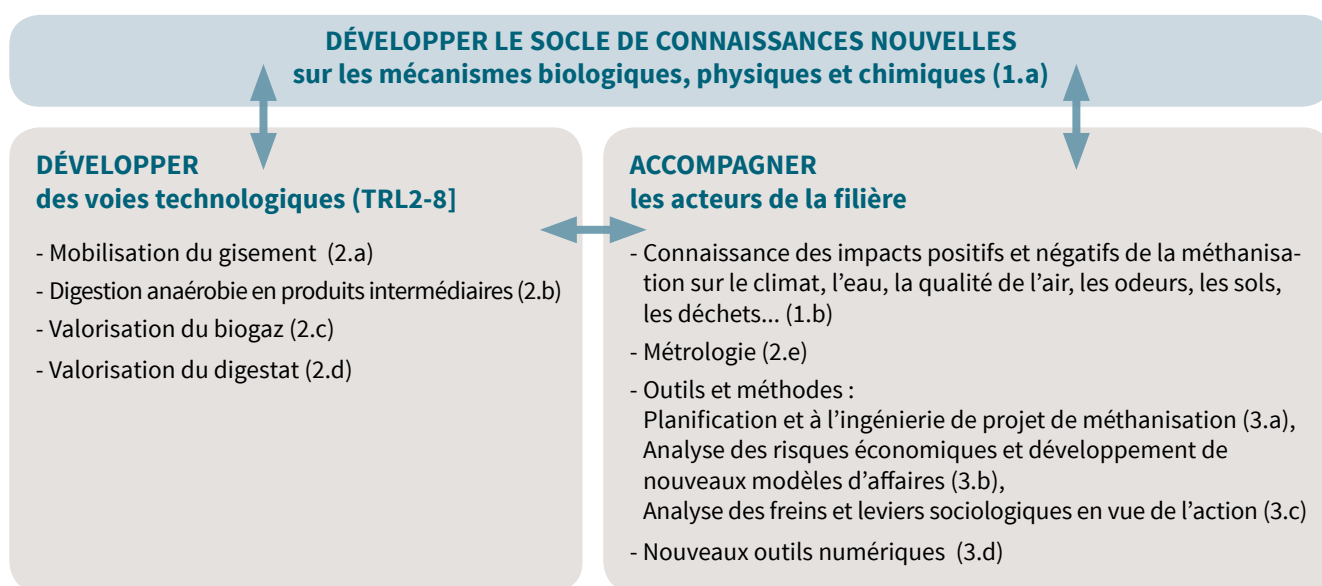
- l'aide au pilotage opérationnel en temps réel, à distance, d'installations de méthanisation, notamment avec des indicateurs simples à suivre. Il s'agit d'aller au-delà des outils existants de modélisation, en intégrant notamment le couplage entre les phénomènes biologiques et chimiques. Ces outils peuvent également intégrer des algorithmes qui prévoient le fonctionnement de l'installation selon la qualité des intrants dans le but d'aider l'exploitant à optimiser la recette et les conditions de fonctionnement pour une production souhaitée de biogaz et/ou de digestat à un coût jugé acceptable ;

- la planification de schémas territoriaux énergétiques intégrant des énergies renouvelables dont la méthanisation, et des synergies possibles entre réseaux et vecteurs énergétiques ;
- le pilotage opérationnel des réseaux énergétiques, en temps réel, notamment pour des contextes territoriaux spécifiques tels que des zones fortement excédentaires ou déficitaires, non interconnectées ;
- la prédiction du comportement agronomique de différents types de digestats selon les contextes pédoclimatiques où ils sont épandus, y compris sur de longues durées ;
- la prédiction de l'évolution de la matière organique lors de la digestion, à l'instar des tables de nutrition animale utilisées en agriculture.

➔ 5.4/ POUR ALLER PLUS LOIN

En synthèse, nous avons positionné les besoins de recherche identifiés précédemment selon trois finalités qui interagissent entre elles, comme le montre la figure 8.

FIGURE-8 **BESOINS DE RDI SUR LA MÉTHANISATION SELON LEUR FINALITÉ**



Pour aller plus loin, le tableau 5 réunit des exemples de projets de recherche sur les mécanismes biologiques, physiques et chimiques, et leurs interactions. Ces exemples ne sont pas exhaustifs. Ils visent à illustrer les besoins de recherche identifiés par quelques travaux emblématiques à l'échelle territoriale, nationale ou internationale. La liste complète des travaux est présentée en Annexe 1. Cette liste a vocation à être actualisée.

Concernant les voies technologiques à développer, la figure 9 positionne les besoins de RDI identifiés, selon l'échelle TRL, avec des exemples de projets en cours et réalisés. Enfin, le tableau 6 présente des exemples de projets de RDI concernant l'accompagnement des acteurs de la filière méthanisation.



TABLEAU 5

EXEMPLES DE PROJETS DE RECHERCHE SUR LES MÉCANISMES BIOLOGIQUES, PHYSIQUES ET CHIMIQUES DE LA MÉTHANISATION, ET LEURS INTERACTIONS

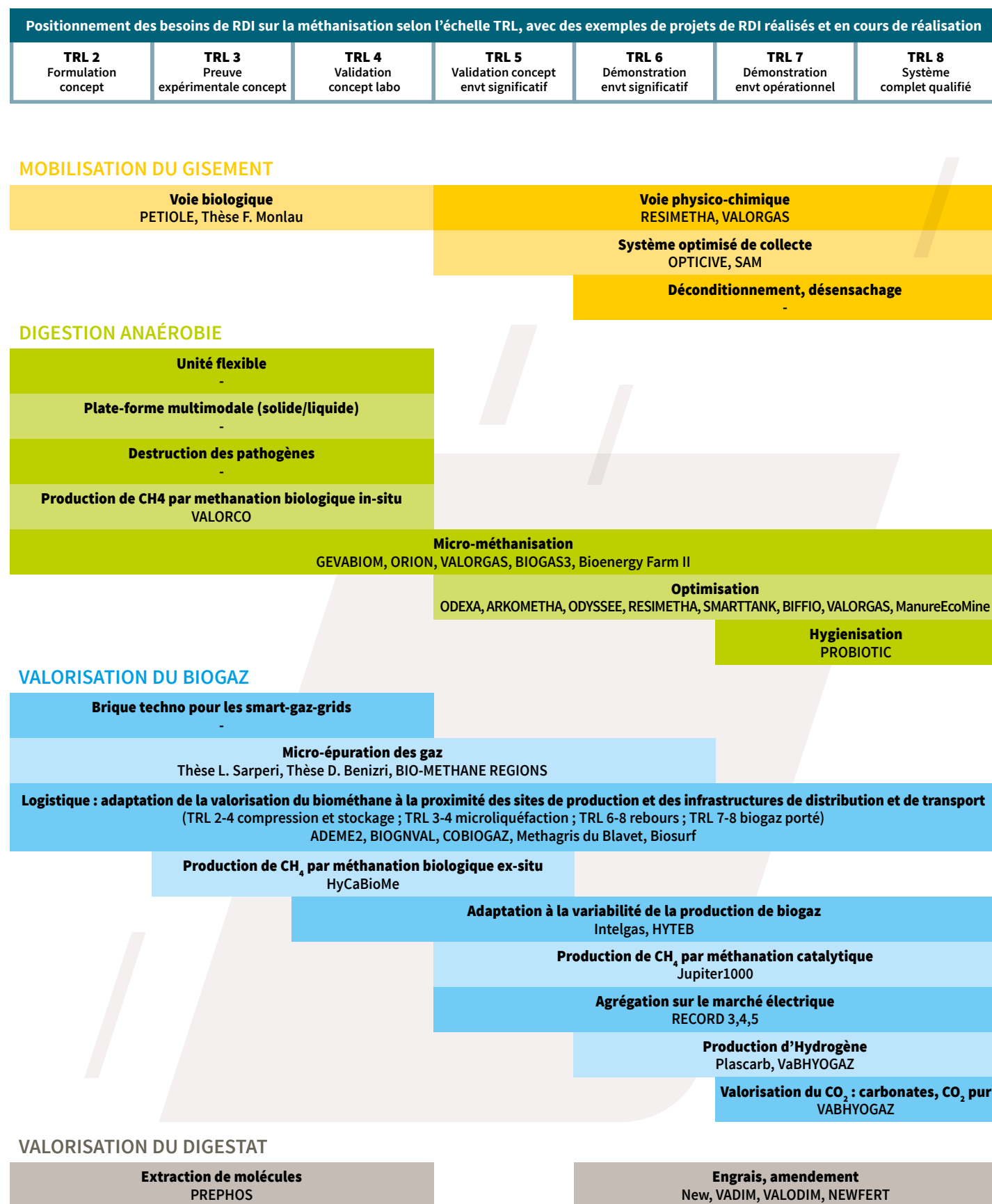
BESOIN DE RECHERCHE IDENTIFIÉ	EXEMPLE DE PROJET DE RECHERCHE
Les effets antagonistes et/ou synergiques des populations microbiennes selon les conditions physico-chimiques du milieu	Thèse M. Moletta, VALORGAS
La connaissance de l'activité biologique tout au long du processus de méthanisation jusqu'à l'usage des digestats et l'impact sur la biodiversité des sols	-
Les processus de modification du carbone, l'évolution de sa stabilité, les transformations tout au long de son cycle de vie, y compris plusieurs années après être retourné au sol	VADIMETHAN
La connaissance des impacts des micropolluants émergents et des micro-organismes pathogènes sur la digestion, pour mieux comprendre leurs interactions avec la flore microbienne et les conditions favorables à leur maîtrise	CARMEN, PECMICMOG
L'orientation biologique de la digestion sur des compositions préférentielles de biogaz (CH ₄ , H ₂ , CO ₂ ...), par exemple avec l'utilisation d'additifs	VALORGAS
La connaissance des variations saisonnières d'un gisement, et les conséquences associées sur la digestion et la production de biogaz et de digestat	-
La sélection de souches microbiennes adaptées à la méthanation biologique, pour favoriser la production de CH ₄ de synthèse à partir d'H ₂ injecté dans le digesteur tout en maintenant la production de biogaz par digestion anaérobie	-

TABLEAU 6

EXEMPLES DE PROJETS DE RDI CONCERNANT L'ACCOMPAGNEMENT DES ACTEURS DE LA FILIÈRE MÉTHANISATION

BESOIN DE RECHERCHE IDENTIFIÉ	EXEMPLE DE PROJET RDI
Connaissance des impacts positifs et négatifs de la méthanisation sur le climat, l'eau, la qualité de l'air, les odeurs, les sols, les déchets...	ADEME1, EMAMET, METERRI, MéthaLAE, PROBIOGAS, Remi Prophyte, VALORGAS
Métrologie	AD-WISE, COMET, RECORD1,2, Trackyleaks
Outils et méthodes : planification et ingénierie de projet de méthanisation	Bioenergy Farm II, Determeen, ELDA, FABBIOGAS, FERTIPLUS, INEMAD, MethaLAE, VALORMAP
Outils et méthodes : analyse des risques économiques et développement de nouveaux modèles d'affaires	BIO-METHANE REGIONS, GREENGASGRIDS
Outils et méthodes : analyse des freins et leviers sociologiques	METERRI, MéthaLAE
Outils et méthodes : nouveaux outils numériques	-

FIGURE-9 EXEMPLES DE PROJETS EN COURS OU RÉALISÉS SELON LES BESOINS DE RDI DANS LES DIFFÉRENTES VOIES TECHNOLOGIQUES (ÉCHELLE TRL)



BIBLIOGRAPHIE

- [1] ATEE Club Biogaz, 2014, Typologie des sites de méthanisation
- [2] ADEME, 2011, Feuille de route biocarburants avancés, Ref. 6921
- [3] Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, commissariat général au développement durable, Chiffres & statistiques, Tableau de bord : biogaz pour la production électrique, 4^e trimestre 2015, n°735, Février 2016
- [4] IEA Bioenergy, 2015, Task 37 Biogas Country Report Summaries, France 2015
- [5] ADEME, Données issues du recensement accessible sur la base de données SINOE@ le 19 avril 2016 <http://www.sinoe.org/thematiques/consult/ss-theme/29>
- [6] ADEME, 2015, Benchmark des stratégies européennes des filières de production et de valorisation de biogaz et perspectives pour la filière française de méthanisation, Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par AILE et EREP et Triple E&M
- [7] ADEME, 2011, Analyse de cycle de vie du biogaz issu de culture énergétique - Valorisation en carburant véhicule et en chaudière, après injection dans le réseau de gaz naturel, Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par Bio Intelligence Service en partenariat avec l'EREP
- [8] GrDF, 2015, Évaluation des impacts sur les gaz à effet de serre de l'injection du biométhane dans les réseaux de gaz naturel, Étude réalisée pour le compte de GrDF par Quantis et Enea Consulting
- [9] ADEME, 2015, État des connaissances des impacts sur la qualité de l'air et des émissions de gaz à effet de serre des installations de valorisation ou de production de méthane, Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par I Care Environnement, EnvirOconsult et Solagro
- [10] ADEME, 2015, Enquête Environnement vague 2, Sondage réalisé par Opinionway pour le compte de l'ADEME
- [11] Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, Plan d'action national en faveur des énergies renouvelables - Période 2009-2020
- [12] ATEE Club Biogaz, 2014, L'emploi dans la filière biogaz française de 2005 à 2020
- [13] ADEME, 2016, Étude d'opportunité (en cours)
- [14] Feuille de route de la Commission Méthanisation du pôle de compétitivité IAR, réalisée en partenariat avec Biogaz Vallée, l'AAMF et le Club Biogaz de l'ATEE
- [15] GrDF, 2013, Biométhane de microalgues, Évaluation du potentiel de production en France aux horizons 2020 et 2050, Rapport final
- [16] ADEME, 2014, Valorisation chimique du CO₂ : état des lieux. Quantification des bénéfices énergétiques et environnementaux et évaluation économique de trois voies chimiques, Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par ENEA consulting, EReIE et l'université de Strasbourg
- [17] RECORD, Réseau coopératif de recherche sur les déchets et l'environnement, 2014, Les filières de valorisation du CO₂ - État de l'art et avis d'experts, Référence 12-0237/1A

Liste des travaux de recherche, développement et innovation cités dans la feuille de route (thèses, projets, études, expérimentations...)

ADEME1, 2015, État des connaissances des impacts sur la qualité de l'air et des émissions de gaz à effet de serre des installations de valorisation ou de production de méthane, Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par I Care Environnement, Envir0consult et Solagro

ADEME2, 2016, Étude technique, économique et environnementale sur l'injection portée individuelle et mutualisée de biométhane dans le réseau de gaz, Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par S3d

AD-WISE, Projet européen (2012-2014, FP7) sur le contrôle et l'optimisation du procédé de fermentation anaérobie : AINIA (Espagne), San Ramon (Espagne), MAC (Irlande), Fraunhofer IPMS (Allemagne), Interspectrum (Estonie)

ALLGAS, Projet européen (lauréat FP7, ESP), démonstrateur en cours

Alpha plant, Projet d'Etogas à Stuttgart (Allemagne) 30kW (2009)

ARKOMETHA, dans le cadre de l'appel à projets ADEME DOSTE (Déchets organiques retour au sols traitements et énergie) de 2013, projet sur la méthanisation continue multi-étapes en voie sèche par le procédé innovant ARKOMETHA, projet co-financé par l'ADEME, METHA ENR, INSA Lyon

Beniszri, D., Thèse soutenue en 2016 : "Épuration du biogaz à la ferme : EPUROGAS, une solution énergétique et économique d'avenir"

BIFFIO, Projet européen (2013-2016, FP7) sur la méthanisation à partir de fumier et déchets de l'aquaculture : Landberatung Niedersachsen GmbH, Norsk Bioenergiforening, Scottish Salmon Producers' Organisation Ltd, British Trout Association LTD IPS, Association européenne pour la biomasse, OÜ Kalaveski, Awite Bioenergie GMBH, Aqua & Waste International GmbH, University of Liverpool, Aqua Consult Ingenieur GMBH

Bioenergy Farm II, Projet européen (fin en 2020), "Manure, the sustainable fuel for the farm" : Cornelissen Consulting Services B.V. (Pays-Bas), Trame (France), Chambre d'agriculture de Bretagne (France), DCA Multimedia B.V. DCA (Pays-Bas), University of Turin - DEIAFA (Italie), Coldretti Piemonte (Italie), Foundation Science and Education for Agri-Food Sector FNEA (Pologne), National Energy Conservation Agency (Pologne), IBBK Fachgruppe Biogas GmbH (Allemagne), KTBL (Allemagne), Farmer society for projects Innovatiesteunpunt (Belgique), Agrotech A/S Agrot (Danemark), Organic Denmark, Organlan (Danemark)

BIOGAS3, Projet européen IEE (Intelligent Europe Energy) sur l'énergie soutenable de biogaz à petite échelle à partir de déchets agroalimentaires pour l'autosuffisance énergétique : ACTIA (France), IFIP (France), FIAB (Espagne), Ainia (Espagne coordinateur), IRBEA (Irlande), UNITO (Italie), Tecnoalimenti (Italie), Renac (Berlin), JTI (Suède), FundEko (Pologne)

BIOGNVAL, Projet Investissement d'Avenir 2013 sur l'expérimentation préindustrielle de production et la distribution de biométhane carburant liquéfié issu de biogaz de stations d'épuration, projet co-financé par l'ADEME, Suez Environnement, Cryopur, GNVERT, SIAPP, IVECO

BIO-METHANE REGIONS, Projet européen IEE (2011-2014), "Promotion of Bio-Methane and its Market Development through Local and Regional Partnerships" : Severn Wye Energy Agency (Royaume-Uni coordinateur), WFG Schwäbisch Hall (Allemagne), Technical University of Vienna (Autriche), Rhonalpenergie-Environment (France), Landesenergieverein Steiermark (Autriche), Centre wallon de recherches agronomiques (Belgique), University of Glamorgan / Prifysgol Morgannwg (Royaume-Uni), Regione Abruzzo (Italie), Agricultural Institute of Slovenia (Slovénie), Eneigikontor Sydost (Suède), Knowledge Centre for Agriculture (VfL) (Danemark), Energetski Institut Hrvoje Požar (Croatie), Hungarian Institute of Agricultural Engineering (GMGI) (Hongrie), Fedarene (Belgique), AILE (France)

Biosurf, Projet européen H2020 (2015 – 2017) sur le biométhane comme carburant : Instituto di Studi per L'Integrazione dei Sistemi Srl, European Biogas Association, Arge Kompost Und Biogas Osterreich Verein AGCS – Gas Clearing and Settlement Ag, Cib-Consorzio Italiano Biogas E Gassificazione, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe E.V., Magyar Biogaz Egyesulet (HBA), DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum Gemeinnuetzige GmbH, Association Technique Énergie Environnement, Club Biogaz, Renewable Energy Association Lbg, Fachverband Biogas Ev

Carmen, Projet sur la caractérisation des hydrocarbures aromatiques polycycliques et des métaux dans les herbes fauchées en bord de route pour la méthanisation, Projet co-financé par l'ADEME CIDE 2014, Ineris, Cerema, AILE

COBIOGAZ, Société de projet innovante pour développer la méthanisation à la ferme en Bretagne. Objectif : concevoir puis mettre en œuvre une solution performante techniquement et économiquement pour l'injection du biométhane agricole dans le réseau de gaz, 2016

COMET, Projet DOSTE 2015 (2016-2018) sur le développement de capteurs optiques pour le suivi, la gestion et le contrôle du procédé de méthanisation, Projet co-financé par l'ADEME, Irstea, S3D

Determeen, Projet sur la prise en compte des contraintes spatiales et environnementales pour une approche systémique de l'insertion d'unités de méthanisation collectives au sein d'un territoire, Projet co-financé par l'ADEME CIDE 2013, Irstea, BRGM, Akajoule, Rennes Métropole

El upgraded biogas, Projet de Haldor Topsoe au Danemark, 40kW (2013)

ELBA, Projet (2015-2017) sur l'évaluation de la biomasse agricole, projet co-financé par l'ADEME gré à gré

Electrochaea, Projet d'Electrochaea et de l'université d'Aarhus, à Foulum (Danemark), 150kW (2013)

Emamet, Projet sur les émissions atmosphériques biologiques et chimiques de la filière de méthanisation ; Projet co-financé par l'ADEME CIDE 2014, Armines-LGEL, Olentica, l'université de Nîmes : CHROME (EA7352)

Eucolino, Projet de Microbenenergy à Schwandorf (Allemagne), 120kW

FABBIOGAS, Projet européen (2015) sur la production de biométhane à partir de déchets des industries agroalimentaires : University of Natural Resources and Life Sciences (Autriche), European Biogas Association (Belgique), ATRES Group, Association nationale des industries alimentaires (France), Kompetenzzentrum für Ernährung (KErn), Federalimentare, Potravinářská (République tchèque), ecoplus (Autriche), Politechnika Łódzka (Pologne), www.fabbiogas.eu

FERTIPLUS, Projet européen (FP7), « Compost, digestats et biochar », Alterra Wageningen UR avec Bauhaus-Universität Weimar, VLAGEW (ILVO), University of Leeds, Organic Waste Systems NV, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura, Idconsortium SL, Stichting Energieonderzoek Centrum Nederland, Graphite Resources (Knightsbridge) Ltd, Fundacion Para las Tecnologias Auxiliares de la Agricultura, Proiniso S.A., IRIS-Isontina Reti Integrate e Servizi, Gestora de Residuos del Sur S.L.

GEVABIOM, Projet DOSTE 2013 sur la gestion et la valorisation des biodéchets et des graisses par micro-méthanisation, Projet co-financé par l'ADEME, BioECO SARL

GREENGASGRIDS, Projet européen IEE (fini en 2014), "Boosting the European Market for Biogas Production, Upgrade and Feed-In into the Natural Gas Grid", DENA (Allemagne) ADEME (France), EBA (Belgique), Fraunhofer Umsicht, EA (Autriche), EIHP (Croatie), Consorzio Italiano Biogas (Italie), NVGA Europe, NL Agency (Pays-Bas), REA (Royaume-Uni), SIEA (Slovaquie), Kape (Pologne), Szeged (Hongrie)

HyCaBioMe, Projet sur la conversion de l'hydrogène et du dioxyde de carbone par méthanation biologique, Projet co-financé par l'ADEME Énergie Durable 2015, Solagro, INSA Toulouse (LISBP), Hespul, LEAF

HYTEB, Projet sur l'optimisation d'une installation de purification de biogaz par lavage à l'eau, projet co-financé par l'ADEME APRED2016, Chaumeca

INEMAD, Projet européen (2013 mars 2016, FP7) sur la méthanisation et la fertilisation (Improved Nutrient and Energy management through Anaerobic Digestion), université de Gand « UGent », AUP, DLO, FOI, avec un consortium composé de laboratoires publics de recherche (ILVO-EV, LDAR), d'une collectivité territoriale (SMC), d'un coordinateur sectoriel et local (BGBIOM), et de plusieurs PME (Soltub, DLV, BTG, IZES et Innova)

Intelgas, Projet sur l'épuration innovante, intelligente et intégrale du biogaz contenant de l'H₂S, des composés organiques volatils et des siloxanes, Projet co-financé par l'ADEME APRED2016, VerdeMobil Biogaz, Armines, Hygenat

Jupiter1000, Projet Investissement d'Avenir sur la construction et l'exploitation d'un démonstrateur power-to-gas avec méthanation, captage et valorisation du CO₂ à Fos-sur-Mer, Projet co-financé par l'ADEME, GRTgaz, Atmosat, CEA, CNR, Leroux & Lotz Technologies, Port de Marseille Fos, McPhy Energy, TIGF

ManureEcoMine, Projet européen sur la méthanisation à base de fumier pour la production d'énergie et le recyclage des nutriments : University of Gent (Belgique), University of Girona, Laboratory of Chemical and Environmental Engineering, Girona (Espagne), University of Santiago de Compostela, Group of Environmental Engineering and Bioprocess, Santiago de Compostela (Espagne), University of Natural Resources and Life Sciences Vienna, Vienna (Autriche), Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich (Allemagne), Colsen, Adviesburo voor Milieutechniek BV, Hulst (Pays-Bas), Maatschap J.W.E.M. en G.W.M. van Alphen-Mulders, Axel (Pays-Bas), Ahidra Agua Y Energía, Barcelona (Espagne), Baucells Alibes, Barcellona (Espagne), LVA GmbH, Vienna (Autriche), Peltracom NV, Gent (Belgique)

METERRI, Projet CASDAR (développement agricole et rural) 2014-2017. L'autonomie énergétique de zones à forte densité d'élevage par des projets de méthanisation agricole durables, en harmonie dans leur territoire, IFIP

Methagri du Blavet, Association créée en 2014 pour la recherche de solutions innovantes de valorisation commune du biogaz produit par des unités de production de plusieurs exploitations

MéthalaE, Projet CASDAR 2015-2017 sur la méthanisation comme levier pour l'agroécologie, Solagro

Moletta, M., Thèse soutenue en 2005 sur la caractérisation de la diversité microbienne aéroportée des biogaz, Thèse co-financée par l'ADEME

Monlau, F., Thèse soutenue en 2012, “Application of pre-treatments to enhance biohydrogen and/or biomethane from lignocellulosic residues : linking performances to compositional and structural features”, Thèse co-financée par l’ADEME

NEW, Projet terminé en 2014 sur le traitement conservatif des digestats issus d’un procédé de méthanisation, Projet co-financé par l’ADEME gré à gré

NEWFERT, Projet européen H2020 (2015) sur le recyclage des nutriments NPK des déchets organiques pour la fertilisation, Projet financé dans le cadre du PPP BBI (partenariat public-privé H2020 et consortium de bio-industries) : Irstea (France), Kompetenz Zentrum Wasser Berlin (Allemagne), ProMan (Autriche), Fertiberia (Espagne), Drage & Mate International (Espagne), Universidad de Leon (Espagne)

ODEXA, Projet DOSTE 2013 sur l’optimisation de la digestion par extraction continue ou discontinue de l’ammoniac, Projet co-financé par l’ADEME, INSA Toulouse

ODYSSEE, Projet DOSTE 2015 sur l’optimisation des digesteurs solides statiques à percolation, projet co-financé par l’ADEME, INSA Toulouse - IMFT (Institut Mécanique des Fluides de Toulouse) - SCEA Dubousquet

OPTICIVE, Projet DOSTE 2015 sur l’optimisation de la mobilisation de CIVE pour la méthanisation dans les systèmes d’exploitation, Projet ADEME co-financé par l’ADEME, GIE GAO (Arvalis, Onidol, Cetiom) - Euralis

ORION, Projet européen (2014, en cours, FP7), “Organic waste management by a small scale innovative automated system of anaerobic digestion” : DOM, Irlande, ADS (Espagne), ANIA (France), Cand-Landi (Suisse), CSEM (Suisse), DIGESTO Sarl (Suisse), ETA-Florence Renewable Energies (Italie), EUBIA (Belgique), Fastnet (Irlande), HES-So Heig-VD IGT-SIB (Suisse), IRTA (Espagne), Maisonneuve (France, chaudronnerie industrielle), MIS (Irlande), Seaspray (Irlande), Setbir (Turquie), Uniman (Royaume-Uni), UOG (Royaume-Uni), Validex (France, convoyeurs horizontaux et verticaux de machines à laver et pour la restauration), ZAD (Turquie), IFGRA (Suisse)

P2G-BioCat, Projet d’Electrochaeta à Avedore (Danemark), 1MW (2014)

PECMICMOG, Projet sur les interactions entre perturbateurs endocriniens, micro-organismes et matières organiques, moteurs de l’écodynamique et de l’impact des polluants au sein d’écosystèmes épuratoires, Projet co-financé par l’ADEME 2013, Irstea

PETIOLE, Projet DOSTE 2013 sur le prétraitement biologique de substrats lignocellulosiques, Projet co-financé par l’ADEME, Irstea, Lubem (Laboratoire universitaire de biodiversité et d’écologie microbienne)

Plascarb, Projet européen (2013-2016, FP7) sur la valorisation du méthane en hydrogène renouvelable et carbone de qualité graphite (ressource : déchets alimentaires) : CPI (Royaume-Uni), Gasplas (Norvège), CNRS (France), Fraunhofer IBP, Uvasol (Royaume-Uni), GAP Waste Management (Royaume-Uni), Geonardo Ltd (Hongrie), Abalonyx (Norvège)

PREPHOS, Projet DOSTE 2013 sur la valorisation agromique de struvite dans le cadre d’un projet démonstrateur, Projet co-financé par l’ADEME, NASKEO, RITMI, TIMAB

PROBIOGAS, Projet européen (2008-2011), “Promotion of Biogas for Electricity and Heat Production in EU Countries - Economic and Environmental Benefits of Biogas from Centralised Co-digestion” : University of Southern Denmark (Danemark), Centre wallon de recherches agromiques (Belgique), Danish Agricultural Advisory Service, National Centre (Danemark), Danish Institute of Agricultural Sciences (Danemark), Danish Research Institute of Food Economics (Danemark), Risoe National Laboratory (Danemark), Association SOLAGRO (France), Centre for Renewable Energy Sources (Grèce), Methanogen Ltd (Irlande), NL Agency (Pays-Bas), Universitat de Barcelona (Espagne)

PROBIOTIC, Projet sur la dynamique des pathogènes lors du stockage et de l’épandage des produits résiduels organiques : influence des déterminants biotiques et de la biodisponibilité de la matière organique, Projet co-financé par l’ADEME CIDE 2013, INRA, Irstea

RECORD1, Étude pour le compte de RECORD (en cours) sur l’état des lieux et le comparatif expérimental des méthodes de détermination du silicium total dans un biogaz et un biométhane (H. Métivier, V. Chatain)

RECORD2, Étude pour le compte de RECORD (en cours) sur la caractérisation et l’interprétation des spécificités d’un biogaz ou d’un biométhane : apport de la chromatographie bidimensionnelle en phase gazeuse. Étude expérimentale (F. Hilaire et al.)

RECORD3, Étude réalisée pour le compte de RECORD (2009) sur les techniques de production d’électricité à partir de biogaz et de gaz de synthèse (C. Couturier)

RECORD4, Étude réalisée pour le compte de RECORD (2011) sur l’état de l’art. concernant le transport longue distance et le stockage d’énergie calorifique, en couplage avec des procédés de valorisation énergétique des déchets

RECORD5, Étude réalisée pour le compte de RECORD (2012) sur l’état des connaissances concernant les procédés de récupération et la valorisation des énergies faible température

Remi Prophyte, Projet DOSTE 2013 sur les digestats de méthanisation : limitation de réduction de fuites vers les milieux en modifiant leur présentation physique et les techniques d'épandage, Projet co-financé par l'ADEME, Irstea

RESIMETHA, Projet DOSTE 2015 sur la méthanisation à la ferme de résidus de culture par voie sèche discontinue, Projet ADEME, GIE GAO (ARVALIS, ONIDOL, CETIOM) - Irstea - GAEC Bois Joly - CRITT GPTE

SALINALGUE, Projet FUI (2010-2014)

SAM, Projet DOSTE 2015 sur le stockage avant méthanisation, l'analyse de l'évolution des déchets organiques en fonction des pratiques de stockage, Projet co-financé par l'ADEME, INSA, Apesa

Sarperi, L., Thèse soutenue en 2014 sur le développement d'une filière de production de bioGNV à partir de biogaz agricole à l'échelle individuelle, Thèse co-financée par l'ADEME

SMART TANK, Projet européen (2007-2013) sur la construction de "tank & systems" de méthanisation thermophile : Permastore tanks & silos, Harvestore, Farmatic, Enia, Biogas Fuel Cell, UK Health and Environment Research Institute, Fraunhofer IMPS

SYMBIOSE, Projet ANR (2008-2010)

Trackyleaks, Projet sur le développement d'une méthode pour identifier et quantifier les émissions fugitives de biogaz appliqué aux installations de méthanisation, Projet co-financé par l'ADEME CIDE 2013, Irstea

VABHYOGAZ, Projet sur la valorisation de biogaz pour produire de l'hydrogène renouvelable : conception et expérimentation d'un démonstrateur de 5 Nm³/h sur le site d'une installation de stockage de déchets non dangereux : Albhyon, Trifyl, Verde Mobil, Solagro, Projet co-financé par l'ADEME TITEC 2012

VADIM, Projet DOSTE 2013 sur la valorisation au champ de l'azote des digestats, Projet co-financé par l'ADEME, Chambre d'agriculture de Bretagne, Loire-Atlantique et Centre, LDAR (Laboratoire départemental d'analyses et de recherche)

VADIMETHAN, Projet (2013-2015) sur des essais de valorisation de digestats de méthanisation : Arvalis, Chambre d'agriculture des Pays de la Loire, AILE, Terrena, CAVAC, Projet co-financé par la Région des Pays de la Loire et l'ADEME

VALODIM, Projet PSPC des Investissements d'Avenir (fini en 2014) sur la production de fertilisants à prix compétitif et respectueux de l'environnement, Arterris Innovation avec un consortium composé d'une PME (Union des Distilleries de la Méditerranée), de quatre ETI (entreprise de taille intermédiaire) (Arterris Innovation, Cap Seine, Fertigaz, Ovalie Innovation), d'une GE (grande entreprise) (Vivescia) et de trois laboratoires (INSA de Toulouse, université technologique de Compiègne et Irstea)

VALORCO, Projet Investissement d'Avenir sur la valorisation et la réduction des émissions de CO₂ dans l'industrie : Arcelor Mittal, CNRS, LRGP, Lyon1, IFPEN, Air Liquide, Linde, Bio Base Europe Pilot Plant, ICCF, ICSM, IDEEL, Innovation Concepts, Projet co-financé par l'ADEME

VALORGAS, Projet européen (2010-2013, FP7) sur la valorisation des déchets alimentaires : University of Southampton (Royaume-Uni), University of Verona (Italie), University of Venezia (Italie), MTT agrifood research (Finlande), Biogas Development and training centre (Inde), Veolia Environmental Services (Royaume-Uni), Andigestion (Royaume-Uni), Aerothermal (Royaume-Uni), Biogen Greenfinch, Metener Ory (Finlande), University of Jyväskylä (Finlande)

VALORMAP, Projet DOSTE 2013 sur la création d'une base de données spatialisée relative à la valorisation énergétique par méthanisation des résidus et coproduits organiques des agro-industries, Projet co-financé par l'ADEME, RMT, ACTIA, Ecoval



L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale.

L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

www.ademe.fr

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.



Méthanisation

FEUILLE DE ROUTE STRATÉGIQUE

La gestion locale ou globale des approvisionnements, ainsi que les choix de valorisation simple ou à l'inverse multiple du digestat et du biogaz, sont des paramètres qui influencent significativement le développement de la méthanisation. 4 visions contrastées ont été imaginées.

Les besoins de RDI portent sur le développement à l'échelle industrielle d'équipements, de procédés et de systèmes de production éco-efficients de préparation de la matière, de digestion anaérobie, de valorisation énergétique et de transformation des digestats, mais aussi sur l'acquisition de connaissances sur les mécanismes et les impacts, et le développement d'outils et méthodes pour les acteurs de la filière.

Cette feuille de route stratégique présente des visions 2050 du développement possible de la filière méthanisation à l'horizon 2050 et en déduit des besoins prioritaires de recherche, développement et innovation (RDI). Elle a vocation à faire office de référence pour tous les acteurs de la RDI en matière de méthanisation.

ADEME

Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie



MINISTÈRE
DE L'ENVIRONNEMENT,
DE L'ÉNERGIE
ET DE LA MER

MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION NATIONALE,
DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE

www.ademe.fr



ISBN : 979-1-02970-858-9



9 791029 708589