



OBSERVATOIRE SCIENTIFIQUE

**DU BIOGAZ ET
DE LA MÉTHANISATION**

JRI
2026

**FOCUS JOURNÉES RECHERCHE INNOVATION
SYNTHÈSE**

**Farah DOUMIT
07 61 83 69 32
f.doumit@atee.fr**

Les Journées Recherche et Innovation (JRI) Biogaz et Méthanisation constituent l'événement de référence de la filière biogaz française. Organisées tous les deux ans, elles rassemblent chercheurs, ingénieurs, porteurs de projets, décideurs publics et acteurs économiques autour des avancées scientifiques et techniques de la méthanisation. La 11e édition des JRI s'est déroulée à Nancy, du 17 au 19 mars 2026, en partenariat avec l'ENSAIA (École Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires) de l'Université de Lorraine. Cette édition a réuni l'ensemble des acteurs de la filière autour d'un programme scientifique dense.

Le programme comprenait :

- Une conférence introductive intitulée « L'histoire de la méthanisation en France et scénarios prospectifs », présentée par Christian Couturier (Solagro) ;
- Deux tables rondes, l'une consacrée aux digestats et l'autre aux nouvelles voies de couplages du biogaz et biométhane ;
- Cinq sessions thématiques regroupant au total douze sous sessions : quatre sur l'Agronomie et Environnement, quatre sur les Procédés et Valorisation, deux sur la Planification et compétitions d'usages, une session Économie, Société et Politiques publiques et une sur les Modèles Economiques et Financiers.

La présente synthèse a été rédigée par les animateurs de sessions, membres du Comité Scientifique des JRI. Elle restitue, pour chaque sous session, les principaux enseignements des communications présentées.

BERGER SYLVAIN, SOLAGRO - TOULOUSE BOURDIN
SÉBASTIEN, EM NORMANDIE - CAEN
BUFFIÈRE PIERRE, INSA - LYON
CAMACHO PATRICIA, SUEZ - PARIS
CRESSON ROMAIN, INRAE TRANSFERT METYS - NARBONNE
DAMIANO ARMELLE, AILE - RENNES
DEBREF ROMAIN, UNIVERSITÉ DE REIMS CHAMPAGNE-ARDENNE
DERMINE-BRULLOT SABRINA, UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE TROYES
DOUMIT FARAH, CTBM ATEE - PARIS
FONTANILLE PIERRE, BIO-VALO ET UNIVERSITÉ CLERMONT AUVERGNE - CLER MONT-
FERRAND
GIRAULT ROMAIN, INRAE OPAALE - RENNES
GROUIEZ PASCAL, LIED - PARIS
GUILLON EMMANUEL, UNIVERSITÉ REIMS CHAMPAGNE-ARDENNE - INSTITUT
INTERNATIONAL EN BIOECONOMIE ET ENVIRONNEMENT EXEBIO
HAMMAN PHILIPPE, INSTITUT D'URBANISME ET D'AMÉNAGEMENT RÉGIONAL (IUAR) DE LA
FACULTÉ DES SCIENCES SOCIALES À L'UNIVERSITÉ DE STRAS BOURG
HENRY GUILLAUME, ENSAIA - NANCY
LE ROUX YVES, ENSAIA - NANCY
MARSAC SYLVAIN, ARVALIS - TOULOUSE
MONLAU FLORIAN, TOTALENERGIES
PEYRELASSE CHRISTINE, APESA - PAU
POISSON BÉRANGÈRE, GRDF - PARIS
POMMIER SÉBASTIEN, INSA - TOULOUSE
RIBEIRO THIERRY, UTC - COMPIÈGNE
ROUCHES ELSA, AAMF - PARIS
STEYER JEAN-PHILIPPE, INRAE LBE - NARBONNE
THUAL JULIEN, ADEME - ANGERS

**MERCI AU COMITÉ SCIENTIFIQUE ET À NOS PARTENAIRES DE LEUR EXPERTISE ET LEUR
DISPONIBILITÉ POUR L'ORGANISATION DES JRI BIOGAZ MÉTHANISATION 2026**

L’histoire de la méthanisation en France et scénarios prospectifs	5
Table ronde : Les Digestats : fondements scientifiques, retours d’expériences et politiques publiques.....	6
Table ronde : Nouvelles voies : Couplages technologiques et hybridation des filières	6
Session Agronomie et Environnement	8
Agriculture durable, services et agroécologie	8
Micro plastiques et biodégradabilités des matériaux	9
CIVE et durabilité.....	11
Evaluation des impacts et potentiel agronomiques	12
Session Procédés et Valorisation	14
Prétraitements caractéristiques et qualité de la biomasse.....	14
Biométhanation in situ, robustesse et changement d’échelle	15
Digestat Conception valorisation et durabilité.....	16
Microbiologie, inhibitions et conditions opératoires.....	17
Session Planification Compétitions d’usage	19
Modélisation prospective et scénarios territoriaux	19
Gouvernance Territoriale	19
Session Economie Société et Politique	21
Session Modèles économiques et financiers	22
Conclusion	24

L'histoire de la méthanisation en France et scénarios prospectifs

La conférence introductive de Christian Couturier, directeur de Solagro, a proposé une analyse diachronique du développement de la méthanisation, mettant en évidence les dynamiques historiques de la filière ainsi que son rôle dans les trajectoires énergétiques et agricoles à long terme.

L'émergence de la méthanisation s'inscrit dans les problématiques sanitaires et urbaines de la fin du XIXe siècle, en lien avec le traitement des eaux usées. Les premiers développements technologiques, observés en Europe dès la fin du XIXe siècle, concernent principalement les infrastructures d'assainissement. La diffusion vers les systèmes agricoles intervient au cours du XXe siècle, avec un premier essor notable dans les années 1950. Cette phase de développement est suivie d'un ralentissement marqué à partir de la seconde moitié des années 1980, en lien avec l'évolution du contexte énergétique. La filière connaît un regain d'intérêt à partir des années 2000, dans un contexte de transition énergétique et de reconnaissance progressive du biométhane comme vecteur énergétique. L'intégration dans les réseaux gaziers constitue à ce titre un tournant structurant.

Au-delà de cette lecture historique, la conférence met en évidence un changement de paradigme : la méthanisation ne peut plus être appréhendée comme une technologie isolée, mais comme un élément constitutif de systèmes agroénergétiques intégrés. Elle participe à l'articulation entre production agricole, gestion des ressources et production d'énergie.

Les scénarios prospectifs présentés à horizon 2050 reposent sur une transformation des systèmes agricoles, caractérisée par une diversification des fonctions (production alimentaire, énergétique et services écosystémiques), une optimisation des cycles biogéochimiques (notamment azote et phosphore) et une réduction des intrants. Dans ces configurations, la méthanisation s'insère dans des logiques d'économie circulaire territorialisée. Le biogaz est ainsi appelé à jouer un rôle significatif dans les scénarios de transition énergétique, avec des hypothèses de développement conduisant à une part majoritaire, voire totale, de gaz renouvelable à horizon 2050. Cette trajectoire implique toutefois des arbitrages sur l'usage des ressources, structurés autour de différentes fonctions (alimentation, fertilité des sols, biomasse, énergie).

En conclusion, la méthanisation apparaît comme une filière à la fois ancienne et en recomposition, dont le développement futur repose sur son intégration dans des systèmes territoriaux cohérents, à l'interface des enjeux agricoles, énergétiques et environnementaux.

Table ronde : Les Digestats : fondements scientifiques, retours d'expériences et politiques publiques

La table ronde consacrée aux digestats a permis de croiser approches scientifiques, opérationnelles et institutionnelles, afin d'éclairer les conditions de leur valorisation dans les systèmes agricoles et leur rôle dans la transition vers une bioéconomie circulaire.

Un premier élément structurant des échanges réside dans la diversité des digestats. Leurs caractéristiques varient en fonction des intrants, des procédés de méthanisation et des traitements postérieurs, ce qui se traduit par une hétérogénéité de leurs propriétés agronomiques et environnementales. Leur évaluation repose sur des indicateurs relatifs à la valeur fertilisante (teneurs en nutriments, matière organique, pH), à l'innocuité (présence de pathogènes ou de contaminants) et aux impacts environnementaux. Les digestats présentent un potentiel avéré en tant que substituts aux engrais minéraux, notamment en matière de recyclage des nutriments et de contribution à la fertilité des sols. Toutefois, plusieurs incertitudes persistent, en particulier concernant la dynamique de l'azote, le devenir du carbone dans les sols, les émissions atmosphériques et les effets à moyen et long terme sur les agroécosystèmes. Ces éléments soulignent la nécessité de renforcer les dispositifs expérimentaux et les travaux de recherche à long terme.

Les échanges ont également mis en lumière les limites du cadre réglementaire actuel au niveau européen. Les exigences associées à la mise sur le marché des fertilisants issus de digestats sont jugées, dans certains cas, inadaptées aux réalités des procédés et des matières premières, générant des contraintes techniques et économiques pour les agriculteurs méthaniseurs, qui se trouvent souvent démunis face à des logiques réglementaires et commerciales qui leur échappent. Des pistes d'évolution ont été évoquées, notamment l'adaptation des critères du règlement sur les fertilisants et l'introduction d'objectifs relatifs à l'incorporation de nutriments biosourcés. Dans cette perspective, la création de banques de fertilisation a été proposée comme levier collectif permettant de contourner les écueils de la mise sur le marché, en favorisant une gestion mutualisée et de proximité des digestats entre producteurs et utilisateurs.

Enfin, les digestats s'inscrivent dans une perspective plus large de développement d'une bioéconomie circulaire, reposant sur la valorisation locale des ressources organiques, le recyclage des nutriments et l'intégration de nouvelles chaînes de valeur. Dans ce contexte, leur déploiement à grande échelle apparaît conditionné à la fois par l'amélioration des connaissances scientifiques, l'évolution des pratiques agricoles et l'adaptation des cadres réglementaires.

Table ronde : Nouvelles voies : Couplages technologiques et hybridation des filières

La table ronde consacrée aux nouvelles voies de valorisation du biogaz a permis d'explorer les perspectives offertes par le couplage de la méthanisation avec d'autres procédés thermochimiques et biologiques, ainsi que leur inscription dans les stratégies de transition énergétique.

Les échanges ont d'abord mis en évidence le potentiel des procédés thermochimiques — pyrolyse, gazéification et carbonisation hydrothermale — en complément de la méthanisation. Ces technologies permettent de transformer des biomasses ou des digestats en produits intermédiaires tels que le biochar, l'hydrochar ou le syngaz. L'ajout de biochar dans les procédés

de méthanisation apparaît comme une piste prometteuse. Les résultats expérimentaux présentés montrent une amélioration des performances, avec notamment une augmentation des rendements de production de méthane et une meilleure stabilité du procédé. Ces effets s'expliquent par plusieurs mécanismes potentiels : support de croissance pour les micro-organismes, amélioration des transferts d'électrons (notamment via des phénomènes de DIET), adsorption de composés inhibiteurs (ammoniac, sulfure d'hydrogène, acides gras volatils). Toutefois, ces résultats restent à consolider, notamment en ce qui concerne les mécanismes microbiologiques sous-jacents et les effets à long terme, en particulier lors du retour au sol de mélanges digestat-biochar.

Au-delà du biochar, les discussions ont porté sur le développement de chaînes de conversion plus complexes, intégrant la production et la valorisation du syngaz. Issu de procédés de gazéification ou de pyrolyse, ce gaz peut être valorisé par différentes voies : conversion chimique, fermentation biologique ou couplage avec des procédés de méthanisation. Le couplage entre syngaz et méthanisation repose sur l'utilisation de micro-organismes méthanogènes capables de convertir le CO, le CO₂ et l'hydrogène en méthane. Cette approche s'inscrit dans les logiques de Power-to-Gas et de valorisation du CO₂. Néanmoins, ces technologies restent à des niveaux de maturité intermédiaires, avec des verrous techniques liés notamment à la qualité des gaz, aux conditions opératoires et à la stabilité des procédés.

Le projet COMETHA, porté par le SYCTOM et le SIAAP, illustre une approche intégrée combinant plusieurs briques technologiques. Il vise à développer une chaîne complète de valorisation des déchets organiques, associant gazéification, conversion biologique en méthane et récupération des nutriments. Les premiers résultats obtenus à l'échelle pilote montrent la faisabilité technique de ces couplages, avec des performances élevées en matière de récupération du phosphore et de l'azote. Le projet met également en évidence l'intérêt de ces systèmes pour produire une énergie stockable tout en réduisant les résidus et en valorisant les flux de matière. Le projet souligne toutefois les enjeux associés au passage à l'échelle industrielle, notamment en termes d'optimisation des procédés, de maîtrise des coûts et de robustesse opérationnelle.

Finalement, l'intervention de l'ADEME a mis en évidence le rôle central des dispositifs de soutien à la recherche et à l'innovation dans l'émergence de ces nouvelles filières. Les mécanismes d'accompagnement couvrent l'ensemble de la chaîne de valeur, depuis la recherche fondamentale jusqu'aux démonstrateurs industriels et aux premières unités commerciales. Dans ce contexte, les travaux de prospective énergétique jouent un rôle clé pour orienter les choix technologiques. L'actualisation régulière des scénarios permet d'intégrer les évolutions du contexte (ressources, technologies, contraintes climatiques et géopolitiques) et d'évaluer la place des différentes filières, notamment des gaz renouvelables et bas-carbone.

Session Agronomie et Environnement

Agriculture durable, services et agroécologie

Bérengère Poisson a animé cette session et a rédigé la synthèse.

Cette session a rassemblé quatre communications portant sur des approches complémentaires pour évaluer et améliorer les impacts de la méthanisation agricole : évaluation multicritères à l'échelle de l'exploitation, bilan carbone à grande échelle, services écosystémiques liés aux sols, et gestion des intrants contaminés. Ces travaux convergent vers un message commun : la méthanisation peut être un levier agroécologique puissant, à condition de mettre en œuvre des pratiques adaptées. La première communication a présenté l'outil DiagOptiMetha, développé pour mesurer de façon simple et reproductible les impacts d'une unité de méthanisation sur les exploitations agricoles et leur territoire, en mode « avant/après » mise en service. Conçu sous forme de fichier Excel autoportant, l'outil couvre trois dimensions :

- Indicateurs agronomiques : évolution de l'assolement, des rotations, des pratiques de fertilisation (azote total, part minérale/organique), de l'usage de phytosanitaires, du cheptel et du retour de carbone au sol.
- Indicateurs environnementaux : bilan Énergie/GES, en cours d'interfaçage avec l'outil DIGES 3.
- Indicateurs socio-économiques : profil des agriculteurs, motivation, évolution du travail et des postes de dépenses clés.

L'outil a été testé sur une trentaine d'exploitations en polyculture-élevage des Fermes de Figeac (4 unités de cogénération collectives). Sur l'exemple d'une ferme bovine lait/viande, les principaux enseignements sont : une augmentation de +35 % de l'azote total apporté après méthanisation (avec réduction de 60 % de la part minérale), une hausse de 20 % de la surface amendée en matière organique, un maintien de l'autonomie fourragère malgré la réorientation de 9 ha de prairies, et une augmentation de 20 % de carbone stable restitué au sol. L'outil vise à terme à servir de base pour la caractérisation ou la labellisation du biométhane produit. Les indicateurs GES et socio-économiques sont encore en cours de finalisation.

La deuxième communication a présenté les résultats d'une étude nationale inédite : 100 bilans GES réalisés via l'outil DIGES 3 sur des unités en fonctionnement dans 11 régions françaises (2024-2025), dont 81 retenus pour l'analyse (28 en cogénération, 53 en injection). Les résultats sont les suivants : 100% des unités en injection et 93 % des unités en cogénération affichent un bilan GES positif pour l'environnement. En moyenne, une unité en injection évite environ 3 900 t éq. CO₂/an, et une unité en cogénération environ 900 t éq. CO₂/an, y compris dans le contexte d'un mix électrique français déjà bas-carbone.

Les émissions additionnelles se concentrent sur trois postes qui représentent 85 % du total :

- Stockage et épandage du digestat (CH₄ et N₂O) : priorité n°1. La couverture du stockage avec récupération de biogaz réduit les émissions additionnelles d'environ 40 % pour les sites en injection.
- Fuites de biogaz du procédé : priorité n°2. Les taux de fuites actuels (2,1 % en cogénération, 1,5 % en injection) restent bien inférieurs aux seuils qui annuleraient le bilan positif (6,6 % et 13 % respectivement). Un suivi régulier (caméra de détection, renifleurs) est préconisé.
- Épuration du biogaz : priorité n°3, notamment pour les sites équipés d'épurateurs PSA à faible rendement ou de torchères manuelles.

Le projet Metha3G (2021-2024) a exploré la notion de « méthanisation de 3^{ème} génération » : une filière qui optimise ses services environnementaux en même titre que sa production d'énergie,

jouant ainsi un rôle de moteur de la transition agro-écologique. Le travail a combiné enquêtes de terrain, ateliers de co-conception avec des agriculteurs et modélisation via la plateforme MAELIA, sur deux territoires contrastés (Grand-Ouest élevage bovin ; Grand-Est polyculture-élevage).

Quatre familles de pratiques innovantes ont été priorisées :

- Valorisation de prairies et cultures pérennes (notamment luzerne 3 ans) en méthanisation.
- Production de CIVE multi-services (couverts à double vocation, CIVEs associées à des légumineuses).
- Amélioration de l'autonomie azotée via la fixation symbiotique et l'optimisation du digestat.
- Couplage méthanisation et agriculture de conservation des sols.

Les scénarios évalués sur le territoire Grand-Est ont montré : une baisse de 20 % des apports azotés totaux et de la part d'engrais minéraux (de 94 % à 66 %), une réduction de 30 % des pertes par lixiviation des nitrates grâce aux cultures pérennes, un ralentissement du déstockage de carbone organique, et une stabilisation de la structure des sols. La hausse des émissions d'ammoniac liée à l'épandage de digestat brut reste contenue et partiellement compensée par l'azote symbiotique des légumineuses.

La dernière communication a présenté les résultats du projet Métadatura (2022-2025), qui évalue la faisabilité de valoriser par méthanisation des lots de cultures contaminés par le Datura, plante invasive qui présente des risques sanitaires graves. La problématique est d'autant plus urgente que les seuils réglementaires ont été abaissés en 2021 pour l'alimentation humaine, et qu'une nouvelle limite à 0,5 g/kg est envisagée pour l'alimentation animale au 1er octobre 2026.

Les résultats obtenus en microréacteurs, pilote 20 L et digesteur semi-industriel de 150 m³ sont les suivants:

- Impact sur le procédé : aux doses réalistes dans les lots contaminés, les alcaloïdes n'ont pas d'effet significatif sur l'activité méthanogène ni sur les communautés bactériennes.
- Destruction des graines : à 39 °C dans le digestat, la totalité des graines de datura est morte après 10 jours d'immersion (vs. 20 jours dans l'eau seule). À 50 °C, plus de 95 % des graines sont détruites en 3 jours. Une hygiénisation à 70 °C pendant 1 heure détruit 80 % des graines. En réacteur mésophile 20 L, 87 % de mortalité après 11 jours et 100 % après 40 jours.

Ces résultats ouvrent la voie à une valorisation sécurisée de biomasses contaminées, sous réserve de valider les conditions opératoires définitives sur le digesteur semi-industriel. Ce travail contribue également à affiner des protocoles applicables à d'autres contaminants biologiques comme l'ergot (*Claviceps purpurea*).

Micro plastiques et biodégradabilités des matériaux

Thierry Ribeiro a animé cette session et a rédigé la synthèse.

Cette session a réuni quatre équipes de recherche autour d'une question centrale : que deviennent les plastiques – conventionnels ou prétendument « biodégradables » – lorsqu'ils transitent par un digesteur, puis rejoignent les sols via le digestat ?

Dans le contexte de l'obligation du tri à la source des biodéchets (depuis janvier 2024), les sites de méthanisation reçoivent des flux croissants de biodéchets collectés dans des sacs kraft ou plastique « compostables ». La première communication explore une voie alternative : fabriquer des matériaux d'emballage totalement biosourcés et réellement biodégradables en méthanisation. L'équipe a développé et testé des composites PHBV (poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalérate))

chargés à 0, 10, 20, 30 et 40 % de cellulose, destinés à la confection de barquettes alimentaires à usage unique.

Les résultats en BMP à 38 °C montrent qu'une biodégradation quasi complète est obtenue pour la poudre de 1 mm, et une dégradation de 67 % pour des pièces de format standard (20 × 20 × 0,3 mm) après 57 jours. Un résultat clé : la cellulose accélère significativement la cinétique de dégradation. L'ajout de 40 % de cellulose divise par deux le temps de latence (de 23 à 13 jours) et une désintégration complète est observée dès 20 jours, contre 30 à 40 jours pour le PHBV pur. La biodégradation procède principalement par érosion de surface, avec réduction de la masse moléculaire et coupure des liaisons ester – mécanisme confirmé par ATG, DSC, SEC et MEB.

L'incorporation de cellulose à 20 % représente le point d'équilibre optimal : elle réduit le coût de production du PHBV, accélère la biodégradation sans altérer les propriétés mécaniques, et maintient une biodégradabilité en compostage. Des communautés microbiennes spécifiques (*Ruminofilibacter*, *Clostridium sensu stricto* 7, *Hungateiclostridiaceae*, *Treponema*) ont été identifiées comme principaux acteurs de la dégradation sur les surfaces plastiques. Un second projet ANR (SCIRDE) est en cours pour optimiser l'alimentarité et le recyclage de ces matériaux.

La deuxième communication a abordé le problème des microplastiques conventionnels – non biodégradables – dans la filière méthanisation, depuis la digestion jusqu'au sol. Du polyéthylène basse densité (PE) de taille 20–300 µm, sans additifs (PE0), avec 6 additifs classiques (PE1) ou à dose décuplée (PE10), a été introduit dans des réacteurs de méthanisation en laboratoire (AMPTS batch, réacteur continu CSTR 5 L, réacteurs fed-batch) avec des biodéchets, pour étudier d'abord les interactions PE-matière organique, puis les impacts du digestat sur les sols.

Premier résultat notable : contrairement à plusieurs publications récentes, les auteurs n'observent aucun effet inhibiteur du PE sur la digestion anaérobie, et ce quelles que soient la dose (jusqu'à 1 000 mg/g MS), la taille des particules, la température ou la durée de fonctionnement. Les analyses Rock-Eval et proche IR confirment que le PE ne se dégrade pas en conditions anaérobies. En revanche, des interactions fortes entre le PE et la matière organique des digestats sont observées en MET, avec une redistribution des particules dans les fractions granulométriques.

Deuxième volet, en microcosmes sol : les digestats chargés en PE ont été appliqués sur des sols avec ou sans escargots (60 jours, 23 °C). Sur les activités microbiennes, le PE seul réduit la respiration d'environ 10 %, mais l'apport combiné PE+digestat annule cet effet délétère et stimule même la respiration (jusqu'à +64 % avec PE10 à 1 %). En revanche, l'activité dénitrifiante est significativement réduite par le PE en l'absence de digestat (–10 à –25 %), mais pas en présence de digestat. Sur les escargots, le PE modifie la dynamique de maturation sexuelle, et les additifs à dose ×1 en présence de digestat induisent une maturité précoce ainsi qu'une hausse significative de la fécondité. Les additifs apparaissent comme le facteur clé de ces effets biologiques, probablement via un mécanisme de perturbation endocrinienne.

La communication sur le projet Bag2Biogas a présenté une approche de synthèse de novo : concevoir des polyesters biosourcés spécifiquement optimisés pour se dégrader en digestion anaérobie mésophile, en vue de fabriquer des sacs de collecte de biodéchets entièrement méthanisables. Deux acides dicarboxyliques (succinique et sébacique) et trois polyols (butane-1,4-diol, hexane-1,6-diol, glycérol) ont été combinés pour obtenir des polyesters de structures variées – PBS, PHS, PGHS, PGS – via polycondensation à 250 °C.

Parmi les 26 formulations testées, trois facteurs se révèlent déterminants pour la biodégradabilité anaérobie. D'abord, le nombre de groupements hydroxyles : les polymères enrichis en fonctions –

OH (via le glycérol) présentent une meilleure affinité à l'eau et des rendements de dégradation nettement supérieurs, atteignant 70 à 73 % du BMP théorique pour le PGHS modifié (contre 4,6 % pour le PHS non modifié). Ensuite, la réticulation : une réticulation accrue améliore la souplesse des films mais diminue la production de méthane. Enfin, l'incorporation de microalgues *Chlorella vulgaris* avant polymérisation augmente drastiquement la dégradation (de 4,6 à 32,6 % pour le PHS), probablement via les lipides libérés pendant la polymérisation – effet absent si les algues sont ajoutées après la réaction. La lignine et les polysaccharides n'apportent pas d'amélioration significative.

Dans la continuité de la première présentation, INRAE OPAALE a conduit une évaluation systématique de la dégradation de 5 sacs kraft et 6 sacs plastiques compostables commerciaux (à base d'amidon ou de PLA) en conditions BMP à 38 °C et 55 °C, puis en pilote de méthanisation sèche de 100 L. Les résultats montrent que les sacs kraft, bien qu'ils ne se dégradent pas totalement en 50 jours, se désagrègent facilement et présentent des taux de biodégradation de 60 à 85 % selon les conditions. Les sacs plastiques compostables, en revanche, affichent des taux de dégradation entre 0 et 30 % à 38 °C, et ne se désagrègent pas – même après 64 jours. À 55 °C, certains se fragmentent mais il reste 47 à 90 % de la masse plastique sous forme de microplastiques potentiels. En pilote de méthanisation sèche, les sacs plastiques ne sont quasiment pas altérés après 8 semaines et tendent à limiter la dégradation des biodéchets qu'ils contiennent.

L'analyse FTIR-ATR révèle la cause : ces sacs, qu'ils soient étiquetés « à base d'amidon », « en PLA » ou même « biosourcés », contiennent systématiquement du PBAT (polybutylène adipate téréphtalate), un polymère pétrosourcé présent parfois jusqu'à 70 % de la masse totale. Des BMP réalisés sur des granules purs de PBAT confirment qu'il ne se dégrade pas du tout en 80 jours à 38 °C ou 55 °C. Ce PBAT est aujourd'hui le composant majoritaire des sacs de supermarché, des sacs de collecte de biodéchets, des films de paillage et des liners de barquettes en cellulose compostables.

Les auteurs recommandent de ne pas envoyer les sacs plastiques compostables actuels en méthanisation, et appellent à une évolution urgente de la réglementation sur la composition des matériaux et à la création d'une norme de biodégradabilité anaérobie.

CIVE et durabilité

Armelle Damiano a animé cette session et a rédigé la synthèse.

Cette session a apporté un éclairage sur le potentiel de production de CIVE et les performances agri-environnementales des systèmes de cultures induits par la méthanisation ou conçus pour la méthanisation.

Concernant le potentiel, il a été évalué avec l'impact du changement climatique : pour 2050, les différentes estimations convergent vers un potentiel maximal compris entre 22 et 24 M de tonnes de MS, en adéquation avec la PPE3 et les scénarios prospectifs (besoin de 20 M TMS). Les modèles d'évaluation de l'impact du changement climatique convergent vers des conditions plus favorables aux CIVEs d'hiver avec moins de risque de gel et un cycle végétatif plus court. Cependant les modèles restent à améliorer sur les scénarios de pluviométrie potentielle et d'évapotranspiration. Le potentiel reste un maximum théorique, qui dépend fortement du nombre d'agriculteurs prêts à cultiver des CIVEs. Cela nécessitera à minima un accompagnement technique des agriculteurs

(formations, conseils) et une confirmation de viabilité économique des 3 cultures en 2 ans dans tous les contextes pédo-climatiques.

Les études présentées (Methabiom et Performances agro-environnementales de la méthanisation de CIVE sans élevage) reposent sur des approches complémentaires. D'une part, une évaluation agro-environnementale basée sur des pratiques réelles d'exploitations méthanisantes met en évidence une augmentation de la biomasse totale produite mais une diminution significative de la production alimentaire. Elle montre également des économies d'engrais azotés et une réduction des produits phytosanitaires, mais une hausse des émissions d'ammoniac et de protoxyde d'azote (N_2O). Le stockage de carbone est globalement amélioré, contribuant à un bilan de gaz à effet de serre (GES) plus favorable au champ. À l'échelle globale, la méthanisation sans élevage présente un avantage climatique par rapport au gaz fossile, à condition que les fuites de méthane soient strictement maîtrisées et que le biométhane se substitue effectivement aux énergies fossiles. Dans le cas contraire, notamment en présence de fuites importantes ou d'un effet d'addition plutôt que de substitution, le bilan GES peut devenir défavorable. Le changement climatique tend à dégrader certaines performances (hausse des émissions de N_2O , baisse du stockage de carbone, variabilité des rendements), bien que la méthanisation conserve un avantage relatif.

Evaluation des impacts et potentiel agronomiques

Sylvain Marsac a animé cette session et a rédigé la synthèse.

Cette session traitait de l'impact de pratiques que ce soit à l'échelle des systèmes de culture ou d'exploitation, incluant l'unité de méthanisation. Deux présentations traitaient des systèmes de culture pour la méthanisation, que ce soit via des dispositifs expérimentaux ou la modélisation. Ces évaluations mettent en évidence les compromis nécessaires entre les pratiques culturales et les impacts associés : renforcement de l'autonomie azotée, réduction des risques de lixiviation mais augmentation des risques de volatilisation et émissions N_2O ... D'autres enjeux restent à approfondir : tassement des sols, impacts des séquences de culture sur les risques de stress hydrique, évaluations économiques intégrant la rémunération de services écosystémiques...

L'évaluation des pratiques de stockage et d'épandage des digestats fréquemment discutée lors de cette édition 2026 a également été présentée. Cela confirme des enjeux forts avec des pertes potentielles d'azote total de 30%. La voie d'un stockage temporaire couvert semble être une opportunité dont l'évaluation économique reste à réaliser.

Enfin différentes voies de valorisation du CO_2 ont été évaluées par Analyse de Cycle de Vie : utilisation directe, transformation (via méthanation ou autre) et stockage. Avec les hypothèses prise en compte des origines du CO_2 et procédés étudiés, l'utilisation directe semble présenter des impacts équivalents au scénario de référence. Les résultats sur les voies de transformation et de stockage sont plus mitigés dans l'état des connaissances actuelles. L'évaluation complète avec les phases amont de production de biométhane et du CO_2 biogénique serait intéressante.

Retour sur les présentations :

Le dispositif Trajectoire (AgroParisTech, S Carton) est un dispositif de démonstration qui permet d'acquérir de nouvelles références au champ et mettre en œuvre des pratiques visant à réduire les impacts potentiels identifiés. Certaines tendances sont confirmées comme la diminution des risques de lixiviation avec la présence de CIVE, ou encore la réduction de la volatilisation avec des

pratiques adaptées. Mais des éléments nouveaux sont également soulevés et demandent à être instrumentés : tassement, impact sur le réservoir hydrique des sols ou encore les émissions de N₂O suite aux épandages de digestat.

(INRAE, N Ratsimba) L'introduction de prairies temporaires (2ans) de légumineuses a été simulée dans des rotations type de l'Est via la plateforme MAELIA et le modèle Sys-Métha. Les flux d'azote ont ainsi pu être simulés en intégrant le retour des digestats. Une évaluation multicritère a également été conduite. Les résultats confirment l'amélioration de la quantité d'azote minéralisé et la baisse des risques de lixiviation avec la séquence de culture proposée mais les émissions N₂O et volatilisation ammoniacale sont légèrement dégradées. D'autres compromis sont simulés sur la partie économique avec des coûts de récolte plus élevés pour ces prairies. Mais d'autres services écosystémiques pourraient être intégrés dans l'évaluation globale de ce système.

L'évaluation des pratiques de stockage et d'épandage des digestats a été traitée sur les cas type du Bassin Parisien pour des unités de méthanisation sans élevage. Le temps de séjour des substrats en digesteur, les capacités de stockage et périodes d'épandage ont été étudiés via des mesures sur site et modélisations. Ces paramètres jouent tant sur les émissions résiduelles de méthane (10 à 25% des émissions au stockage pour un temps de séjour augmenté de 30j) que la volatilisation ammoniacale (10 à 25% pour les deux phases de stockage et d'épandage). La couverture d'une fosse intermédiaire avant stockage pourrait être une solution dans l'évaluation économique reste à réaliser.

Différentes voies de valorisation du CO₂ ont été évaluées par Analyse de Cycle de Vie : utilisation directe, transformation (via méthanation ou autre) et stockage. Seule la phase de valorisation est étudiée, elle n'inclue pas le procédé de méthanisation. Avec les hypothèses prise en compte des origines du CO₂ et procédés étudiés, l'utilisation directe semble présenter des impacts équivalents au scénario de référence (qui inclue déjà une partie de CO₂ biogénique). Le transport est un facteur d'impact. Les résultats sur les voies de transformation sont plus mitigés dans l'état des connaissances actuelles. Quant au stockage, l'évaluation présente des impacts variables qui demandent à être approfondis. L'évaluation complète avec les phases amont de production de biométhane et du CO₂ biogénique serait intéressante.

Session Procédés et Valorisation

Prétraitements caractéristiques et qualité de la biomasse

Romain Cresson a animé cette session et a rédigé la synthèse.

La session « Procédés et Valorisation : prétraitements, caractéristiques et qualité de la biomasse » a rassemblé quatre interventions couvrant un spectre large de problématiques liées aux étapes amont de la méthanisation. Les travaux présentés ont porté successivement sur les prétraitements de biomasses lignocellulosiques, le stockage de coproduits végétaux, le suivi sanitaire des procédés et la conservation des substrats par ensilage. Cette diversité thématique illustre à la fois la richesse du champ étudié et une certaine hétérogénéité des approches, reflet d'un domaine encore en structuration à l'interface entre science des procédés, agronomie et ingénierie des systèmes.

La première intervention a exploré le potentiel de prétraitements combinés pour lever les verrous liés à la structure lignocellulosique. L'association d'un prétraitement fongique (*Pleurotus ostreatus*) et d'un traitement oxydatif de type Fenton biomimétique permet d'améliorer l'accessibilité de la biomasse et d'augmenter le potentiel méthanogène dans certaines configurations (jusqu'à +27 %). Les résultats mettent cependant en évidence une forte dépendance aux conditions opératoires, notamment à la souche fongique et à l'ordre des traitements, soulignant la complexité des mécanismes en jeu et la nécessité d'un compromis entre déstructuration de la lignine et préservation des substrats fermentescibles.

La seconde présentation a porté sur le stockage de coproduits végétaux issus de conserveries, en conditions non optimisées. Les résultats montrent que la conservation de ces substrats constitue un enjeu critique pour préserver leur potentiel énergétique. Des comportements très contrastés ont été observés selon les types de coproduits : certains présentent une fermentation spontanée favorable à leur stabilisation, tandis que d'autres subissent des pertes importantes de matière organique et de potentiel méthanogène (jusqu'à environ 45 %). Ces travaux soulignent l'importance de stratégies de stockage adaptées, notamment via des approches inspirées de l'ensilage, pour limiter les pertes avant digestion.

La troisième intervention, issue du projet METHASEQ, a apporté un éclairage particulièrement structurant sur les enjeux sanitaires de la méthanisation. En combinant méthodes culturales, dPCR et métagénomique, cette étude propose une approche innovante et complémentaire pour le suivi des bactéries pathogènes dans les méthaniseurs. Elle met en évidence des écarts significatifs entre les méthodes et révèle une diversité microbienne plus large que celle détectée par les approches classiques, questionnant ainsi les référentiels actuels de suivi sanitaire. Au-delà de l'apport scientifique, ces travaux ouvrent des perspectives importantes pour l'intégration des outils génomiques dans les dispositifs de surveillance, avec un potentiel fort pour améliorer la maîtrise des risques sanitaires dans la filière. La force de cette étude repose également sur la structuration d'un consortium associant acteurs académiques, industriels et institutionnels, garantissant à la fois la robustesse scientifique, l'ancrage opérationnel et la capacité à nourrir les évolutions réglementaires.

Enfin, la quatrième intervention s'est intéressée à la conservation des CIVE par ensilage et à l'impact d'alternatives aux bâches plastiques conventionnelles. Les premiers résultats expérimentaux apparaissent encourageants et confirment l'importance du sujet pour la filière, à la fois sur les plans économique (pertes de biomasse et de potentiel méthanogène) et

environnemental (contrôle des émissions fugitives, réduction de l'usage des plastiques). Les travaux mettent en évidence le rôle critique du maintien de conditions anaérobies et illustrent les mécanismes de dégradation en lien avec l'entrée d'oxygène et l'activité microbienne aérobie.

Au-delà des résultats, cette étude illustre particulièrement bien la nécessité de coupler différentes échelles d'analyse. L'approche expérimentale en conditions contrôlées permet de comprendre finement les mécanismes en jeu – par exemple l'impact de certaines modalités de couverture, comme l'usage de digestat solide, sur la dynamique microbienne et l'inoculation de biomasses anaérobies dans le silo. Toutefois, ces résultats doivent impérativement être confrontés à des observations en conditions réelles, à l'échelle des exploitations, afin d'intégrer la diversité des pratiques, les contraintes opérationnelles et la faisabilité des recommandations. Le lien avec les agriculteurs et les opérateurs apparaît ici essentiel, tant pour valider les résultats que pour co-construire des solutions adaptées aux réalités du terrain.

Dans l'ensemble, cette session met en évidence un point de convergence fort : la qualité de la biomasse et sa gestion en amont du digesteur conditionnent directement les performances environnementales, énergétiques et sanitaires des procédés de méthanisation. Qu'il s'agisse de prétraitement, de stockage, de conservation ou de suivi sanitaire, ces étapes apparaissent comme des leviers clés, encore insuffisamment maîtrisés mais porteurs de gains significatifs.

L'hétérogénéité des thématiques abordées reflète néanmoins un champ en cours de structuration. Elle souligne la nécessité de développer des approches intégrées, capables de relier plus explicitement les transformations de la biomasse en amont aux performances globales des unités, dans une logique systémique au service du déploiement durable de la méthanisation.

Biométhanation in situ, robustesse et changement d'échelle

Pierre Fontanille a animé cette session et a rédigé la synthèse.

Les présentations de cette session ont permis de discuter des avancées récentes sur des problématiques de montée en échelle des procédés de méthanisation et de leur intensification grâce à des approches innovantes de méthanation in situ et d'électrochimie.

La question du passage de l'échelle laboratoire à l'échelle industrielle constitue un enjeu majeur pour la filière. Le projet METHASCALE, présenté par Christine Peyrelasse (APESA – Pôle valorisation, France) a montré que les performances biologiques et les performances énergétiques sont globalement comparables entre différentes échelles. Cela confirme la pertinence des essais pilotes pour simuler le fonctionnement des unités industrielles. Quelques différences ont toutefois été observées concernant notamment la qualité des digestats. Le mode de préparation des substrats (broyage, séchage, découpe) est également un paramètre clé. Ces résultats soulignent l'importance des pilotes préindustriels, qui permettent de produire un digestat représentatif et de tester des conditions proches de la réalité industrielle.

La biométhanation in situ consiste à injecter de l'hydrogène directement dans un digesteur de méthanisation afin de convertir le CO₂ résiduel en méthane. Cette approche permet d'augmenter la production de biométhane tout en réalisant une première étape d'épuration du biogaz.

Les résultats expérimentaux présentés par Lucia Braga-Nan (INRAE / Université de Montpellier, France) montrent que la stratégie d'injection d'hydrogène est déterminante. La biométhanation in situ améliore également la robustesse du procédé face aux surcharges organiques, en retardant l'accumulation des acides gras et en favorisant la conversion de la matière organique en méthane. Les analyses microbiologiques ont montré une évolution des populations vers des méthanogènes hydrogénotrophes, capables d'utiliser l'hydrogène pour produire du méthane.

Lors d'un changement d'échelle, la modélisation constitue un outil essentiel pour comprendre et optimiser les procédés. Les travaux présentés par Tatiana Segura (INRAE / ENGIE Lab CRIGEN / APESA, France) ont montré que le modèle ADM1 pouvait être utilisé et modifié pour reproduire correctement la dynamique globale des systèmes de méthanisation et de biométhanation in situ. Certaines limites subsistent, notamment concernant le transfert gaz-liquide et la dynamique de l'hydrogène. Des ajustements de paramètres sont encore nécessaires pour représenter fidèlement les observations expérimentales. La modélisation permet néanmoins de tester différents scénarios de fonctionnement et d'accompagner le changement d'échelle, en réduisant les coûts expérimentaux.

Enfin, l'électrométhanogénèse (EMG) présentée par Anne-Laure Borg (ENGIE Lab CRIGEN / Université de Toulouse, France) qui a obtenu le prix de la meilleure présentation constitue une approche innovante visant à améliorer la production de biométhane en couplant digestion anaérobie et électrochimie. Les expériences présentées ont été réalisées sur des substrats réels, ce qui renforce leur pertinence. Les résultats montrent que l'effet direct de la polarisation cathodique sur la production de méthane reste limité. En revanche, le procédé permet de réduire certains composés indésirables comme le sulfure d'hydrogène. L'élément déterminant semble être le développement d'un biofilm anodique actif, capable de dégrader efficacement la matière organique. Le maintien de l'activité de ce biofilm apparaît comme un verrou scientifique majeur pour le développement industriel de cette technologie.

L'ensemble des présentations a mis en évidence une évolution vers des procédés de méthanisation plus performants, plus intégrés et mieux maîtrisés. La biométhanation et l'électrométhanogénèse apparaissent comme des leviers prometteurs pour augmenter la production de biométhane et valoriser les excédents d'électricité renouvelable.

Digestat Conception valorisation et durabilité

Romain Girault a animé cette session et a rédigé la synthèse.

Cette session se situait à l'interface du procédé de méthanisation et de la filière de valorisation des digestats. Quatre thèmes ont été abordés.

Une première présentation s'intéressait à l'impact des paramètres de conception de la filière de méthanisation et gestion des digestats sur le potentiel méthanogène résiduel du digestat. Cet indicateur est directement corrélé au risque d'émissions de méthane au stockage des digestats, qui représente un des points critique du bilan environnemental de la méthanisation en termes de changement climatique. Les résultats ont montré :

- Un effet très important du TSM sur le potentiel méthanogène résiduel (augmentation exponentielle pour des TSM inférieur à 80-100j).

- Une réduction du potentiel résiduel de l'ordre de 50% quand l'unité est équipée d'une première cuve de stockage tampon, non chauffée, couverte avec récupération du biogaz.
- Un effet fort de la séparation de phase.

Des discussions ont été engagées sur la nécessité d'établir un consensus sur des TSM minimums à appliquer pour répondre aux standards des directives RED.

La deuxième présentation s'intéressait à la prédiction des caractéristiques agronomiques des digestats en terme de dynamique de minéralisation du C et du N à partir d'analyses spectrales. Les résultats ont montré que les analyses spectrales, comme les fractionnements biochimiques de type ISBAMO permettaient de prédire à partir d'analyses rapides les dynamiques de minéralisation du C et du N au retour au sol. Ces résultats ouvrent la voie à un meilleur pilotage agronomique de la valorisation des digestats.

Une troisième présentation s'est intéressée à l'évaluation des performances d'un procédé de post-traitement des digestats basé sur une acidification couplée à un séchage, afin de produire un digestat facilement exportable en conservant l'azote ammoniacal. Les résultats ont montré que le procédé permet de conserver l'azote ammoniacal ainsi que les nutriments du digestat, tout en respectant les seuils réglementaires en termes de contaminants. Une stabilisation de la matière organique est également observée lors du procédé. Des tests agronomiques vont être réalisés pour investiguer l'impact de ce procédé sur la disponibilité des nutriments pour les plantes.

La dernière présentation de la session a été dédiée au développement d'un outil d'optimisation multi-objectif de la conduite et du dimensionnement des filières de méthanisation. L'outil permet de proposer une stratégie de choix des substrats, de dimensionnement et de conduite de l'unité de méthanisation à partir de différentes contraintes fixées par l'utilisateur comme l'optimisation de la production de biogaz, sa stabilité ou des objectifs de performances agronomiques de la chaîne de valorisation des digestats. Aujourd'hui au stade de démonstrateur, les capacités de l'outil ont été explorées sur des cas-types ouvrant la voie à un élargissement des contraintes prises en compte.

Microbiologie, inhibitions et conditions opératoires

Guillaume Henry a animé cette session et a rédigé la synthèse.

Cette session a été focalisée sur des sujets autour de la microbiologie de la Digestion Anaérobie (DA).

La première communication s'est focalisée sur la modélisation de l'hydrolyse dans le cadre d'une DA thermophile (50 – 61 °C). L'hydrolyse étant considérée comme l'étape cinétique limitante de la DA, l'étude a fait l'hypothèse que la cinétique globale était pilotée par cette étape. Une modélisation simple du premier ordre a été retenue pour modéliser la production de méthane dans le temps dans un système de DA alimenté en fed-batch. Ce modèle présente une bonne corrélation des points expérimentaux. Les résultats montrent, contrairement à un modèle cinétique type Arrhénius, qu'une limite est atteinte en augmentant la température, en particulier une cinétique ralentie et un BMP exprimé réduit à 61 °C en comparaison aux autres températures testées (51 et 55 °C). Cette limite peut s'expliquer par le taux de croissance des micro-organismes réduit à haute température.

Des travaux complémentaires seront menés pour comparer d'autres températures afin de compléter les données.

La seconde communication s'est focalisée sur l'impact de l'acide propionique sur la DA de boues de station d'épuration. L'acide propionique est un AGV connu pour être le responsable d'inhibition de la DA à faible concentration (à partir de 2 g/L selon la littérature) et est souvent un indicateur recherché en cas de problématique de production de gaz. Les résultats en BMP batch ou méthanisation continue montrent des résultats similaires : par d'inhibition en dessous d'une concentration équivalente propionate de 1,5 g/L, une légère inhibition jusqu'à une concentration de 6 g/L et une inhibition marquée (-40% de production CH₄) à 10 g/L. L'analyse métagénomique indique que ce sont les archées méthanogènes qui sont les plus affectées par le propionate. L'émergence de nouveaux groupes microbiens nécessite plus d'étude.

La troisième communication s'est focalisée sur l'épuration du biogaz pour produire du biométhane et en particulier sur la problématique H₂S. Le traitement de l'H₂S est généralement fait in-situ dans les digesteurs et complété par un traitement aux charbons actifs. La gestion de l'O₂ dans le biométhane est essentielle pour assurer le bon fonctionnement des réseaux de transport et distribution de gaz. Une nouvelle technologie de traitement de l'H₂S a été présentée par lavage catalytique (utilisation H₂O₂) qui pourrait proposer une alternative aux charbons actifs avec un OPEX réduit (mais CAPEX augmenté). Un point de vigilance du procédé est qu'il implique la gestion de produits chimiques concentrés : H₂O₂ et acide sulfurique 30% comme sous-produit du traitement.

Enfin, la quatrième et dernière communication s'est focalisée sur le rôle du soufre dans la DA. En particulier, deux cas ont été étudiés autour de consortia de méthanation biologique (majorité archées méthanogènes) mais également le cas de la fermentation sombre (majorité clostridii). Plusieurs formes de soufre ont été testées par ajout (S²⁻, SO₄²⁻ et cystéine) afin de caractériser l'effet sur (i) la production de gaz et (ii) les communautés microbiennes. Les résultats indiquent qu'il y a de fortes compétitions entre acétogènes et méthanogènes et que des synergies microbiennes s'opèrent entre consortia de production de gaz et consortia du cycle du soufre. Enfin, l'étude montre également que le soufre oxydé (SO₄²⁻) a le plus d'impact sur les productions de gaz, notamment par le besoin de réduction du soufre afin de le rendre accessible.

Session Planification Compétitions d'usage

Modélisation prospective et scénarios territoriaux

Sylvaine Berger a animé cette session et a rédigé la synthèse.

Dans un contexte d'élaboration de la Stratégie nationale Bas Carbone (SNBC3), des Schémas Régionaux Biomasse (SRB) ou autres Schémas des énergies (SDE) dans les territoires où la question de la modélisation des filières se pose, il est intéressant de connaître les apports de la recherche sur ces thématiques. Trois intervenants ont présenté l'avancée de leurs travaux, avec deux présentations sur la modélisation de la filière méthanisation et une présentation sur le potentiel biogaz en France.

Tout d'abord, Hadrien Delattre, LAE, UMR Université de Lorraine et INRAE a présenté le modèle de simulation des filières biomasse, BioChains. Cet outil qui décrit les flux de biomasse, les bioprocédés et la logistique, est un module couplable à MAELIA. A date, le développement pour la méthanisation est terminé. Des premières simulations ont été réalisées sur un territoire fictif. Biochains permet de prédire les fenêtres de disponibilité des biomasses et les fenêtres d'activité des bioprocédés ainsi que de tester l'impact de différents dimensionnements (volume des stockages, taille de cuve et temps de rétention des méthaniseurs, transport selon type de flotte). Le couplage, à venir, à MAELIA permettra de mesurer l'impact de différentes recettes sur les rendements.

Ensuite, Agathe Souiry, université de Reims Champagne Ardennes, INRAE, FARE a présenté l'accompagnement réalisé auprès du Grand Reims, dans le cadre de leur Stratégie Bas Carbone. L'objectif du projet est de proposer des scénarios prospectifs du développement de la méthanisation et d'autres ENR sur le territoire. La méthode a reposé sur l'identification du potentiel en confrontant les données aux acteurs rassemblés lors de plusieurs ateliers de travail. Des scénarios de développement des ENR ancrés dans les dynamiques du territoire ont été proposés. Ils seront prochainement restitués aux acteurs pour partager, affiner les enjeux et éclairer les décisions des acteurs du territoire.

Enfin, Guillaume Bardeau, Eifer, a présenté les résultats d'une analyse des dynamiques du développement du biométhane sur la base de traitement de données statistiques en opendata. Le potentiel technique maximum identifié s'élève à 157 TWh PCS, avec des cultures énergétiques mais sans les ressources difficilement quantifiables comme les herbes bord de routes ou le changement d'usage des prairies. Le potentiel de 110 TWh PCS semble atteignable en 2050. L'impact du changement climatique, les évolutions des habitudes alimentaires et des réglementations environnementales restent à évaluer.

Gouvernance Territoriale

Yves le Roux a animé cette session et a rédigé la synthèse.

La première présentation (J. Wolfhart, INRAE) s'est attachée à expliciter le concept de bioéconomie urbaine et sa capacité ou non à tendre vers une bio-symbiose urbaine (Echanges de matière et d'énergie, Partage / réutilisation d'espaces, multifonctionnalité)

A partir d'une dizaine d'entretiens auprès d'EPCI, il a été montré que la méthanisation est majoritairement perçue comme un outil de traitement des déchets et que les approches restent très en silo entre les différents services. Il conviendra d'explorer les modèles de gouvernance

territoriale favorisant les synergies entre domaines de la bioéconomie et de renforcer la réflexion sur la circularité et la qualité des digestats.

La deuxième présentation (Antoine Bouzin, Université de Bordeaux) avait pour thème la planification territoriale de la méthanisation et l'enjeu de la coordination des acteurs locaux dans le développement des unités. A partir de très nombreux entretiens et de deux études de terrain dans le Béarn et en Haute-Vienne, il a été montré que la méthanisation est proposée comme une solution pour aborder les problématiques autour de la production d'énergie verte, de la décarbonation, de la prise en compte des évolutions géopolitiques, le traitement des déchets, d'un complément de revenu pour l'agriculteur, l'emploi rural, économie d'engrais mais assez peu comme levier de la transition agroécologique. Le rôle des acteurs étaient bien définis : Planifier (EPCI, Préfecture, Région, SDE), contrôler (DDPP, UD DREAL), informer et convaincre (Chambre d'agriculture, gestionnaire de réseaux) mais la co-existence de plusieurs plans, à différentes échelles : ZA EnR (Commune), PCAET (EPCI), COP (Département), SRADDET/SRB/S3REN + CRE/COP (Région), PPE/SNBC (État) rend complexe leur articulation et mise en cohérence des stratégies. Il existe une variation selon les départements et les plans des modalités d'organisation (structures participantes, modalités de contribution). Il y a une absence de « scènes territoriales » où pourraient se discuter la planification et il existe un important pouvoir discrétionnaire du préfet (et de son cabinet) dans le gouvernement de la planification.

La troisième présentation (Pauline Marty ; UTT) traitait du Métabolisme énergétique et azoté d'un méthaniseur coopératif en plaine de grandes cultures végétales et interroge les effets de la méthanisation à l'échelle des territoires agricoles. La méthode utilisée était basée sur le métabolisme énergétique et métabolisme de l'azote avec une comptabilité des flux d'énergie et d'azote comme base pour investiguer leur gouvernance. Le cas d'étude s'appuyait sur une unité de méthanisation collective portée par une coopérative avec des intrants intégralement végétaux (20% maïs, 35 % CIVE, 30% pulpes de betterave et 15% issus de silos). Plusieurs indicateurs ont été calculés : le taux de retour énergétique qui varie sur l'ensemble du système entre 1,7 et 2. Il est noté un déséquilibre azote entre les parcelles productrices de végétaux et celles qui reçoivent du digestat, une émergence de l'enjeu du prix d'achat des CIVE ainsi que de la compétition d'usage sur les pulpes de betteraves.

La quatrième intervention (Louis Dupuy APESA) s'intéresse à l'appropriation d'une nouvelle technologie par les acteurs, la solution Métha-HYn, identifiée comme une promesse technologique (donc non encore validée technologiquement) de nature à faire évoluer les systèmes sociotechniques dans lesquels elle est amenée à s'insérer. Cette insertion fait cependant l'objet de nombreuses questions du fait des incertitudes liées à la fois à la variabilité des systèmes existants et à l'incertitude expérimentale liée au niveau de maturité de la solution technique elle-même. Pour toutes ces raisons, une approche évaluative basée sur la construction de scénarios a été choisie pour apporter un regard critique et accompagnement à la solution. 4 scénarios sont en cours d'évaluation : une territorialisation volontaire à faible potentiel, une territorialisation marquée à potentiel moyen, une territorialisation non-aboutie à fort potentiel et enfin une territorialisation très engagée à fort potentiel. Une spacialisation de ces scénarios est en cours.

Session Economie Société et Politique

Pascal Grouiez a animé cette session et a rédigé la synthèse.

La session a permis de discuter des déterminants de l'évolution des modèles d'affaires de la méthanisation. Pauline Marty a mis en évidence les différentes façons de se représenter la place de la méthanisation dans un projet de valorisation des biodéchets des collectivités territoriales. Il ressort que la symbiose entre les différentes activités (compostage, méthanisation, etc.) n'est pas toujours pensée, ce qui confère aux projets de méthanisation des portées plus ou moins limitées.

Aude Dziebowski, à travers une étude bibliométrique, a souligné que le cadre institutionnel jouait un rôle déterminant dans la structuration de la méthanisation en Europe. Ce cadre est générateur d'incertitudes quant à l'évolution des normes, ce qui interroge l'existence d'un modèle européen de la méthanisation viable à long terme.

L'évolution de ces normes, au-delà de ses impacts méso économiques, peut également avoir des effets microéconomiques. Cette question a été particulièrement discutée par Sophie Bernard et Agnès de Lavigne Sainte Suzanne. À l'échelle de l'organisation du travail, la méthanisation apparaît comme un modèle contradictoire, offrant à la fois une certaine autonomie et de fortes contraintes, notamment d'ordre administratif et liées aux astreintes, que les agriculteurs peinent à anticiper au moment de la mise en œuvre des projets. Les dispositifs d'accompagnement, quant à eux, sont extrêmement dépendants du territoire d'implantation des unités et ne répondent pas toujours aux attentes exprimées par la profession.

Au croisement de ces enjeux microéconomiques et méso économiques, Pascal Grouiez a proposé une lecture d'économie politique de l'évolution des modèles d'affaires de la méthanisation. Dans cette perspective, il s'agit de rendre compte de la manière dont les politiques publiques, qui semblent jouer un rôle déterminant dans l'évolution des modèles de la méthanisation en Europe, sont elles-mêmes influencées par les stratégies de lobbying des acteurs de la filière. Les enjeux de la méthanisation ayant évolué au cours des vingt dernières années – de la circularité vers des objectifs de décarbonation –, ils ont, à travers différents acteurs, contribué à transformer les politiques publiques et, avec elles, les modèles d'affaires.

Session Modèles économiques et financiers

Farah Doumit a animé cette session et a rédigé la synthèse.

Cette session inédite était consacrée aux modèles économiques et financiers de la méthanisation, avec pour objectif d'analyser les conditions de viabilité et de résilience des projets dans un contexte marqué par la volatilité des marchés, l'évolution des cadres de soutien public et des contraintes réglementaires croissantes. Elle visait à explorer les leviers d'optimisation économique, les structurations de modèles d'affaires ainsi que les nouvelles opportunités de valorisation, en s'appuyant sur des travaux à la fois expérimentaux, empiriques et prospectifs.

Les contributions ont permis de mettre en évidence plusieurs enseignements complémentaires. Les travaux sur la flexibilité électrique des méthaniseurs (projet FLEM) montrent que les leviers liés à la modulation de la consommation (agitation, épuration, stockage, pilotage des équipements) présentent un potentiel d'optimisation économique plus tangible que ceux liés à la production, bien que les gains restent limités et fortement dépendants des mécanismes de valorisation (tarification horosaisonnaire, NEBCO), tandis que les marchés de réserve ou le marché spot apparaissent peu rentables dans les configurations étudiées. L'étude du module CH_4^+ met en évidence le rôle du prétraitement des intrants de 5 technologies (broyage, cavitation, enzyme, biochar et ultrasons en recirculation) comme levier de compétitivité, en montrant que l'amélioration du pouvoir méthanogène peut se traduire en gains économiques mesurables (EBITDA, ROI), avec des arbitrages structurants entre augmentation du C_{max} et réduction des intrants, le premier apparaissant généralement plus favorable lorsque les contraintes réglementaires le permettent. Le retour d'expérience sur la méthanisation psychrophile met en évidence un modèle économique fondé prioritairement sur la sobriété et la réduction des coûts d'exploitation plutôt que sur la maximisation des revenus. Les résultats issus d'enquêtes de terrain montrent que ces installations, caractérisées par de faibles investissements et une forte valorisation d'effluents d'élevage, permettent principalement de substituer des consommations énergétiques (notamment le propane) et de limiter certains investissements. Toutefois, leur rentabilité reste limitée et dépendante de soutiens publics. Les performances observées sont fortement conditionnées par des paramètres techniques tels que le temps de séjour, la nature des intrants ou la configuration des fosses, illustrant l'importance de l'adéquation entre conception technique et modèle économique. La présentation sur les tensions du marché du CO_2 met en lumière les limites actuelles de structuration économique de la valorisation du CO_2 biogénique. La crise d'approvisionnement observée en 2025 révèle des vulnérabilités structurelles liées à la concentration de l'offre, à la dépendance à des coproduits industriels et à des contraintes logistiques. Malgré son potentiel, le CO_2 issu de la méthanisation ne peut, à ce stade, répondre à ces tensions à grande échelle en raison de verrous techno-économiques, d'effets d'échelle insuffisants et d'un manque de cadres contractuels stabilisés. Cette intervention souligne ainsi la nécessité de développer des modèles économiques intégrant la mutualisation, la contractualisation de long terme et le développement d'infrastructures adaptées.

Ces travaux soulèvent plusieurs questionnements et perspectives de recherche. Ils mettent d'abord en évidence la nécessité d'identifier des leviers de rentabilité robustes dans un cadre économique et réglementaire contraint, en particulier pour certains segments comme la petite méthanisation. Ils soulignent également la nécessité de mieux articuler les résultats scientifiques et leur traduction en modèles économiques opérationnels, notamment dans le cas des technologies de prétraitement. Par ailleurs, les enjeux d'intégration aux systèmes énergétiques et

de structuration de nouveaux marchés comme le CO₂ biogénique, appellent à approfondir les travaux sur les mécanismes de valorisation, les nouveaux modèles contractuels et les conditions de mutualisation à l'échelle territoriale.

Conclusion

Ces Journées Recherche Innovation ont montré que la méthanisation bénéficie désormais d'un corpus de références solides pour objectiver ses impacts : environnemental avec des bilans GES et agronomique avec les trajectoires intégrant les digestats et les CIVE aux pratiques agricoles et ses perspectives avec le potentiel en CIVE. Ce qui manque encore, ce n'est pas la connaissance, c'est la traçabilité opérationnelle : les outils existent, mais leur déploiement systématique et leur articulation avec les pratiques d'exploitation restent à construire. Sur un registre plus inconfortable, les plastiques dits « compostables » constituent un angle mort de la filière. La preuve est maintenant apportée que ces matériaux ne se dégradent pas en méthanisation et contaminent les digestats, une question que la réglementation n'a pas encore instruite.

Du côté des procédés, les sessions révèlent une filière en train de passer d'une logique de production à une logique d'optimisation systémique. Biométhanation in situ, prétraitements ciblés, modélisation des inhibitions, pilotage fin du digestat, toutes ces avancées convergent vers un même objectif : produire plus et mieux à partir d'une même ressource, en réduisant les incertitudes opératoires et en donnant au digestat toute la place qui lui revient dans la chaîne de valeur. Le changement d'échelle reste le principal verrou : les résultats pilotes se confirment globalement à l'échelle industrielle, mais les effets de bord imposent encore un travail de caractérisation qui ne peut pas être éludé.

Ces questions techniques et environnementales ne peuvent cependant pas être dissociées de leur cadre économique. Les travaux sur les modèles financiers posent une question que la filière évite souvent : la méthanisation est-elle robuste sans soutien public structurel ? Les résultats présentés suggèrent que les marges de manœuvre réelles sont plus étroites que les modèles de rentabilité théoriques le laissent croire. L'enjeu n'est donc pas d'optimiser à la marge des projets existants, mais de penser des modèles d'affaires intrinsèquement plus résilients, capables d'intégrer la valorisation de co-produits, (CO₂, flexibilité énergétique, services écosystémiques) comme composantes structurelles du revenu et non comme bonus conjoncturels.

Cette fragilité économique trouve en partie son origine dans la façon dont les territoires planifient et gouvernent le développement de la filière. Les travaux de planification mettent en évidence un paradoxe : les outils de modélisation des potentiels et des flux de biomasse progressent rapidement, mais la gouvernance réelle fonctionne encore en silos. La multiplication des plans à des échelles qui ne se recoupent pas produit une complexité qui n'est pas au service de la cohérence. La vraie question n'est pas technique, elle est politique : qui est légitime pour arbitrer les compétitions d'usages sur la biomasse à l'échelle territoriale, et avec quels outils de concertation ?

Cette question de gouvernance renvoie finalement à deux tensions profondes que les travaux en société et politiques publiques ont bien identifiées. La première est institutionnelle : l'instabilité des normes et des cadres de soutien constitue aujourd'hui l'un des principaux freins à l'investissement de long terme. La seconde est humaine : la méthanisation, vue de l'intérieur des exploitations, est un projet plus lourd et plus contraignant que ce que les porteurs de projet anticipent, et l'accompagnement reste très inégal selon les territoires. Ces deux tensions se renforcent mutuellement, et c'est peut-être là le chantier prioritaire que les prochaines JRI auront à investiguer.



À PROPOS DU CTBM

Créé à l'initiative du collège **Recherche du Club Biogaz ATEE** en 2019, le **CTBM** anime et coordonne le réseau recherche et innovation pour offrir les moyens techniques et scientifiques de soutien au développement de la méthanisation en France.

Parmi ces objectifs, la structuration et la diffusion des connaissances scientifiques et techniques relatives à la méthanisation sur les thématiques suivantes :

- Procédés et Valorisation,
- Agronomie et Environnement,
- Planification et compétitions d'usage,
- Economie,
- Politiques Publiques,
- Modèles économiques et financiers.

Le CTBM assure également l'animation et le pilotage de groupes de travail thématique dédiés aux enjeux stratégiques, techniques et environnementaux de la filière afin d'analyser les sujets émergents et de produire des guides de bonnes pratiques accessible a la filière.

**RETROUVEZ LES GROUPES DE TRAVAIL
VIA CE QR CODE**

