

cométh^a

Partenariat d'innovation

Cotraitement des boues des eaux usées du SIAAP et de la fraction organique des ordures ménagères résiduelles du Sycotom

DOSSIER D'INFORMATION

AUTOMNE 2019



L'agence
métropolitaine
des déchets
ménagers



OÙ EN SOMMES-NOUS ?

La Phase 1 du partenariat d'innovation pour la mise en œuvre du projet Cométha, dédiée à la recherche et à la conception des unités pilotes, se termine. Cette journée technique est organisée avant la fin de la Phase 1, pour permettre aux quatre groupements titulaires du partenariat d'innovation de présenter les enseignements de plusieurs mois de recherches.

Prochaine étape en décembre 2019, avec la décision du Syctom et du SIAAP sur l'avenir du partenariat d'innovation, et la sélection éventuelle d'un ou deux groupements titulaires pour la Phase 2 dédiée à la construction et à l'exploitation d'unité(s) pilote(s), permettant d'éprouver sur le terrain et dans des conditions d'exploitation réelles les solutions imaginées en Phase 1.

Avertissement : Pour des raisons liées à la propriété intellectuelle, le Syctom, le SIAAP et les groupements titulaires ne peuvent pas à ce stade communiquer sur certaines solutions innovantes développées pendant la Phase 1 du partenariat d'innovation. Pour les mêmes raisons, il n'est pas possible à ce stade de communiquer sur les résultats des recherches.

SOMMAIRE

PETIT LEXIQUE DU PARTENARIAT
D'INNOVATION COMÉTHA

PAGE 2

LE SYCTOM ET LE SIAAP, DEUX OPÉRATEURS
PUBLICS FRANCILIENS EN SYNERGIE

PAGE 4

UN PROJET INÉDIT, UNE PROCÉDURE NOVATRICE

PAGE 6

PHASE 1 : PREMIERS ENSEIGNEMENTS

PAGE 8

LES ACTEURS DU PARTENARIAT D'INNOVATION

PAGE 10

LES TÉMOINS DE LA JOURNÉE TECHNIQUE

PAGE 12

LES ENTREPRISES CONSTITUTIVES
DES GROUPEMENTS

PAGE 15



PAGE 23



PAGE 31



PAGE 39



PETIT LEXIQUE DU PARTENARIAT D'INNOVATION COMÉTHA

ACIDES GRAS VOLATILS (AGV) : acides organiques à courtes chaînes avec un squelette de 1 à 6 atomes de carbone, métabolites intermédiaires des étapes d'hydrolyse et d'acidogénèse de la digestion anaérobie. Ils sont consommés durant les phases d'acétogénèse et de méthanogénèse

BATCH (réacteur) : système de production fermé fonctionnant de façon discontinue par lots successifs

BIOCÉNOSE : ensemble des bactéries contenues dans un milieu

BIOCHAR (ou biocharbon, biocharcoal) : produit solide obtenu à partir de procédés de traitement thermochimique de matières organiques (torréfaction, pyrolyse...), riche en carbone et pouvant notamment être utilisé comme combustible ou amendement agricole

BIOGAZ : produit gazeux de la méthanisation, essentiellement composé de méthane (CH_4), de dioxyde de carbone (CO_2) et de vapeur d'eau (H_2O) ; d'autres composés gazeux sont également présents en très faible quantité, comme le sulfure d'hydrogène (H_2S)

BIOMÉTHANE : gaz constitué à plus de 97 % de méthane (CH_4), obtenu par épuration du biogaz et pouvant être injecté dans le réseau de distribution de gaz naturel ou utilisé comme carburant pour véhicules fonctionnant au GNV (Gaz naturel véhicule)

BMP (ou potentiel méthanogène) : indicateur permettant de déterminer la quantité de biogaz pouvant être produite par un échantillon de matière organique

BOUES ISSUES DE LA DÉPOLLUTION DES EAUX USÉES : résidu de la dépollution des eaux usées, constitué majoritairement de matière organique récupérée et / ou formée lors des différentes étapes de traitement des eaux usées

CAPEX (ou dépenses d'investissement) : dépenses qui se réfèrent aux immobilisations, c'est-à-dire aux dépenses qui ont une valeur positive sur le long terme

CONDENSAT : liquide résiduel issu de la condensation de vapeur

DIGESTAT : produit solide humide de la méthanisation, principalement composé de matière organique non convertible en biogaz et de matières minérales (azote, phosphore)

DIGESTEUR : cuve étanche où se déroule la méthanisation

EAU SUPERCRITIQUE : état mi-liquide et mi-gazeux de l'eau, obtenu à haute température et à haute pression (374 °C, 221 bar)

FRACTION ORGANIQUE RÉSIDUELLE (FOR) : fraction essentiellement composée de matières organiques obtenue suite à une action de tri mécanique d'Ordures ménagères résiduelles (OMr) ; dans le cadre du projet Cométha, cette fraction n'est pas destinée à un retour au sol après traitement contrairement aux biodéchets collectés séparément

GAZÉIFICATION : procédé de conversion thermochimique à haute température (700-1200 °C) se déroulant en absence ou en présence très réduite d'oxygène (milieu réducteur) et permettant de convertir la matière organique en un gaz de synthèse (syngaz) valorisable énergétiquement

INTRANTS : matières utilisées pour la méthanisation (fraction organique résiduelle, boues d'épuration des eaux usées, graisses et fumier équin dans le cas du projet Cométha)

MÉSOPHILE : se dit de la méthanisation fonctionnant à une température d'environ 37 °C

MÉTHANATION : processus biologique ou chimique de conversion de l'hydrogène (H_2), du monoxyde de carbone (CO) et du dioxyde de carbone (CO_2) en méthane (CH_4)

MÉTHANISATION (ou digestion anaérobie) : processus biologique de dégradation de la matière organique en absence d'oxygène, permettant de produire du biogaz et du digestat

OPEX (ou dépenses d'exploitation) : charges courantes supportées par une entreprise pour les besoins de son activité.

PCS (pouvoir calorifique supérieur) : quantité de chaleur libérée par la combustion complète d'une unité de combustible et tenant compte des calories contenues dans la condensation de la vapeur d'eau des fumées générées par la combustion

PHASE 1 : 1^{ère} phase du partenariat d'innovation avec une étape de caractérisation des intrants puis une étape de recherche et de validation en laboratoire des solutions techniques envisagées, et enfin une étape de réalisation d'un avant-projet sommaire de l'unité pilote

PHASE 2 : 2^e phase du partenariat d'innovation consistant en la conception, la construction et l'exploitation d'une ou deux unité(s) pilote(s) sur un des sites du SIAAP, sur la base des essais et études réalisés en Phase 1

PHASE 3 : 3^e et dernière phase du partenariat d'innovation consistant en la conception, la construction et la mise en route d'une seule et unique unité industrielle, sur la base des études et tests réalisés en Phase 2

PYROLYSE : procédé de conversion thermochimique moyenne température (350-900 °C), se déroulant en absence ou en présence très réduite d'oxygène et permettant de décomposer la matière organique en 3 sous-produits valorisables : syngaz, biochar et huile

RÉSILIENCE : capacité d'une population bactérienne à faire face aux variations d'un milieu

RHÉOLOGIE : étude de l'écoulement ou de la déformation de la matière sous l'effet de contraintes appliquées

SÉPARATION DE PHASES : étape de déshydratation du digestat permettant de séparer la phase solide (digestat déshydraté) de la phase liquide, plus ou moins chargée selon la méthode utilisée

SICCITÉ : pourcentage massique de matières sèches contenues dans un produit humide ; un produit constitué à 80 % d'eau possède une siccité de 20 %

STRIPPING (de l'ammoniac) : procédé en deux étapes permettant de produire du sulfate d'ammonium

STRUVITE : matière fertilisante riche en azote et en phosphore, valorisable en agriculture

SULFATE D'AMMONIUM : sel cristallin ((NH₄)₂SO₄) pouvant être utilisé comme engrais

SYNGAZ (ou gaz de synthèse) : produit gazeux issu de procédés thermochimiques à haute température (pyrolyse, gazéification), essentiellement composé d'azote (N₂), de dioxyde de carbone (CO₂), de monoxyde de carbone (CO), de méthane (CH₄) et d'hydrogène (H₂), pouvant être valorisé énergétiquement

THERMOPHILE : se dit de la méthanisation fonctionnant à une température d'environ 55 °C

TMSC (chimie/sorption transmembranaire) : technologie permettant la récupération de sulfate d'ammonium

TORRÉFACTION : procédé de conversion thermochimique « doux » (200-350 °C environ), se déroulant en absence ou en présence réduite d'oxygène et permettant de transformer la matière organique en biochar

TRAITEMENT THERMOCHIMIQUE : modification de la structure d'un produit, sous action de la chaleur et de la pression, et sous atmosphère contrôlée en oxygène

TRL (Technology Readiness Level) : degré de maturité attendu d'une technologie, compris entre 1 (concept basique avant travaux de recherche) et 9 (technique commercialisée)

UNITÉ PILOTE : installation industrielle de taille réduite visant à éprouver des technologies sur le terrain et dans des conditions d'exploitation réelles

VOIE LIQUIDE : procédé de méthanisation se déroulant à une siccité comprise entre 5 % et 15 %

VOIE SÈCHE (ou épaisse, pâteuse) : procédé de méthanisation se déroulant à une siccité comprise entre 20 et 35 %

LE SYCTOM ET LE SIAAP, DEUX OPÉRATEURS PUBLICS FRANCILIENS EN SYNERGIE

Le Syctom et le SIAAP sont au service du territoire le plus densément peuplé de France : l'agglomération parisienne. De par leurs missions, le traitement des déchets ménagers et des eaux usées, ils s'inscrivent pleinement dans l'économie circulaire francilienne et participent au développement d'une réflexion à grande échelle.



Le Syctom est le premier opérateur public européen de traitement et de valorisation des déchets ménagers, avec un territoire de près de 6 millions d'habitants soit la moitié de la population francilienne. Créé en 1984, il regroupe 85 communes, dont 82 communes de la Métropole du Grand Paris. Ces communes sont réparties sur 5 départements : Paris, Hauts-de-Seine, Seine-Saint-Denis, Val-de-Marne et Yvelines. Le Syctom a traité en 2018 plus de 2,3 millions de tonnes de Déchets ménagers et assimilés (DMA) dans ses installations de valorisation énergétique, de transfert et de tri.

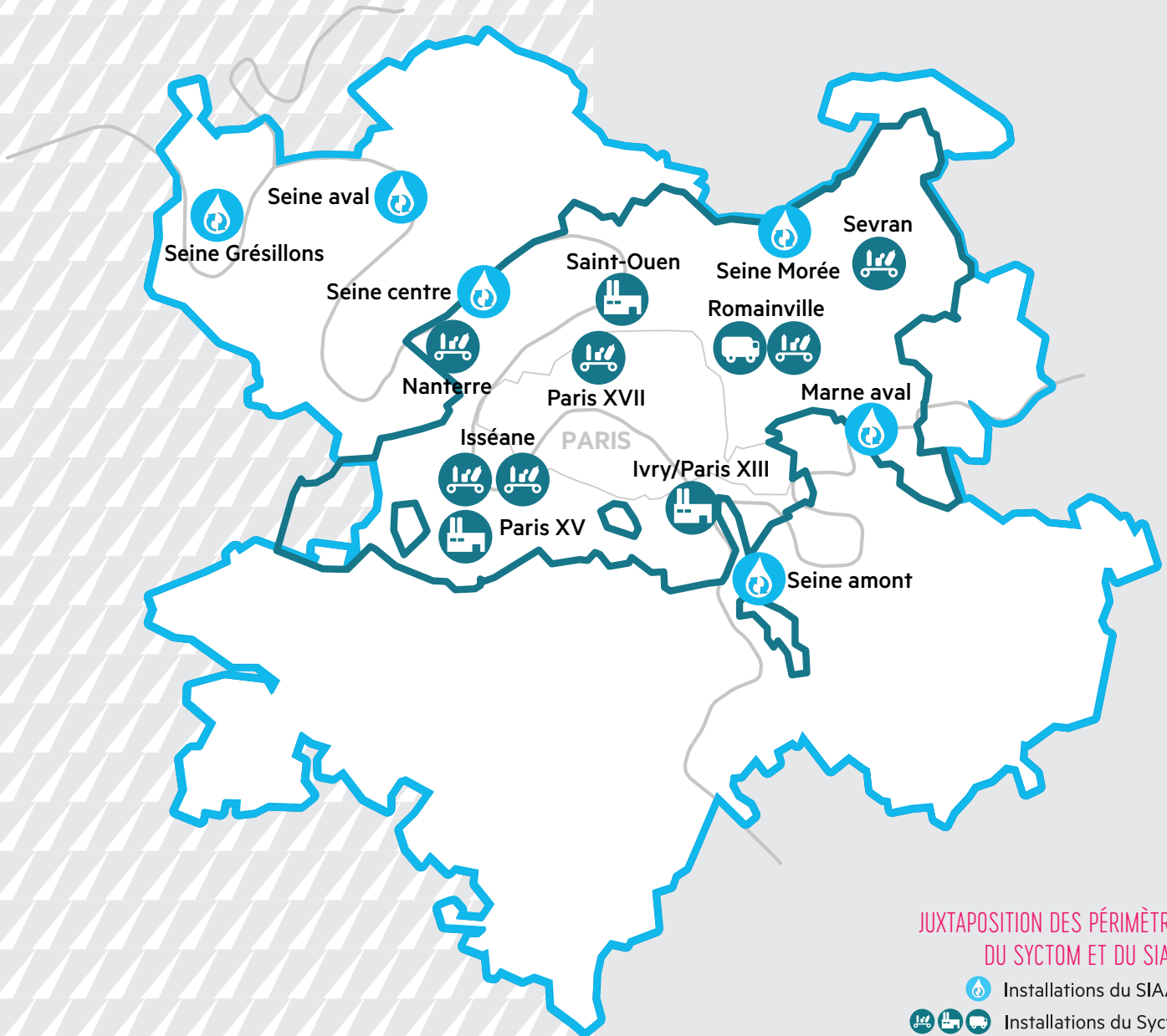
Dans un contexte de raréfaction des matières premières et de transition énergétique, tous ces déchets doivent être considérés comme des ressources. Un défi au quotidien pour le Syctom, toujours en quête d'innovations pour optimiser les performances de ses installations (hausse du rendement énergétique, amélioration des process de tri et de recyclage) et trouver des solutions au traitement des différents flux de déchets. Le Syctom participe ainsi à l'émergence d'un modèle plus vertueux et plus durable, l'économie circulaire, pour la transition écologique et la ville de demain.







Le SIAAP, Syndicat interdépartemental pour l'assainissement de l'agglomération parisienne, est l'acteur public de référence pour l'assainissement des eaux usées domestiques, industrielles et pluviales, au service de 9 millions d'habitants. Une fois transportées vers l'une de ses usines, tout au long d'un réseau de 440 kilomètres de canalisations, 2,3 millions de m³ d'eaux usées sont dépolluées, chaque jour, dans 6 usines de traitement des eaux usées, avant d'être rejetées dans la Seine et dans la Marne, en permettant le maintien du bon état écologique des eaux et la préservation de la biodiversité.

Acteur engagé pour l'environnement, le SIAAP réalise une mission d'intérêt général qui va au-delà du traitement des eaux usées : valorisation énergétique des sous-produits issus de l'épuration des eaux usées, protection des milieux naturels, anticipation des évolutions aussi bien climatiques que démographiques. Depuis 2016, le SIAAP a engagé un plan stratégique de long terme : « SIAAP 2030 : ensemble, construisons l'avenir », pour donner au SIAAP les moyens d'être toujours plus performant, grâce à l'optimisation de ses process, de son organisation et de son outil industriel.





JUXTAPOSITION DES PÉRIMÈTRES DU SYCTOM ET DU SIAAP

-  Installations du SIAAP
-  Installations du Syctom
-  Territoire du Syctom
-  Territoire du SIAAP

UN PROJET INÉDIT, UNE PROCÉDURE NOVATRICE

Le projet Cométhà est issu d'une volonté forte du Sycotom et du SIAAP de travailler ensemble pour imaginer des solutions techniques innovantes dans le choix des modes de traitement et de production d'énergies renouvelables ou de récupération. Au regard de leurs attentes en matière d'innovation, les deux opérateurs se sont engagés dans une procédure conçue pour favoriser l'émergence de solutions de rupture : le partenariat d'innovation.

Les raisons d'être

Le Sycotom et le SIAAP ont pour responsabilités respectives le traitement des déchets ménagers et assimilés et l'assainissement des eaux usées. Ces deux activités génèrent des déchets ultimes pour lesquels le retour au sol après valorisation matière devient de plus en plus complexe, quand il n'est pas proscrit :

>> la fraction organique résiduelle issue des ordures ménagères, qui persiste même après la mise en place

de la collecte séparée des biodéchets, et que le Sycotom envisage d'extraire au moyen d'installations de tri-préparation (pour réduire les tonnages envoyés en incinération) ;

>> les boues des eaux usées, pour lesquelles les voies de valorisation matière historiquement privilégiées (l'épandage et le compostage) présentent des difficultés croissantes, et pour lesquelles le SIAAP doit dès à présent anticiper de nouvelles contraintes.

Pour la gestion de ces déchets qui présentent un fort potentiel, et pour lesquels une solution de valorisation matière et énergétique durable doit être imaginée, le Sycotom et le SIAAP ont choisi de s'associer pour conduire un projet de cotraitement.

Le projet Cométhà doit ainsi répondre à plusieurs objectifs :

- >> concevoir une filière permettant de traiter un mélange inédit d'intrants ;
- >> maximiser la transformation de la matière organique, pour accroître la production de gaz renouvelable et minimiser le volume de sous-produits ;
- >> produire une énergie renouvelable et de récupération, afin de participer à la transition énergétique.



PRIORISER

Fraction
organique
résiduelle

INCLURE

Boues des
eaux usées

ÉTUDIER

Fumier
équin

ENVISAGER

Graisses



Une procédure favorisant la recherche, au service de l'action publique

En l'absence d'idées préconçues sur les filières de traitement à mettre en place et sur les technologies à utiliser, le Sycotm et le SIAAP ont souhaité solliciter les entreprises - grandes et petites, les laboratoires et les universités. Dans cette perspective, la procédure de partenariat d'innovation leur est apparue comme la plus adaptée pour répondre aux objectifs du projet Cométhra.

Cette procédure permet la création d'un cadre propice aux travaux de recherche et de développement, au bénéfice de tous :

- >> les groupements titulaires sont rémunérés pour leurs travaux, reçoivent les moyens nécessaires à leurs recherches et sont protégés en termes de propriété intellectuelle ;
- >> les maîtres d'ouvrage obtiennent un système de traitement sur mesure, inexistant à ce jour sur le marché, dans un délai raisonnable et sans remise en concurrence à l'issue des premières étapes de recherche et développement.

Le Sycotm et le SIAAP ont choisi de monter un partenariat d'innovation en plusieurs phases et comprenant plusieurs étapes de sélection.

en savoir **+**
sur les groupements
titulaires : pages 15 à 45

La Phase 1 en chiffres (mars 2018-août 2019)

15 LABORATOIRES
IMPLIQUÉS

90 RÉUNIONS
(400 HEURES)

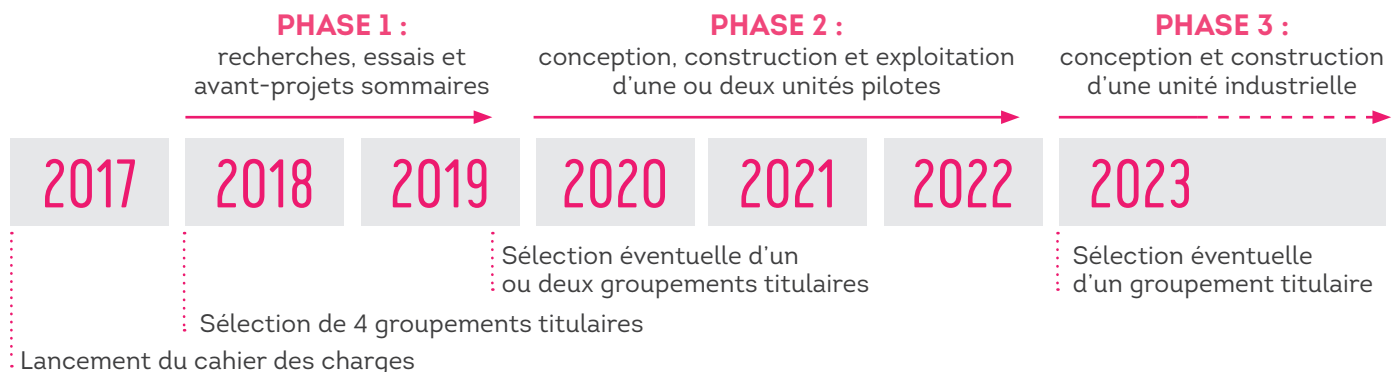
100 PERSONNES
IMPLIQUÉES

300 ESSAIS EN
LABORATOIRE

ENVIRON 50 ENSEMBLES FONCTIONNELS TESTÉS

PRÈS DE 20 TONNES D'INTRANTS
PRÉLEVÉS

12 CAMPAGNES
(6 TONNES DE FOR, 11 TONNES DE BOUES ET 2,3 TONNES DE FUMIER ÉQUIN)



PHASE 1 : PREMIERS ENSEIGNEMENTS

En cette fin de Phase 1, avant la sélection éventuelle d'un ou deux groupements titulaires, le Syctom et le SIAAP sont en mesure de tirer les premiers enseignements de la procédure du partenariat d'innovation et du projet Cométha. Le bilan est largement positif, à plusieurs niveaux.



De l'intérêt de la coopération des services publics

La coopération est un des 3 enjeux majeurs de l'Agenda 2030 de l'ONU. Le Syctom et le SIAAP, qui n'en sont pas à leur première collaboration, sont convaincus de l'utilité de mettre en commun savoir-faire, expertises, performances et projets. Le partenariat d'innovation a permis de renforcer la collaboration entre les deux opérateurs, au bénéfice des usagers et de la recherche.

Dans cet esprit de collaboration, le Syctom et le SIAAP souhaitent que les réflexions menées dans le cadre du partenariat d'innovation puissent profiter à l'ensemble des acteurs des filières de l'eau, de l'énergie et des déchets. Les prochains mois permettront de déterminer précisément les conditions de diffusion des savoirs issus du partenariat d'innovation sur le projet Cométha.



Le partenariat d'innovation, une procédure exigeante mais très enrichissante

Le partenariat d'innovation est une procédure très novatrice pour le Syctom et le SIAAP, plus habitués à des formes « classiques » de marchés publics. Le partenariat d'innovation constitue un dialogue ouvert, continu et itératif avec 4 groupements titulaires. La maîtrise d'ouvrage doit parvenir à

trouver un équilibre entre l'ouverture nécessaire à l'expression des idées et l'orientation des travaux vers les solutions les plus intéressantes à mettre en œuvre sur leurs territoires.

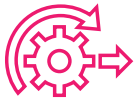
Cela représente une très belle opportunité de travailler avec des structures de plus petite taille, qui ne sont pas toujours en mesure d'accéder à la commande publique. À ce titre, le Syctom et le SIAAP se félicitent d'avoir échangé avec des groupements très différents et pluriels, ce qui a permis l'émergence d'approches diversifiées et de propositions très innovantes.

Le partenariat d'innovation constitue ainsi une réponse idéale à l'objectif de développement durable n° 17 de l'ONU, qui suggère « des partenariats efficaces entre les gouvernements, le secteur privé et la société civile », notamment pour les secteurs relatifs à l'énergie durable.

1+1=3 Une démonstration réussie pour la cométhanisation

La plupart des technologies choisies par les groupements titulaires sont connues mais les groupements titulaires ont travaillé à l'optimisation de ces technologies et l'ajout de procédés de pré-traitement des intrants afin d'améliorer leur potentiel méthanogène. Quand bien même tous les procédés de pré-traitement n'ont pas été retenus, le Syctom et le SIAAP ont pu recueillir de nombreuses informations relatives à l'exploitabilité de ces procédés.

Si la majeure partie des innovations ne porte pas sur la méthanisation, le Syctom et le SIAAP se félicitent de constater que la pertinence de la cométhanisation de la fraction organique résiduelle des déchets ménagers et des boues des eaux usées est démontrée : tous les groupements titulaires sont parvenus à dépasser les performances attendues. Il y a donc un réel intérêt à traiter ensemble ces intrants pour atteindre un bilan énergétique et environnemental très supérieur à celui atteint dans le cadre de filières séparées.



De nouvelles perspectives pour la valorisation du digestat issu de méthanisation

C'est en aval de la cométhanisation que la créativité des groupements titulaires a été la plus forte. Les différentes voies de traitement thermochimique du digestat ont été explorées : torréfaction, pyrolyse, carbonisation hydrothermale et gazéification.

Les recherches conduites et leurs résultats démontrent les immenses perspectives de ces traitements encore peu développés en France. Dans le cadre du projet Cométha, ils trouvent une place très intéressante dans une filière complète de traitement, puisqu'ils permettent :

- >> de maximiser la production de gaz, dont une large partie est valorisable ;
- >> de produire des résidus facilement valorisables, dans un volume minimisé ;
- >> d'atteindre l'équilibre énergétique de toute une filière.



Une occasion d'expérimenter et de faire progresser la méthanation

La méthanation, retenue par certains groupements titulaires trouve logiquement toute sa place dans les filières comprenant des procédés thermochimiques : elle permet de maximiser la production de gaz renouvelable à partir de gaz de synthèse.

La Phase 1 a été l'occasion d'étudier de façon approfondie ce procédé d'avenir, susceptible de constituer un des principaux vecteurs de la transition énergétique.



La récupération des nutriments

Les nutriments, dont le phosphore et l'azote, sont des éléments essentiels à la croissance des plantes. La fraction organique résiduelle comme les boues des eaux usées sont riches en phosphore et en azote et la récupération de ces nutriments constitue un objectif secondaire du partenariat d'innovation.

Il convient de rappeler que le phosphore provient exclusivement de ressources fossiles et que son recyclage constitue un défi environnemental à relever. En effet, la France ne dispose pas de sources primaires pour ces matières premières, dont l'approvisionnement est jugé critique.

Au cours de la Phase 1, les groupements titulaires ont développé et expérimenté de nombreuses technologies permettant de récupérer les nutriments.

Cependant, la réglementation constitue à ce jour un frein certain : les nutriments restent classés sous le statut de déchets et ne peuvent pas être utilisés librement, sans clarification de leur statut réglementaire pour favoriser une économie circulaire pour ces produits.

LES ACTEURS DU PARTENARIAT D'INNOVATION

Au-delà de la maîtrise d'ouvrage et des quatre groupements titulaires du partenariat d'innovation, le projet Cométhà mobilise de nombreux intervenants.



Syndicat Mixte d'Etudes et de Traitement des Déchets Ménagers et Assimilés



Unité de Tri-Méthanisation-Compostage

Un partenariat avec le SMET71 pour la fourniture de fraction organique résiduelle

Ne disposant pas encore d'installation produisant de la fraction organique résiduelle, le Sycotom et le SIAAP ont fait appel au SMET71, établissement public chargé du traitement des déchets des 360 000 habitants de l'est de la Saône-et-Loire et du sud de la Côte d'Or, soit 9 collectivités et 343 communes.

Pour leurs travaux de recherche, les groupements titulaires ont utilisé une fraction organique résiduelle issue de l'unité de tri-méthanisation-compostage du SMET71 à Chagny. Cette installation traite 73 000 tonnes d'ordures ménagères résiduelles chaque année, et produit environ 27 000 tonnes de compost et injecte 2,3 millions Nm³ de biométhane sur le réseau.

L'unité de tri-méthanisation-compostage du SMET71 à Chagny



© SMET71

L'assistance à maîtrise d'ouvrage

Pour conduire le partenariat d'innovation et bénéficier de conseils dans des domaines très précis et assez inédits pour eux, le Sycotom et le SIAAP sont entourés de plusieurs assistants à maîtrise d'ouvrage.

setec, société d'ingénierie française fondée en 1957, d'envergure nationale et internationale, regroupe plus de 2 400 collaborateurs en France et à l'étranger. Totalement indépendante, son capital est détenu par ses dirigeants et ses principaux ingénieurs. La vocation du groupe est le conseil, l'assistance à maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre dans le domaine de l'aménagement du territoire. La liberté apportée par son actionariat et sa clientèle sous-tend deux principes déontologiques du groupe : l'impartialité et l'indépendance du jugement. La société est organisée en filiales à l'échelle humaine qui favorisent la responsabilité et la motivation des équipes. Sur le partenariat d'innovation Cométhà, deux filiales de setec sont intervenues :

>> **setec énergie environnement**, spécialisée depuis plus de 35 ans dans les métiers de l'énergie et de l'environnement, intégrant la valorisation des déchets et la gestion environnementale des projets en milieu urbain. Sa stratégie repose sur l'innovation et sur une approche systémique entre l'énergie et l'environnement. La société associe ainsi une expertise pointue dans les grands projets pour proposer aux maîtres d'ouvrage une approche novatrice de leurs territoires et de leurs équipements ;

>> **setec hydratec** est un bureau d'études technique de 160 personnes œuvrant dans tous les domaines de l'ingénierie de l'eau : traitement des eaux, hydraulique urbaine, environnement industriel, hydraulique fluviale, hydraulique maritime, hydrogéologie, ressource en eau.

Sage Engineering est une société de conseil spécialisée depuis plus de 30 ans dans l'assistance à maîtrise d'ouvrage pour les collectivités locales. Spécialisée dans la gestion et la valorisation des déchets, elle développe avec ses clients un partenariat dans la durée, pour les accompagner à toutes les étapes de leurs projets. L'expertise de Sage Engineering est reconnue dans de nombreux domaines : collecte, tri, valorisation matière, organique, énergétique, CSR... Sage Engineering est totalement indépendante et n'intervient pas en tant que maître d'œuvre, lui permettant ainsi de conseiller ses clients uniquement dans leurs intérêts.

Sartorio Avocats assure l'assistance à maîtrise d'ouvrage juridique du projet Cométhà. Spécialiste de la sphère publique depuis près de 40 ans, Sartorio Avocats est une référence incontestable et incontournable en droit public, pour les acteurs privés et publics, en particulier pour les accompagner à l'occasion de leurs grands projets.

PARIMAGE est spécialisée dans l'accompagnement des projets d'infrastructures et d'équipements, notamment industriels, depuis leur genèse jusqu'à leur mise en service. L'agence assure une mission d'assistance à maîtrise d'ouvrage en concertation et communication sur le projet Cométhà.

En complément, le Sycotom et le SIAAP ont fait appel aux sociétés :

>> Be Leader Innovation, dirigée par Xavier Rataboul, spécialiste du Conseil en Propriété Industrielle, Mandataire Européen ;

>> Ecogeos, société d'expertise et de conseil appliqués aux installations et équipements, qui a réalisé les prélèvements d'intrants.

LES TÉMOINS DE LA JOURNÉE TECHNIQUE



Fabrice Béline
Directeur de Recherche
Irstea

Fabrice Béline est Directeur de Recherche en bioprocédés appliqués au traitement et à la valorisation des déchets et effluents organiques au centre Irstea de Rennes (France), au sein de l'unité de recherche « Optimisation des procédés en agriculture, agroalimentaire et environnement (OPAAL) ».

Titulaire d'un Doctorat de 3^e cycle en Agrochimie (1998) et d'une Habilitation à Diriger des Recherches en génie des procédés (2008), Fabrice Béline travaille depuis plus de 20 ans sur les procédés biologiques aérobies (épuration de l'azote) et anaérobies (méthanisation) pour le traitement et la valorisation des déchets et effluents d'élevage.



Fabien Esculier
Coordonnateur du programme
de recherche et action OCAP
et chercheur
LEESU, École des Ponts
ParisTech

Fabien Esculier est coordinateur du programme de recherche et action OCAP (Optimisation des cycles carbone, azote et phosphore en ville) et chercheur de l'École des Ponts ParisTech au Laboratoire eau, environnement et systèmes urbains (LEESU).

Ingénieur du corps des Ponts, des Eaux et des Forêts, Fabien Esculier a travaillé 6 ans pour différentes organisations dépendant du Ministère de la transition écologique et solidaire sur l'élaboration, la mise en œuvre et l'évaluation des politiques publiques de l'eau dans le bassin de la Seine (Service Navigation, Direction Régionale de l'Environnement, Agence de l'Eau).

en savoir  www.leesu.fr/ocapi



Anthony Mazzenga
*Directeur Gaz Renouvelables
GRTgaz*

Anthony Mazzenga est Directeur Gaz Renouvelables de GRTGaz, en charge de la supervision des projets de développement sur la méthanisation, la pyrogazéification, la gazéification hydrothermale et l'hydrogène dont le *power-to-gas*.

Anthony Mazzenga a occupé différents postes à la direction recherche et technologie et à la direction générale du groupe ENGIE ainsi qu'à GRDF. Il a notamment été en charge de la prospective et de la stratégie sur les gaz renouvelables. Anthony Mazzenga est ingénieur civil Mines ParisTech.



Dairo Ballestas Castro
*Coordinateur de Programme
« Nouveaux méthanes »
GRTgaz - Research and
Innovation Center for Energy*

Dairo Ballestas Castro coordonne le programme « nouveaux méthanes » du Research and Innovation Center for Energy (RICE). Il fait appel aux expertises clés pour préparer les réseaux à l'injection de ces gaz et gère les activités qualité et analyse, transverses à tout type de gaz présent sur l'ensemble des infrastructures gazières françaises (transport, distribution, stockage, GNL).

Dairo Ballestas Castro travaille en étroite collaboration avec les principaux opérateurs de réseaux français, appuyé par une équipe d'experts avec une forte présence à l'internationale. Il participe aussi au pilotage des projets R&D de GRTgaz autour de la pyrogazéification et de la méthanation.



SUEZ / ARKOLIA Énergies / ETIA

ÉDITORIAL

Pour les collectivités et les industriels, il est essentiel de gérer de façon optimale les ressources et de maîtriser l'impact des activités humaines sur l'environnement. Ces enjeux sont au cœur de la recherche & développement de SUEZ et de ses partenaires, ARKOLIA Énergies et ETIA.

Le projet de traitement commun des boues du SIAAP et de la FOr du Syctom est doublement motivant, de par son contenu à forte valeur environnementale et de par sa forme contractuelle, celle du partenariat d'innovation. Ce type de marché récent permet de tester, de développer et d'offrir la possibilité de construire une solution qui répond aux nouveaux enjeux des services publics.

Notre équipe s'engage aux côtés du Syctom et du SIAAP dans une collaboration féconde qui va bien au-delà du rendu d'une offre conforme à un cahier des charges. Le partenariat d'innovation enclenche une dynamique de co-construction au service d'une solution perfectionnée au fil des phases de recherche et développement et en fonction des expérimentations.

Notre regroupement - une alliance d'organismes publics, start-ups, PME, ETI et grand groupe - permet d'être plus novateur en combinant des approches plurielles technologiques ou industrielles, logistiques ou réglementaires, et en définissant des améliorations, au-delà du seul procédé de cométhanisation, sur toute la chaîne de traitement.

Conclure un partenariat d'innovation avec le Syctom et le SIAAP, c'est participer à la genèse d'une solution de cométhanisation pionnière, à la charnière de plusieurs mondes - traitement de l'eau, valorisation des déchets, production d'énergie et optimisation de la ressource - aux performances encore jamais atteintes, et unique en Europe. Ce projet permet de concevoir une filière structurante pour la transition énergétique et représente une formidable opportunité de développement durable des territoires.

UNE ÉQUIPE PARTAGEANT UN ADN COMMUN EN MATIÈRE D'INNOVATION, MOBILISÉE POUR UN PROJET EXEMPLAIRE

Grâce à son expérience des marchés publics et sa vision transverse des marchés de l'eau et des déchets, SUEZ a conçu une solution innovante, combinant ses procédés et ceux de ses partenaires, et a coordonné les essais réalisés afin de garantir leur cohérence. ARKOLIA Énergies et ETIA apportent leurs technologies de pointe pour proposer la filière globale la plus adaptée aux besoins du Syctom et du SIAAP.

SUEZ, un groupe engagé pour l'émergence de la filière méthanisation

Leader mondial dans la gestion intelligente et durable des ressources, SUEZ compte 89 000 collaborateurs et a réalisé un chiffre d'affaires de 17,3 milliards d'euros en 2018.

SUEZ exploite plus de 50 unités de méthanisation des boues de stations urbaines et 5 unités de méthanisation de déchets.

Le Groupe est engagé pour atteindre l'objectif national de 10 % de gaz vert injecté en 2030.

- >> 120 millions d'euros investis en R&D par an
- >> 3 laboratoires :
 - Le « METHA'Lab » dédié à la méthanisation et le « WASTE'Lab » pour le traitement et la valorisation des déchets, au Pecq (78)
 - Le « BioRessourceLab » consacré à la valorisation des déchets organiques biodégradables, en partenariat avec le laboratoire de Biotechnologie de l'environnement de l'INRA à Narbonne (11)

ARKOLIA Énergies : démocratiser les énergies renouvelables

Créée en 2009, ARKOLIA Énergies est spécialisée dans la construction, clé en main, de centrales de production électrique à partir d'énergies renouvelables (solaire, biogaz et éolien).

Avec 138 MW installés et plus de 1000 MW en portefeuille, ARKOLIA Énergies compte parmi les 10 premiers acteurs multi-énergies, français et indépendants.

Avec plus de 80 salariés, la société a réalisé un chiffre d'affaires de 55 millions d'euros en 2018.

- >> Arkométha®, première technologie française en méthanisation sélectionnée dans les Investissements d'Avenir
- >> 5 brevets déposés
- >> Plus de 4 millions d'euros investis sur 3 ans en R&D
- >> 3^e place au palmarès 2018 des inventeurs de la French Tech en Occitanie-Montpellier
- >> 2 laboratoires
- >> Lauréat du « Trophée Expobiogaz 2013 », de l'ADEME grâce au procédé de méthanisation Arkometha®

ETIA, des compétences pluridisciplinaires au service de l'économie circulaire

Fondé en 1989, le Groupe ETIA est spécialisé dans l'innovation technologique, les équipements et les procédés de traitement thermique en continu des produits vrac pour l'agro-industrie et la valorisation des biomasses résiduelles et des déchets en matières et en énergies renouvelables.

Avec 35 salariés le groupe ETIA réalise un chiffre d'affaires de 8,5 millions d'euros (dont 95 % à l'international).

- >> Labellisé BPI Excellence depuis 2010
- >> 68 brevets déposés
- >> ≈ 10% de chiffre d'affaires consacré à la R&D
- >> 1 laboratoire de recherche et développement, et des bureaux d'études experts en matière d'innovation technologique et de mise au point des procédés

NOTRE PROJET

L'ambition de la future unité de co-traitement du SIAAP et du Syctom : créer une boucle de valorisation à haute performance matière, énergétique et environnementale

Au cœur de l'économie circulaire, l'objectif du système de traitement à énergie positive que nous proposons est de produire du biométhane injectable dans le réseau et de valoriser l'azote entrant comme matière première secondaire.

Pour relever les enjeux de performance technique, environnementale et économique, nous avons initialement conçu une filière avec conversion thermochimique pour un traitement spécifique du fumier. Devant l'intérêt du couplage pyrolyse-méthanation testé dans la filière alternative, il a été décidé de fusionner les solutions « globale » et « alternative » dans une nouvelle filière utilisant les procédés phares de chacune des filières précédentes :

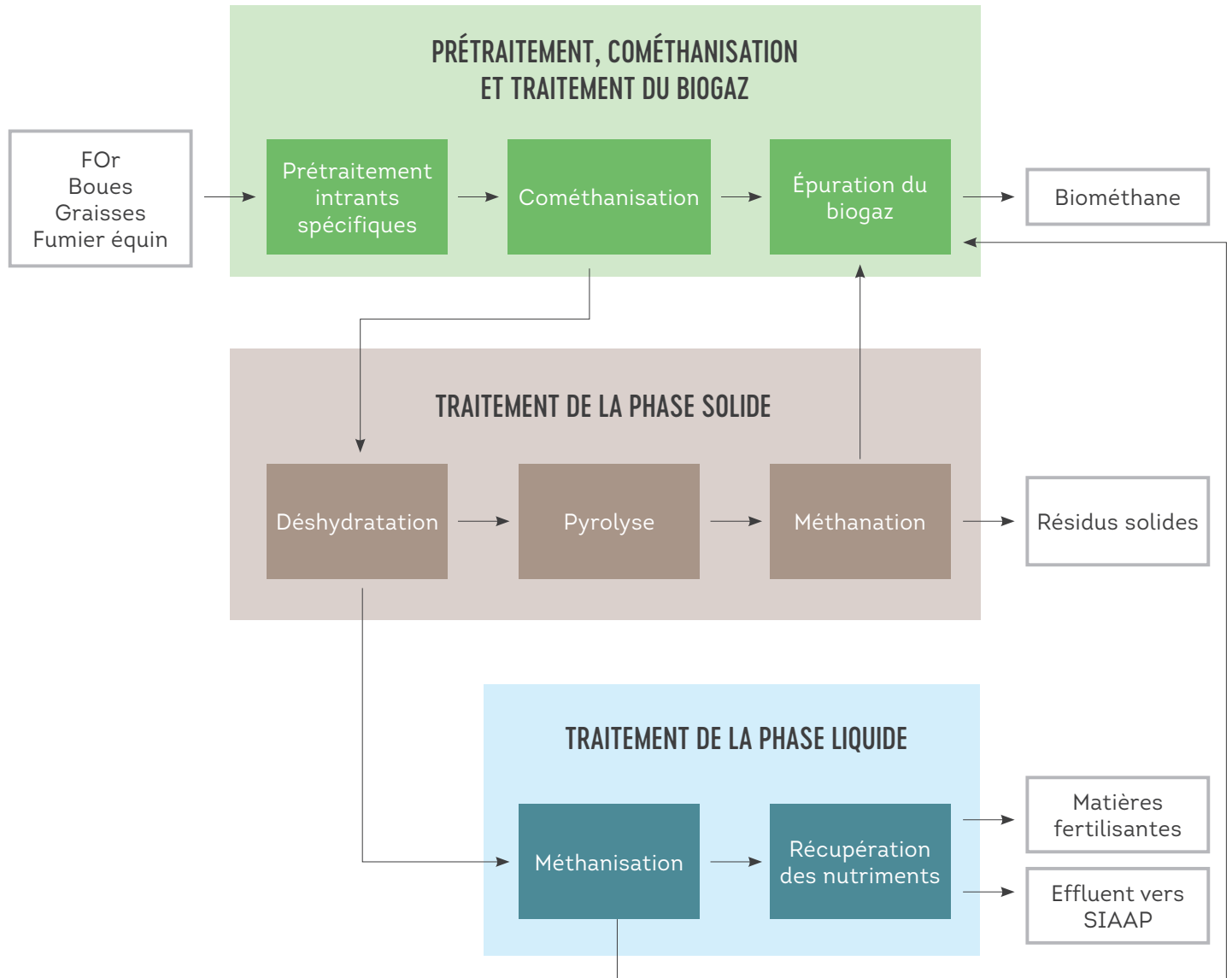
- >> un pré-traitement ciblé à certains intrants pour augmenter le taux de carbone dégradable dans la cométhanisation ;
- >> la cométhanisation de l'ensemble du gisement y compris le fumier dans l'Arkométha® développée par ARKOLIA Énergies, optimisée grâce à un fonctionnement piston multi-phases et une agitation par le biogaz maîtrisée et d'exploitation aisée ;

- >> la déshydratation poussée des digestats et une méthanisation spécifique des filtrats ;
- >> la valorisation de l'azote pour la fabrication d'engrais ;
- >> le traitement par pyrolyse pour encore valoriser une partie du carbone contenu dans l'ensemble des digestats solide sous forme de syngaz ;
- >> la méthanation biologique de ce syngaz pour produire plus de méthane.

Dépasser les rendements historiques de valorisation de la matière organique

Grâce à la combinaison judicieuse de technologies innovantes de conversion thermochimique et de traitements biologiques comme la méthanation, notre filière de traitement parvient à convertir en biogaz une partie difficilement accessible de la matière organique. C'est cet assemblage, pensé par SUEZ, qui permet d'augmenter significativement la production de biométhane et de parvenir à une valorisation maximale matière et énergétique de chaque intrant.

FILIÈRE RETENUE



OPTIMISER LA MÉTHANISATION POUR TRAITER UN MÉLANGE ORIGINAL D'INTRANT

Pendant la Phase 1, ARKOLIA Énergies a vérifié la compatibilité des intrants entre eux puis validé les process opératoires. Plusieurs étapes ont été nécessaires :

- >> caractérisations de la matière pour en déterminer sa composition et sa variabilité ;
- >> caractérisations du potentiel méthanogène pour connaître sa valeur énergétique ;

- >> essais d'hydrolyse biologique pour en déterminer l'impact sur les performances de la réaction ;
- >> essais sur des pilotes pour tester les mélanges en conditions réelles ;
- >> caractérisations rhéologiques pour maîtriser les conditions de transport et d'écoulement de la matière.

Ces tests ont permis de valider la fiabilité du système et d'optimiser la dégradation de la matière.

MAXIMISER LA PRODUCTION DE BIOGAZ GRÂCE À LA MÉTHANATION

La méthanation biologique développée par SUEZ permet de convertir une partie du carbone présent dans le syngaz issu de la pyrolyse en méthane. Elle permet ainsi de convertir une partie du carbone des digestats en biométhane et de limiter les rejets en CO_2 .

La biométhanation utilise 2 voies métaboliques de production du méthane :

- >> conversion du monoxyde de carbone (CO) en méthane (CH_4) ;
- >> conversion du dioxyde de carbone (CO_2) et de l'hydrogène (H_2) en méthane (CH_4).

Ces étapes biochimiques font partie des étapes intermédiaires de la méthanisation traditionnelle.

Elles sont appliquées ici au traitement du syngaz issu de la pyrolyse des digestats solides de cométhanisation. Les essais laboratoire réalisés en Phase 1 ont montré le bon fonctionnement de ce procédé. Sa mise en œuvre dans un réacteur membranaire à fibre creuse permet d'optimiser la diffusion tout en fonctionnant à température et pression faibles et présente ainsi plusieurs avantages : compacité, modularité et durabilité.



COMPACTE

Grande surface de transfert
Biofilm comme biocatalyseur

MODULAIRE

Solution modulaire (cassettes standards)
Transfert du gaz par diffusion (vs. dispersion)

DURABLE

Pas de pièces mécaniques : maintenance limitée
Faible consommation d'énergie



↗
Installation de
pyrolyse - ETIA

↗
Unité de méthanisation en
voie épaisse Arkométha®
Napagèse -
ARKOLIA Énergies

↙
Installation
de traitement
thermochimique - SUEZ



Tilia / GICON France-Biogaz / DBFZ /
Fraunhofer IGB

ÉDITORIAL

Pour répondre aux objectifs d'innovation et de performance du partenariat d'innovation Cométha, Tilia a dès le départ fait le choix de former un groupement alliant d'une part le meilleur de la recherche européenne dans les domaines de la valorisation de la matière organique et d'autre part une expérience opérationnelle éprouvée dans la construction et l'opération d'unités de méthanisation et dans leur optimisation technique et économique. C'est ainsi qu'a vu le jour une véritable équipe franco-allemande qui s'est mobilisée pour concevoir une solution innovante et permettant d'atteindre des performances maximales au regard des objectifs fixés par le Sycotm et le SIAAP.

NOTRE GROUPEMENT



Cette entreprise franco-allemande, fondée et dirigée par deux Français, Cyril Roger-Lacan et Christophe Hug, déploie aujourd'hui dans 20 pays, avec plus de 150 collaborateurs appuyés par un large réseau mondial d'experts, un savoir-faire de transformation des grands services publics environnementaux, dans un cadre de partenariat qui vise d'abord le renforcement de ses partenaires et clients publics. Son modèle fondamental est donc très proche de celui du partenariat d'innovation.

En Île-de-France et dans le contexte particulier des défis environnementaux du Grand Paris, où s'inscrit le présent projet, Tilia conduit avec succès des projets phares tels que le développement par étapes successives du réseau de chaleur et de froid géothermique innovant du plateau de Saclay (contrat de 7 ans, 2013-2020 ; 50 millions d'euros d'investissement) ou le projet « SIAAP 2030 » de transformation stratégique et d'optimisation opérationnelle du SIAAP.

Ces projets témoignent de la capacité de Tilia à conduire des transformations innovantes et profondes dans de grandes organisations industrielles de services environnementaux et énergétiques complexes. D'autres territoires, tels le Grand Lyon, les Hauts-de-France, Berlin ou Hambourg bénéficient de sa compétence.

Tilia a également une capacité éprouvée à diriger de façon fructueuse des grands projets de coopération franco-allemande dans le domaine de l'énergie et de l'environnement. À titre d'exemple, les gouvernements français et allemand, puis la Commission Européenne en 2018, ont approuvé le projet copiloté, aux côtés d'Enedis et Innogy, par Tilia et Dena (Agence allemande de l'énergie), pour le développement d'une optimisation énergétique territoriale transfrontalière et d'un « smart grid » franco-allemand entre la Sarre et la région Grand Est sur le réseau basse tension (20 kV), dans lequel une vingtaine de grands industriels et organismes de recherche se sont engagés. Pour plusieurs autres projets, Tilia travaille en coopération étroite et concrète avec des chercheurs et des scientifiques, soit dans le cadre de programmes de recherche appliquée - tels que ceux qui sont inhérents à la récupération du phosphore - soit dans le cadre de projets opérationnels : des chercheurs du CEA ou de l'École des Mines de Paris ont ainsi rejoint les équipes de Tilia sur des projets de transition énergétique territoriale.

Tilia apporte donc au projet cette expérience unique de pilotage de projets complexes, et d'intégration de l'innovation dans une vision d'exploitation à long terme, performante et réaliste. Elle apporte également son expérience de première main d'un ensemble de sujets de valorisation énergétique de boues et de déchets, et notamment de méthanisation.



GICON et sa filiale française France Biogaz est l'un des leaders européens de la conception, de l'ingénierie et de la réalisation d'installations de biogaz à haute performance. Connue pour la fiabilité technico-économique de sa conduite de projets, l'entreprise a conçu et réalisé des installations dans ces contextes et avec des « mix » d'intrants variés, incluant diverses formes de déchets et des boues d'épuration. L'entreprise a parfaitement réussi le transfert des savoir-faire opérationnels et d'innovation accumulés en Allemagne du fait de l'importance et de la relative ancienneté de la part du secteur du biogaz dans la production d'énergies renouvelables. Le nombre de ses références en installations de méthanisation atteste de sa capacité à apporter au groupement un ensemble complet de compétences métier sur l'ensemble de la chaîne allant de l'ingénierie à la réalisation. Son expertise a d'ailleurs plusieurs fois été primée, notamment son projet Richmond au Canada, élu au top 100 des projets d'infrastructures innovants.

Le Deutsche Biomasse Forschung Zentrum

Le DBFZ est l'organisme de recherche appliquée et d'innovation leader mondial en matière de recherche sur la méthanisation et l'énergie provenant de la biomasse. Ses départements « systèmes de bioénergie », « conversion biochimique », « conversions thermochimiques » et « bioraffineries » emploient 140 collaborateurs. Le DBFZ a participé à un grand nombre de programmes de conception et de fiabilisation de projets innovants au cours des dernières années, avec une palette étendue de parties prenantes publiques et industrielles. Parmi les plus topiques, rappelons les nombreux projets portant sur l'amélioration des procédés de digestion anaérobie, la flexibilisation croissante de l'exploitation et l'exploitation efficace des flux, le comportement des micro-organismes,

l'optimisation des rendements énergétiques et des flux de résidus, les procédés hydrothermaux, et notamment la carbonisation hydrothermale, particulièrement en matière de boues d'épuration.

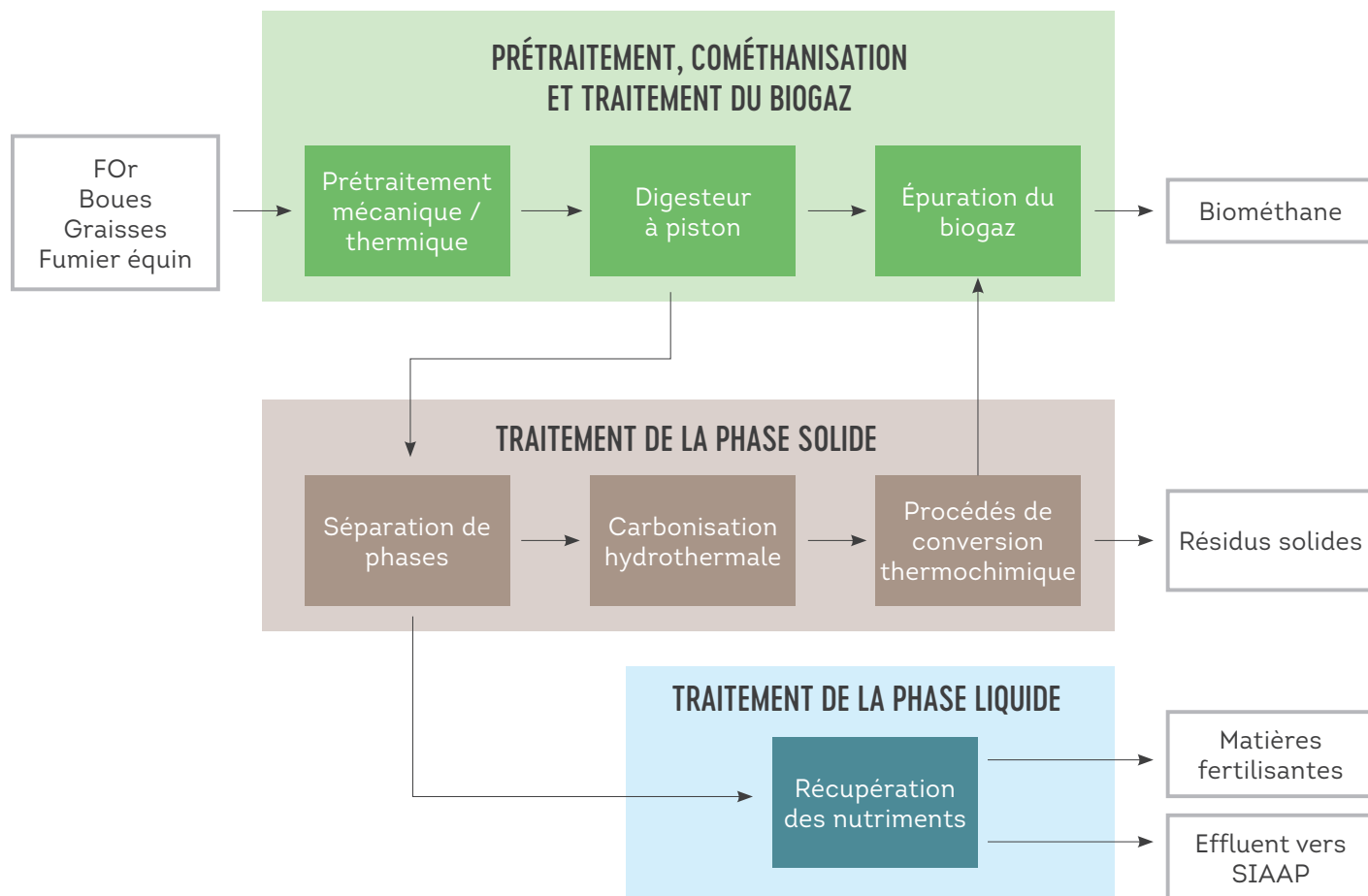
Ce savoir-faire unique au monde est particulièrement topique pour aborder un projet ambitieux et complexe comme le projet Cométhä, qui implique à la fois une capacité à comparer, sans *a priori*, des solutions variées, couvrant une palette très large, et à les articuler dans une filière complète construite « sur mesure », en optimisant leur combinaison et en sécurisant leur enchaînement. Aux compétences scientifiques rassemblées par le DBFZ, et effectivement mises au service du projet, s'ajoute une capitalisation d'expérience sur des prototypes et des exploitations industrielles sans équivalent. Le DBFZ travaille en effet en immersion dans le monde industriel et celui des services, et en partenariat avec les parties prenantes assez nombreuses - producteurs ou collecteurs de déchets de différentes natures, énergéticiens, autorités organisatrices, exploitants, utilisateurs de résidus notamment - qui convergent dans les procédés de méthanisation.



Ce savoir-faire est complété dans le groupement par celui de l'Institut Fraunhofer, organisme de recherche européen de référence en matière d'environnement et de transition énergétique territoriale, tant dans le domaine des sciences « dures » et des sciences du vivant, que dans celui des modèles économiques associés. À ce titre, il conduit à la fois des projets intégrant l'innovation technique et l'optimisation économique, tels le projet « Gobi » d'optimisation holistique de la chaîne de production du biogaz, et des projets plus ciblés sur des thèmes pertinents pour le projet Cométhä, telle la récupération du phosphore.

DESCRIPTION DE LA FILIÈRE DE TRAITEMENT

Grâce aux travaux de caractérisation des intrants et aux essais en laboratoire menés en Phase 1, nous avons pu affiner les valeurs prises comme hypothèses durant la phase de conception du système de traitement et faire un choix entre les différentes technologies pressenties initialement. La solution conçue nous permet ainsi de satisfaire aux objectifs fixés par le Sycptom et le SIAAP et d'atteindre un niveau de performance maximal.

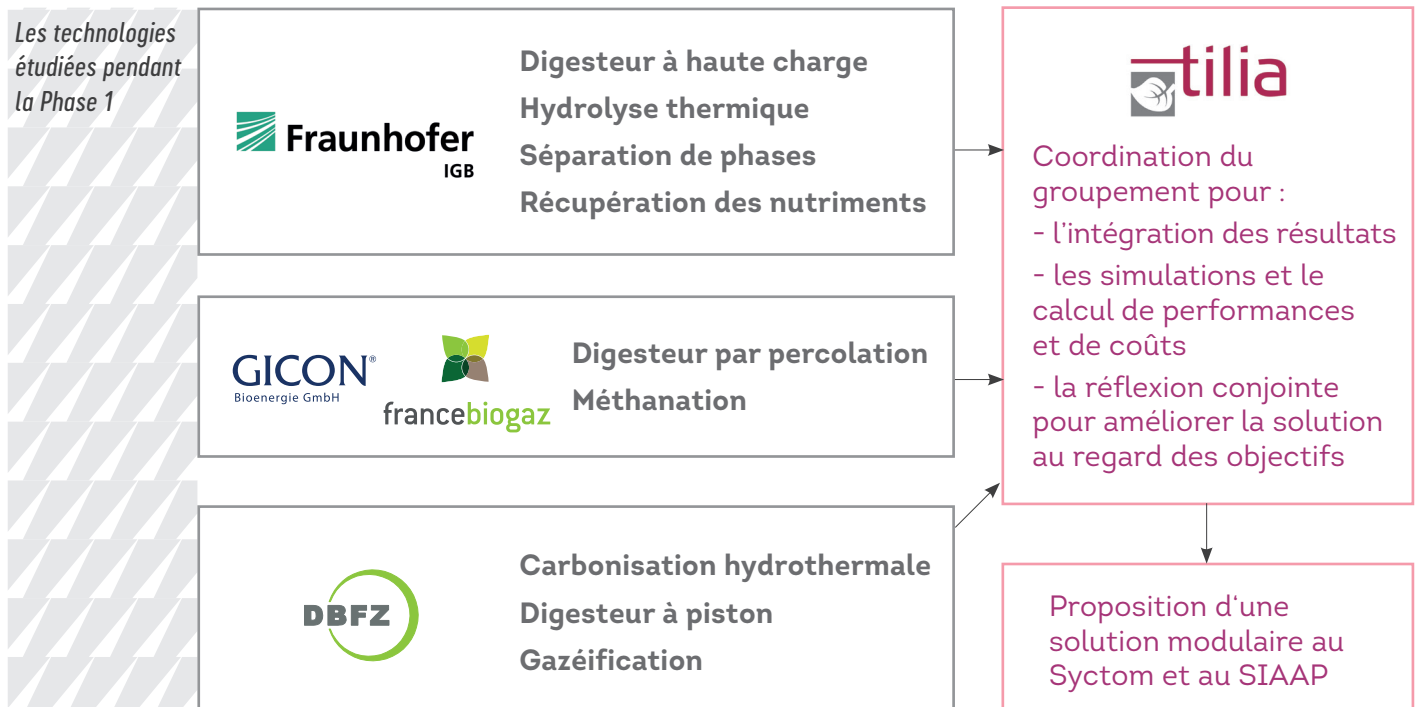


UNE SOLUTION MODULAIRE POUR RÉPONDRE AUX BESOINS DU SYCTOM ET DU SIAAP

L'unité pilote conçue en Phase 1 est composée de 18 modules reproduisant à échelle pilote le système de traitement tel qu'il pourrait se présenter à l'échelle industrielle. De plus, des mécanismes de by-pass ont été prévus afin de tester des combinaisons alternatives d'ensembles fonctionnels (par exemple pour la récupération des nutriments). Grâce à notre concept modulable, nous serons également en mesure d'étudier en conditions réelles certains ensembles fonctionnels fondamentalement innovants. Il s'agira de démontrer leur pertinence

technico-économique avant de valider leur mise en place à l'échelle industrielle (par exemple pour la gazéification). La conception de chaque module a été réalisée ou supervisée par un membre du groupement.

La Phase 1 a également été une phase de consultation de constructeurs potentiels et nous a permis d'identifier les fournisseurs des modules principaux (méthanisation, carbonisation hydrothermale et gazéification). Une consultation plus approfondie sera, le cas échéant, effectuée en début de Phase 2 pour garantir le choix des offres les plus pertinentes d'un point de vue économique et technique, ainsi que pour identifier les constructeurs des modules restants.



FOCUS SUR DEUX MODULES DE NOTRE FILIÈRE

Méthanation

Au regard des objectifs de performances fixés dans le cadre du partenariat d'innovation Cométha et plus précisément afin d'augmenter la production de méthane de notre système de traitement, nous avons choisi d'intégrer un module de méthanation à la fin de notre chaîne de traitement. Cet ensemble fonctionnel permet d'augmenter la teneur en méthane du gaz de synthèse produit par le processus de gazéification et donc la quantité totale de biométhane généré.

Le processus de méthanation est un processus de méthanation biologique avec un réacteur à lit de ruissellement qui transforme l'hydrogène et le dioxyde de carbone présents en méthane. Outre la production additionnelle de méthane, la conversion de l'hydrogène permet de limiter la concentration en hydrogène du gaz produit et donc de respecter les limites de concentration fixées pour une injection dans le réseau de gaz naturel. De plus, grâce à la méthanation, il est possible de valoriser une partie du dioxyde de carbone produit par la méthanisation des intrants et d'améliorer ainsi le bilan carbone global de notre solution.

Le réacteur prévu dans notre unité pilote est un conteneur en Polyester renforcé en fibres de verre (PRV) rempli de garnissages. Ces garnissages servent à augmenter la surface de contact et la fixation de la biomasse responsable du processus biologique. L'eau de traitement ruisselle continuellement pour humidifier le biofilm et lui fournir des nutriments. Le réacteur est gazéifié avec du gaz de synthèse à contre-courant du système de pulvérisation d'eau, lequel fonctionne avec une pompe à vis excentrique à partir d'un réservoir de stockage d'eau de process également utilisé pour le contrôle de la température du réacteur.



Unité de méthanation
GICON (volume 10 m³)

NOUS AVONS FAIT LE CHOIX DE LA MÉTHANATION POUR AUGMENTER LA QUANTITÉ TOTALE DE BIOMÉTHANE GÉNÉRÉ PAR NOTRE FILIÈRE

Récupération des nutriments

Les nutriments tels que l'azote (N), le phosphore (P), le potassium (K), le calcium (C) et le soufre (S) sont essentiels à tous les organismes vivants, en particulier les plantes. Ces nutriments sont donc les composants principaux des engrais végétaux, et par conséquent indispensables pour notre système d'approvisionnement alimentaire. Cependant, ces nutriments ne sont à l'heure actuelle que partiellement recyclés dans les agro-écosystèmes. En effet, la production industrielle des engrais minéraux est basée sur des matières premières non renouvelables. Le phosphore est un élément indispensable à la vie, qui ne peut être fabriqué, synthétisé ou remplacé par aucun autre élément. En revanche, l'azote est presque inépuisable dans l'atmosphère. Les engrais azotés sont synthétisés par le procédé Haber-Bosch, qui transforme l'azote gazeux de l'air en ammoniac (NH_3). Toutefois, la production d'ammoniac est fortement consommatrice en énergie (environ 2 % de la production mondiale¹) et est basée sur l'utilisation de gaz naturel non renouvelable (environ 5 % de la production mondiale de gaz naturel¹). Le coût de ces engrais augmente donc en corrélation avec la hausse constante des coûts de l'énergie.

Paradoxalement, alors que nous manquons de matières premières pour la production d'engrais, de grandes quantités de nutriments sont éliminées par le système de collecte des eaux usées. Le procédé standard dans la plupart des stations de traitement des eaux usées consiste à éliminer les composés azotés contenus dans les eaux usées, tels que l'ammonium (NH_4^+) et le nitrate (NO_3^-), par un procédé de nitrification/dénitrification. Durant ce processus énergivore, les composés azotés sont convertis en azote gazeux qui s'échappe dans l'air.

Le phosphate est quant à lui éliminé par précipitation chimique avec des sels d'aluminium ou de fer. Les phosphates d'aluminium et de fer ne peuvent cependant pas être utilisés comme engrais parce qu'ils ne sont pas absorbés par les végétaux.

Avec l'objectif de trouver des méthodes alternatives et innovantes aux procédés actuels de traitement des nutriments, trois méthodes principales ont été étudiées dans le cadre du projet Cométhà :

>> **ePhos® (récupération du phosphore)** : la précipitation électrochimique du phosphore s'effectue dans une cellule d'électrolyse. Une fois que les ions Mg^{2+} sont dissous, ils réagissent avec le phosphore et l'azote contenus dans l'eau pour former des sels utilisables dans la production d'engrais ;

>> **précipitation chimique (récupération du phosphore)** : contrairement à ePhos®, la précipitation chimique humide du phosphore utilise une base pour augmenter le pH à un niveau où, par exemple, la struvite précipite mieux. En dosant le sel de magnésium, on ajoute le réactif manquant pour effectuer la précipitation ;

>> **AmmoRe (récupération de l'azote)** : avec cette technologie, l'ammonium est converti en azote et passe sous forme gazeuse dans une solution absorbante. La matière fertilisante qui en résulte est donc exempte de contaminants.

Les technologies de récupération du phosphore ont été comparées au cours de la Phase 1 et seront également testées à l'échelle pilote.

1. Smith, Barry E. (2002) Nitrogenase reveals its inner secrets, *Science* 297 (5587), pp. 1654-1655



VINCI Environnement / Naldeo /
CEA LITEN / INSA

TROIS ENTITÉS AUTOUR D'UN PARTENARIAT TRÈS INNOVANT

Tout au long de ce projet Cométha, notre ambition a été de pousser au maximum la valorisation des ressources urbaines. Une ambition fondée sur le fait que les ressources, quelles qu'elles soient, deviennent de plus en plus précieuses.

Sur le plan énergétique, grâce à l'association unique de deux technologies - une cométhanisation en digesteur Kompogas® suivie d'une gazéification en eau supercritique - la quasi-totalité du carbone est convertie pour maximiser la production de biométhane. Non seulement nous avons voulu exploiter au maximum le carbone présent dans les ressources, mais nous avons également voulu tirer parti du potentiel non-carboné de ces mêmes ressources. Outre la récupération de nutriments minéraux de valeur (comme l'azote), notre regard s'est aussi porté sur la production d'un gaz renouvelable hautement énergétique et porteur d'avenir : l'hydrogène. Ce gaz précieux est une des clés de la transition énergétique en raison de sa polyvalence et de son contenu énergétique.

Notre solution propose donc d'exploiter toutes les fractions de ces ressources, qu'elles soient carbonées ou non, organique ou minérale.

Notre philosophie et les objectifs qui en découlent ont animé notre démarche lors des différentes étapes d'innovations et recherches. D'abord, une équipe multidisciplinaire, regroupant industriels, laboratoires de recherche, bureaux d'études mais surtout des hommes et des femmes, ingénieurs, scientifiques, chercheurs et experts. Faire travailler ensemble une diversité de compétences et de profils pour faire foisonner l'innovation et les idées, tel a été le premier acte du groupement. Une fois réunies, nos équipes ont donc travaillé activement depuis maintenant

18 mois : études, caractérisations, essais laboratoires, simulations, rapports d'étapes, difficultés rencontrées et surmontées, l'année 2019 a été productive et intense.

Notre équipe arrive désormais à la fin de la Phase 1, avec la conviction d'avoir levé les principaux verrous technologiques permettant d'engager la suite, à savoir la construction d'un véritable pilote industriel, la première concrétisation de nos ambitions.

La Phase 1 de ce partenariat d'innovation a été une opportunité unique pour valoriser les savoir-faire techniques français tout en développant une solution d'avenir pour la transformation en gaz renouvelables des ressources urbaines des collectivités. Nous restons à la disposition du Sycotom et du SIAAP pour poursuivre ce travail entamé, avec la même conviction que nous œuvrons ensemble pour les solutions de demain.

NOTRE GROUPEMENT



VINCI-Environnement intervient depuis 20 ans dans l'ingénierie du traitement des déchets et des fumées et apporte aux opérateurs publics et privés son expertise unique de concepteur-constructeur pour réaliser des unités de traitement parfaitement adaptées à leurs attentes.

VINCI-Environnement possède un savoir-faire reconnu en tri et préparation des déchets, stabilisation biologique, élaboration du compost et affinage, bio-méthanisation. VINCI-Environnement développe aussi des procédés éprouvés : BRS® (pré-fermentation en bioréacteur), ECOSILO, ECOTUNNEL... et développe la licence exclusive d'exploitation sur le territoire français du procédé de méthanisation KOMPOGAS®. Les procédés de traitement biologique proposés par VINCI-Environnement

bénéficient d'une évolution constante grâce aux retours d'expérience émanant de nombreuses réalisations tant en France qu'à l'étranger.



Le bureau d'études Naldeo a été créé il y a plus de 50 ans sous le nom de Beture. Attachée à la Caisse des Dépôts et Consignations, la société sera ensuite intégrée en 2001 au groupe Pöyry. La société prend son indépendance en 2012 sous l'action de son dirigeant historique Didier Carron, avec l'appui du fonds d'investissement Demeter (leader européen du capital investissement pour la transition énergétique) et de salariés de la société.

Naldeo dispose des compétences et des moyens techniques pour être solidement présent dans les domaines tels que l'eau, l'énergie, les déchets, l'environnement et l'aménagement urbain. Dans tous ces différents domaines, Naldeo dispose depuis de nombreuses années d'un grand savoir-faire spécifique et de nombreuses références.



Le CEA est un organisme public de recherche intervenant dans quatre domaines : la défense et la sécurité, les énergies bas carbone, la recherche technologique pour l'industrie et la recherche fondamentale. S'appuyant sur une capacité d'expertise reconnue, le CEA participe à des projets en collaboration avec de nombreux partenaires publics et privés. Fort de ses 20 000 chercheurs et collaborateurs, le CEA est un acteur majeur européen dans le domaine de la recherche.

Le CEA LITEN (Laboratoire d'innovation pour les technologies des énergies nouvelles et les nanomatériaux) est l'institut du CEA dédié aux nouvelles technologies de l'énergie. Les principaux axes de recherche s'orientent

vers les énergies renouvelables dont la valorisation de la biomasse et des déchets, le stockage d'énergie, l'efficacité énergétique, et le déploiement de solutions de mobilité hydrogène.

Les autres partenaires

François Cayrol (BIO'LOGIC) est intervenu pour le compte de VINCI-Environnement en tant qu'expert indépendant.

Le laboratoire DEEP de l'INSA de Lyon (Déchets, Eaux, Environnement et Pollutions) développe ses recherches en sciences de l'ingénieur à partir de questions environnementales concrètes concernant les milieux urbains et industriels. DEEP produit des connaissances, des méthodes et des outils permettant une intervention active sur l'environnement, dans le but de conserver ou de retrouver un bon état écologique pour un milieu donné ou de développer des procédés pour la dépollution ou la récupération des ressources.

PROVADEMSE est une plateforme dédiée au développement des écotechnologies. À l'interface entre travaux de recherche et industrialisation, PROVADEMSE réalise des études et essais, de l'échelle du laboratoire à l'échelle pilote, dans le domaine de la gestion et de la valorisation des déchets, des effluents liquides et gazeux et du traitement des sols et des sédiments.

L'équipe SYMBIOSE du TBI (Toulouse Biotechnology Institute) de l'INSA de Toulouse - laboratoire de référence (triple tutelle INSA, INRA et CNRS) dans le domaine de la biotechnologie - se concentre sur l'élimination et la valorisation des déchets urbains et industriels avec pour objectifs la réduction de l'impact environnemental, la valorisation et la production de molécules bio-sourcées à partir de la valorisation du carbone et des nutriments (azote et phosphore notamment) et la maîtrise des risques sanitaires liés aux micropolluants et bio-contaminants.

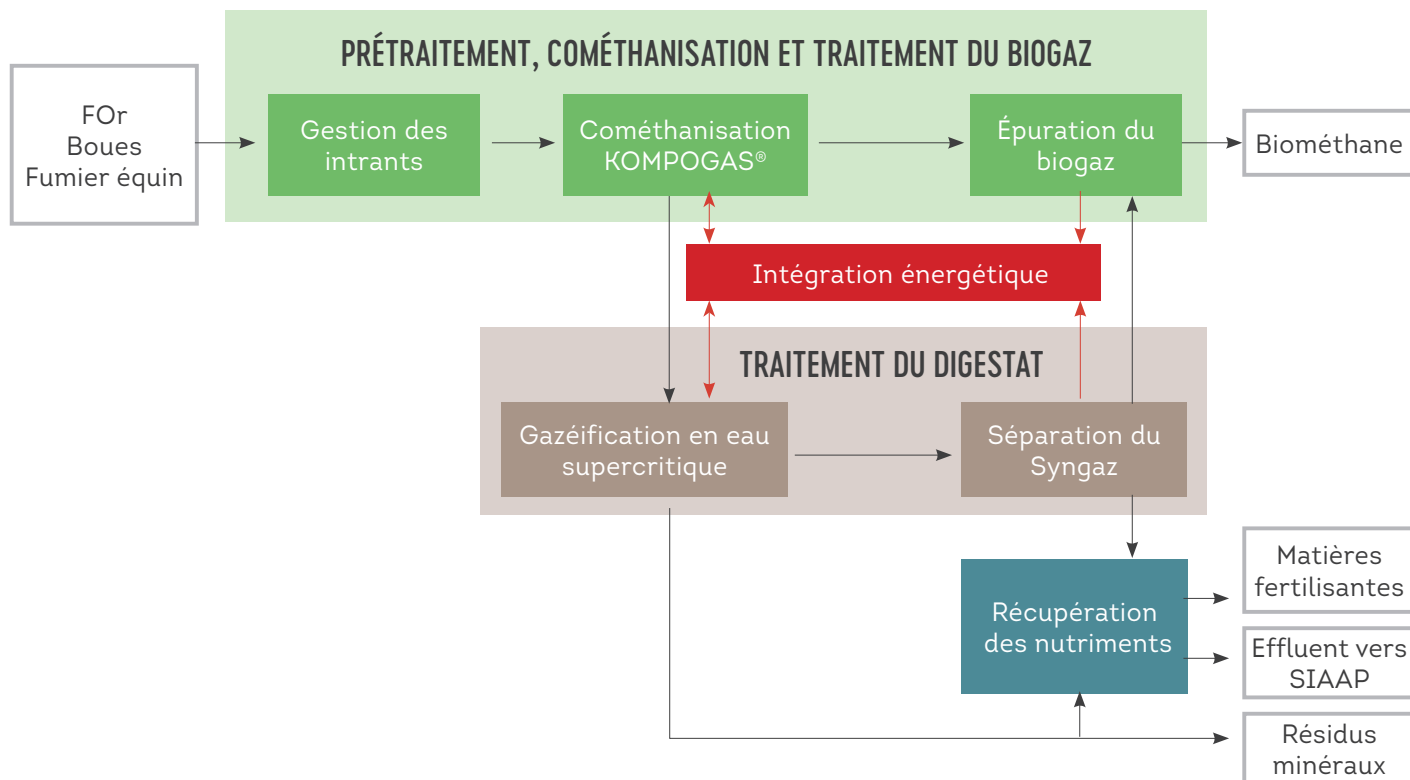
LA FILIÈRE

Notre première étape a consisté à s'appropriier les intrants, en les caractérisant et en les étudiant, pour aboutir à un mélange d'intrants le plus adapté possible afin de satisfaire nos contraintes et de servir nos objectifs de performances énergétiques et de conversion du carbone en gaz. Ensuite, avec la mise en œuvre du protocole expérimental, l'ensemble de notre conception théorique initiale a été mis à l'épreuve de la réalité du terrain expérimental. Cela nous a permis non seulement de consolider nos connaissances mais également de réorienter nos choix afin de proposer non plus des briques technologiques mises les unes à la suite des autres mais une solution technique pertinente, réfléchie et intégrée où chaque étape sert la suivante.

Le pré-traitement

Les premiers essais ont démontré que le prétraitement du mix d'intrants par ultrasons n'était pas performant au regard des résultats escomptés. Notre filière a été simplifiée, sans impact sur son efficacité et ses performances.

Dans la filière de traitement, chacun des produits est réceptionné isolément, puis préparé avant d'être mélangé à un autre ou d'autres produits. Chaque type de préparation nécessite cependant quelques ajustements de paramètres au regard des proportions considérées (contrôle de la matière sèche d'introduction, densité apparente...).



La méthanisation

Sur la base des connaissances accumulées tout au long de la Phase 1 et plus particulièrement grâce aux informations apportées par les tests menés au cours de la phase d'expérimentation, aucun verrou technique n'a été identifié. Les essais ont démontré une faisabilité avérée de notre technologie de méthanisation, moyennant quelques adaptations.

Jusqu'à présent, le procédé classique, pour un digesteur KOMPOGAS®, consiste à ajouter aux déchets entrant en digesteur les jus de presses issus de la déshydratation du digestat, pour atteindre une siccité de mélange adaptée, en tête de digesteur. Au regard des objectifs du projet Cométha, il a été décidé de s'affranchir de cette étape de déshydratation et de tirer profit de la mise à disposition de boues des eaux usées. Ceci permet d'une part d'atteindre la siccité nécessaire à l'introduction dans le digesteur, tout en limitant la production d'effluents chargés non valorisables, et d'autre part d'augmenter la performance globale de la digestion en introduisant des boues méthanogènes.

Ainsi, la robustesse éprouvée, la modularité et la stabilité de fonctionnement des digesteurs KOMPOGAS® en font un socle idéal pour développer une filière innovante dédiée au traitement d'intrants variés, produits rhéologiquement différents et habituellement traités par des filières séparées.

“ LA PHASE 1, UNE OCCASION DE RÉORIENTER NOS CHOIX POUR PROPOSER UNE SOLUTION TECHNIQUE PERTINENTE, RÉFLÉCHIE ET EFFICACE OÙ CHAQUE ÉTAPE SERT LA SUIVANTE

”

La gazéification en eau supercritique

Cet ensemble fonctionnel est l'innovation majeure de l'unité pilote que nous proposons. Il consiste à valoriser le digestat issu de la cométhanisation pour le transformer en un mélange gazeux présentant un intérêt énergétique, appelé syngaz. Cette transformation thermo-chimique de la matière, à haute température et à haute pression, est appelée gazéification en eau supercritique. Bien que les performances dépendent de la ressource humide à valoriser, la gazéification en eau supercritique a la capacité de traiter des ressources très différentes, ce qui en fait un atout au vu de la variabilité anticipée du digestat issu de la cométhanisation.

Récupération des nutriments (azote) et des saumures dans les effluents issus de la gazéification

Du fait du caractère fortement innovant de notre solution, le principal défi était de mieux connaître les sous-produits générés par la gazéification afin de s'orienter vers une solution de valorisation adaptée. La Phase 1 a permis de caractériser les flux liquides issus du procédé de gazéification :

- >> un flux riche en sels et minéraux, riche en phosphore minéralisé, sur lesquels nous avons prévu de récupérer la phase solide ;
- >> un « effluent clair » riche en azote.

Pour ces deux flux liquides, des technologies ciblées et adaptées sont retenues dans notre filière.

FOCUS SUR LA GAZÉIFICATION EN EAU SUPERCRITIQUE

Le groupement a retenu le procédé de gazéification en eau supercritique pour valoriser la matière organique et l'énergie présente dans le digestat issu de la cométhanisation. Ce procédé en rupture, qui exploite les propriétés particulières de l'eau en conditions supercritiques, est une innovation pour valoriser des matrices complexes de déchets.



Le point critique de l'eau correspond à un couple de pression-température dont les valeurs sont de 221 bar et 374 °C. Au-delà de ce point, l'eau présente des propriétés de solubilisation des composés organiques, intermédiaires entre celles du gaz et du liquide, permettant des réactions en milieu homogène avec des cinétiques réactionnelles rapides. Un mélange gazeux, composé de H₂, CH₄, CO₂, CO, et autres hydrocarbures légers, est produit. Ces gaz, parfaitement solubles dans l'eau supercritique, forment un mélange monophasique. Les sels inorganiques, insolubles dans l'eau supercritique, précipitent et sont ensuite séparés.

Les avantages de ce procédé sont donc :

- >> un taux de conversion élevé du carbone organique en gaz à partir du digestat ;**
- >> la production d'un syngaz riche en CH₄ et H₂ ;**
- >> la précipitation des sels inorganiques présents en quantités significatives dans ces ressources.**

Le travail réalisé en Phase 1 a permis de faire progresser la maturité de cette technologie appliquée au digestat de la cométhanisation. Le niveau TRL est ainsi passé de 2 (« concept de la technologie formulé ») à 4 (« Validation en laboratoire de la technologie »). La conception du pilote a également permis de décrire la solution technique qui contribuera à atteindre un niveau TRL 6 (« Démonstration du procédé en environnement significatif ») dans le cadre de la Phase 2.

Innovation technologique au cœur de la valorisation du digestat

Pour l'intégration de la gazéification en eau supercritique dans une filière de traitement, 3 défis devaient être relevés :

- >> la préparation du digestat ;**
- >> l'intégration thermique et la récupération de chaleur ;**
- >> la gestion des sels et des inertes au sein du réacteur et en sortie du système.**

La solution développée permet de traiter directement le digestat, en limitant le recours à une dilution à l'eau consommatrice de ressource ou à un séchage consommateur d'énergie. Opérer la gazéification à un niveau de dilution en eau moins élevé qu'initialement envisagé permet également de favoriser la production de CH₄ par rapport à celle d'H₂.

Le dimensionnement des deux réacteurs-échangeurs nécessaires à la GESG a été réalisé de manière à assurer les transferts thermiques nécessaires, une récupération de chaleur importante et un temps de séjour dans la zone réactionnelle à haute température, permettant une conversion de la matière organique en syngaz élevée. En sortie des deux échangeurs-réacteurs, une séparation de phases en deux étages (séparateur haute pression

puis séparateur basse pression), profitant des conditions opératoires de pression et de températures élevées, permet facilement d'isoler la part valorisable énergétiquement du flux de sortie (mélange gazeux composé de CH_4 , H_2 et CO_2).

Un effluent riche en sels et minéraux (appelé saumure), un flux liquide (effluent clair) et un flux gazeux composé principalement de CO_2 sont récupérés en sortie de cet ensemble fonctionnel. Les saumures et les effluents clairs sont ensuite traités. Le flux gazeux composé principalement de CO_2 est quant à lui transféré vers le réacteur de méthanisation ou l'unité de traitement des gaz.

FOCUS SUR LA VALORISATION DES SOUS-PRODUITS

Les bilans matière réalisés au cours de la Phase 1 ont montré que les nutriments d'intérêt à savoir le phosphate et l'ammonium se concentrent respectivement dans la saumure et dans le condensat (80 % de l'ammonium). L'objectif est également de récupérer les sables, potentiellement valorisables en construction.

Afin de valoriser cet azote, et de ne pas reporter la charge du traitement sur une autre installation, la solution envisagée est un traitement des condensats et des effluents résiduels des saumures (tri sur un classificateur de sables et filtre-presse) par un procédé innovant d'extraction, de concentration et de conditionnement : la chimio-sorption transmembranaire (TMCS). Cette technique s'apparente à un procédé de stripping mais contrairement aux techniques séparatives couramment employées en industrie (stripping à la vapeur, évapo-concentration), elle fonctionne à basse température (< 70 °C) et est plus compacte.

Le procédé TMCS intègre deux étapes :

- >> un étage amont de stripping du CO_2 , qui libère de l'alcalinité favorisant la forme NH_3 (par rapport à la forme NH_4^+). Il est possible d'ajouter de la soude pour compléter l'alcalinité si nécessaire ;
- >> un étage de filtration sélective de NH_3 par un passage en phase gaz, sur des membranes dédiées, puis une récupération du NH_3 transféré dans une solution d'acide sulfurique afin de produire une solution finale de sulfate d'ammonium valorisable (engrais).

La faisabilité de cette technologie a été éprouvée à l'échelle industrielle, essentiellement sur des digestats issus de digesteur de boues de station d'épuration avec des rendements d'extraction supérieurs à 80 %. Le produit final obtenu est le sulfate d'ammonium dont la concentration atteint 250 g/L.

Grâce aux analyses effectuées sur les résidus obtenus lors des essais de gazéification en eau supercritique, l'INSA a pu simuler des scénarios sur la base de ses connaissances acquises sur d'autres fluides comparables dans le cadre de programmes de recherche spécifiques. Ces calculs ont consisté à faire varier les facteurs clé d'optimisation (pH, temps de séjour, température...) pour démontrer la pertinence de la solution appliquée aux condensats.



John Cockerill / Sources /
UniLaSalle / UTC

ÉDITORIAL

Après plus d'un an et demi de recherche et d'essais, notre groupement est arrivé à un tournant, celui du passage de la phase de recherche à la phase de développement. Tout au long de ces dix-huit mois, notre groupement s'est mobilisé autour de ce projet commun. Nous avons travaillé quotidiennement au développement de synergies entre le monde industriel et le monde académique. En effet, le projet Cométha fut une réelle opportunité pour élaborer une solution technique alliant l'expertise académique et l'expérience de groupes industriels. De cet échange et de ce partage a émergé une filière plus mature que celle initialement envisagée et qui peut aujourd'hui être testée à un stade semi-industriel afin de pouvoir se lancer dans la mise en œuvre d'une solution innovante de valorisation de la matière organique, créatrice d'énergie et de produits valorisables.

NOTRE GROUPEMENT

Des partenaires industriels...

Animé depuis 1817 par l'esprit d'entreprendre et la soif d'innover de son fondateur, le **Groupe John Cockerill** (anciennement CMI) met au point des solutions technologiques à grande échelle pour répondre aux besoins de son temps : préserver les ressources naturelles, contribuer à une mobilité plus verte, produire de manière durable, combattre l'insécurité et faciliter l'accès à l'énergie renouvelable. Son offre aux entreprises, aux États et aux collectivités se matérialise en services et équipements associés pour les secteurs de l'énergie, de la défense, de l'industrie, de l'environnement, des transports et des infrastructures.

John Cockerill Proserpol, membre du Groupe John Cockerill, assure le rôle de mandataire du groupement de compétences et apporte son expertise dans le domaine du traitement de l'eau et des déchets, acquise par la construction et l'exploitation d'installations clés en main en France et à l'international (unité de méthanisation au Pakistan notamment, 2 500 000 EH). Outre les compétences directement liées à la gestion de projets clés en main, John Cockerill Proserpol s'appuie sur les compétences techniques développées au travers des

filiales du Groupe John Cockerill (The Nesa Solution®, John Cockerill Europe Environnement) pour apporter des réponses adaptées aux challenges techniques soulevés par ce partenariat d'innovation.

Sources, est une société indépendante qui est aujourd'hui dans le top 5 des constructeurs français d'usines de traitement des eaux. Vingt ans après sa création, Sources gère simultanément, chaque année, 25 chantiers de construction, sur l'ensemble des régions françaises et à l'export, pour un écoulement annuel de travaux d'environ 40 M€. La construction d'unités de dépollution des eaux de grande envergure (qualification Synteau à 150 000 EH), valorisant les boues notamment par méthanisation (STEP de Bonneuil en France, 550 000 EH ; STEP de Sabarèges, 116 700 EH ; Cantinoles, 62 500 EH) lui a permis d'acquérir une véritable expertise dans ce domaine. L'innovation est également au cœur de l'ADN de Sources. Ainsi, au-delà des brevets appliqués à l'environnement déposés chaque année, Sources intègre des technologies innovantes dans de nombreux projets, comme la digestion multi-étagée ou encore le procédé Nereda®. Cette maîtrise réelle et reconnue de Sources en tant que constructeur, associée à sa volonté continue d'innover, assurera une vision précise et adaptée de la conception de notre projet dans le cadre de ce partenariat d'innovation.

...travaillant de concert avec des partenaires académiques de renom...

UniLaSalle Beauvais se présente aujourd'hui comme l'une des plus grandes écoles d'ingénieurs agronomes en France, labellisée EESPIG (Enseignement supérieur privé d'intérêt général). Créée en 1854 et employant 280 salariés dont 120 enseignant-chercheurs, ses domaines de compétence sont les agro-ressources, les sciences agronomiques et animales, les sciences et techniques agro-industrielles, l'agroalimentaire et la nutrition, les géosciences et l'environnement.

L'Université de Technologie de Compiègne (UTC), établissement public à caractère scientifique, culturel et professionnel, a été créée en 1972 pour être une université expérimentale. Son équipe de 330 enseignants forme des ingénieurs, masters et docteurs. L'UTC s'est forgée une culture fondée sur le pragmatisme, l'efficacité et la prise de responsabilités.

L'équipe TIMR « Transformations Intégrées de la Matière Renouvelable », a initié dès 2008 avec l'Institut Polytechnique UniLaSalle Beauvais, le développement d'un centre de compétences sur la « Biodégradabilité de la Matière Organique ». L'expertise développée depuis 2008 lors des projets précédents de recherche menés conjointement dans le domaine de la méthanisation et de la valorisation des coproduits agro-industriels, se traduisant entre autres par des publications en commun et des co-encadrements de thèse, fait que les différentes équipes TIMR se complètent parfaitement pour mener à bien les travaux de recherche. Cette collaboration est structurée au travers d'une convention de **Groupement d'Intérêt Scientifique dénommé SOLIMÉTHA** depuis décembre 2016.

UniLaSalle et UTC sont impliqués dans la Commission Méthanisation, récemment renommée Biogaz, du Pôle de compétitivité mondial Industries & Agro-Ressources.



*Réacteurs pilotes
pour test labo*

Ils produisent conjointement des publications et des communications dans le domaine et sont membres de comités scientifiques d'événements en lien avec la méthanisation.

...et des partenaires spécialisés

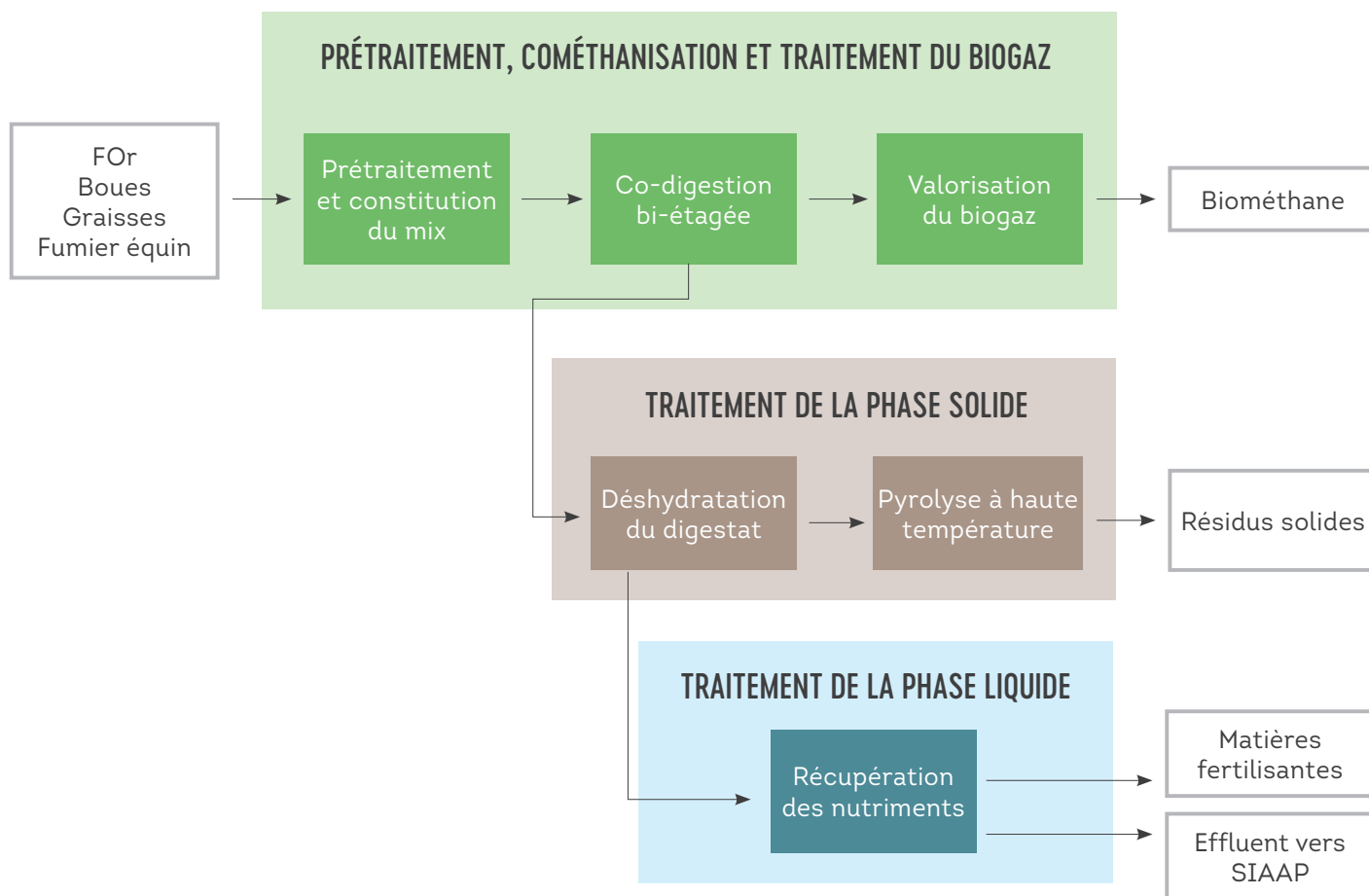
La société **Haarslev** fournira la compétence nécessaire à l'implémentation d'un **prétraitement thermique** permettant d'augmenter le rendement de l'unité de cométhanisation et de réduire la quantité de digestat produit.

Les entités **The Nesa Solution®** et **John Cockerill Europe Environnement** (filiales du Groupe John Cockerill), apporteront leurs expertises et savoir-faire respectifs. **The Nesa Solution®** conçoit et fournit des réacteurs à soles multiples «The Nesa Solution®» (MHF) et possède une expertise dans la conversion thermique de la biomasse. John Cockerill Europe Environnement est expert dans l'ingénierie, la ventilation plastique et le traitement de rejets gazeux corrosifs, nocifs et odorants. La solution de stripping portée par John Cockerill Europe Environnement consiste à trier les contaminants chimiques des eaux usées pour permettre leur valorisation.

UN GROUPEMENT ENGAGÉ POUR L'ÉMERGENCE D'UNE SOLUTION DE VALORISATION INNOVANTE

La solution technique développée par notre groupement s'est attachée à répondre à trois objectifs forts et porteurs de sens :

- >> optimiser le bilan énergétique ;
- >> rechercher une valorisation « produit » maximale ;
- >> réaliser une filière de traitement flexible et adaptable.



Prétraitement et constitution du mix : à la réception des intrants, ceux-ci sont broyés et mélangés. Des équipements spécifiques sont prévus afin d'assurer un mélange optimal entre les intrants liquides et solides et d'opérer un pré-traitement thermique.

Co-digestion bi-étagée : notre groupement prévoit de mettre en place une cométhanisation par digestion bi-étagée thermophile/mésophile. Cette orientation du procédé permet d'atteindre une forte dégradation de la matière organique ainsi qu'une augmentation des cinétiques de dégradation.

Valorisation biogaz : notre groupement prévoit la mise en œuvre d'une unité de valorisation du biogaz. Cet ensemble fonctionnel produira du biométhane respectant les spécifications pour l'injection sur le réseau.

Déshydratation du digestat : en sortie du réacteur de méthanisation, le digestat contient encore une forte proportion d'eau (environ 95 %). Afin de limiter les volumes à destination du traitement thermique, une étape de déshydratation mécanique sera mise en place pour amener la siccité du mélange aux alentours de 30 %. Le digestat déshydraté passera ensuite vers une étape de séchage afin d'augmenter sa siccité jusqu'à 85 % environ.

Traitement thermochimique : notre groupement a retenu la pyrolyse comme solution de référence pour ce projet. La pyrolyse permet de maximiser la valorisation du digestat séché. L'énergie produite assurera l'autonomie énergétique de l'installation.

Valorisation des nutriments : cette étape aura pour buts de récupérer et valoriser les nutriments présents dans l'effluent collecté après avoir déshydraté le digestat. La mise en place de ce procédé a été pensée de telle façon à minimiser la quantité de réactifs utilisés tout en gardant un rendement optimal permettant de diminuer de manière importante la charge des effluents renvoyés au SIAAP et surtout de récupérer les éléments précieux pour leur valeur agronomique.



Le groupement a pris le parti de faire de l'unité pilote un outil permettant de rayonner et d'exporter les technologies de valorisation développées. Une attention particulière a donc été prêtée à l'aspect esthétique et aux moyens de communication mis en œuvre afin que ce pilote soit, en plus d'un outil technique, une vraie vitrine des technologies permettant de relever les défis de notre société actuelle.

L'OPTIMISATION DE LA DIGESTION, CLÉ DE VOÛTE DU PROCÉDÉ DE VALORISATION

Le cocktail d'intrants proposé dans le cadre du partenariat d'innovation est original : il sort du cadre habituel rencontré pour des unités de méthanisation. Cette originalité n'est pas sans contrainte. Les boues sont liquides, mais la FOr est solide. Vers quel type de méthanisation s'orienter ? Les déchets ménagers évoluent selon la saisonnalité. Comment faire face à cette évolution et limiter au maximum les perturbations sur la biologie des réacteurs ? La FOr est riche en azote protéique, qui, une fois dégradé, génère de l'ammonium, inhibiteur de la réaction de conversion de la matière organique en méthane. Comment faire face à cette problématique et maintenir de bons rendements ?

C'est pour répondre à ces problématiques que notre groupement a souhaité développer et adapter le procédé de méthanisation bi-étagée en voie liquide. Il permet notamment :

- >> l'optimisation des différentes étapes biologiques, l'acidogenèse et la méthanogenèse, afin d'atteindre un taux d'expression global du potentiel méthanogène des intrants de plus de 110 % : la conversion de la matière organique en méthane est maximale ;
- >> la séparation des étapes biologiques, garantissant une forte résilience des réacteurs face aux variations de charge et un temps de réponse très rapide des populations bactériennes, sans départ en acidose : la gestion de la variabilité du cocktail et de la qualité des intrants est optimale ;

- >> la réduction volumes des réacteurs mis en jeu tout en conservant un rendement de conversion élevé de la matière et en restant dans le domaine de la voie liquide ; le brassage des réacteurs en est simplifié ; ceci est techniquement possible grâce à la forte charge appliquée et au temps de séjour réduit ;

- >> l'intégration de fumier sans difficulté majeure, autorisant un rééquilibrage du ratio carbone/azote du mélange des intrants et limitant la production d'ammonium : les inhibitions des procédés biologiques de valorisation de la matière organique sont maîtrisées.

L'optimisation du procédé de conversion de la matière ne s'arrête toutefois pas à la conception et à l'adaptation de la méthanisation. L'intégration énergétique menée par le groupement en partenariat avec des experts dans le domaine est également au cœur de la réflexion.

C'est le choix de mener de front optimisation de la méthanisation et intégration énergétique permettant la valorisation des énergies fatales qui permet au groupement à la fois de maximiser la production de méthane, mais également de maximiser les kWh injectés, afin d'atteindre un bilan énergétique global réellement positif.

TRANSFORMER LE DIGESTAT POUR ATTEINDRE L'EXCÉDENT ÉNERGÉTIQUE

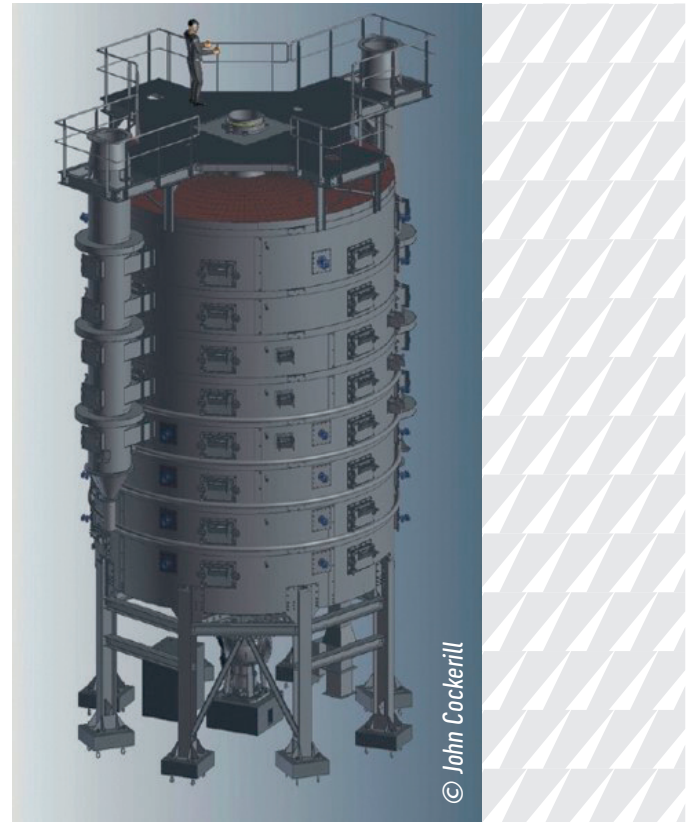
La valorisation thermique du digestat a pour but de convertir la fraction organique du résidu pâteux de la cométhanisation en énergie. Il s'agit d'un des points clés du projet Cométhas, puisque l'un des objectifs est d'éviter tout retour au sol de la matière.

Après prétraitement, le digestat est admis dans l'étage de valorisation du digestat. Cette valorisation sera réalisée par pyrolyse à haute température dans un réacteur à soles multiples (*Multiple Hearth Furnace*). L'un des atouts du réacteur MHF est de permettre un échauffement progressif de la matière, avec un parfait contrôle de la température sole par sole. Il est donc particulièrement bien adapté pour se prémunir d'un phénomène de fusion des résidus solides, mais aussi si l'on souhaite réaliser une pyrolyse partielle de la matière pour obtenir un gaz valorisable par ailleurs. D'autre part, la quantité d'air injectée dans le réacteur MHF est très réduite, ce qui permet d'optimiser la taille des installations de traitement des fumées.

Ces réacteurs ont été conçus initialement pour le traitement des déchets solides à des températures élevées (900 °C). Ils ont ensuite été adaptés pour couvrir, sur la base d'une même conception générale, une série de procédés allant de la torréfaction à basse température (environ 300 °C) jusqu'à la pyrolyse (à 900 °C). Le design du réacteur et de ses périphériques est bien entendu adapté au produit à traiter, mais le cœur du réacteur demeure.

Actuellement, il n'existe pas d'installation industrielle mettant en œuvre un procédé de traitement thermique sur les intrants visés dans ce projet.

La phase d'essais en laboratoire a permis de mettre en évidence un intérêt pour la pyrolyse haute température. En effet, ce procédé permet de convertir de manière optimale l'énergie chimique liée à la matière organique en énergie thermique, assurant ainsi un bilan énergétique favorable à l'ensemble de la filière. En outre, le résidu solide obtenu, riche en phosphore, pourra être lui-même réincorporé dans une filière de valorisation matière.



© John Cockerill

Représentation 3D d'un réacteur Nesa®

NOTES

A series of horizontal dotted lines for taking notes.



l'agence
métropolitaine
des déchets
ménagers

contact

cometha@parimail.com

