

# cométha

Partenariat d'innovation

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

## ACTES DE L'APRÈS-MIDI TECHNIQUE

25 NOVEMBRE 2025



l'agence  
métropolitaine  
des déchets  
ménagers



## PROGRAMME

<b>AVANT-PROPOS</b>	<b>3</b>
<b>PRÉAMBULE</b>	<b>4</b>
Résumé de la saison 1	5
Phase 2 : conception, construction et exploitation de deux unités pilotes	6
<b>TABLE RONDE 1 / « MAXIMISER LA PRODUCTION DE BIOGAZ »</b>	<b>8</b>
Les principes et performances	9
La continuité de service	13
Le passage à l'échelle industrielle	15
Perspectives	16
<b>TABLE RONDE 2 / « ALLER PLUS LOIN DANS LE TRAITEMENT DU DIGESTAT »</b>	<b>18</b>
La gazéification	20
La pyrolyse	21
Perspectives	23
<b>TABLE RONDE 3 / « NUTRIMENTS : MULTIPLIER LES VOIES DE RÉCUPÉRATION »</b>	<b>25</b>
La récupération de l'azote	26
La récupération du phosphore	29
Perspectives	33
<b>CONVERSATION DE CLÔTURE : PRISE DE RECUL SUR 10 ANNÉES DE PROJET</b>	<b>37</b>
<b>PERSPECTIVES</b>	<b>41</b>

# AVANT-PROPOS

Le 25 novembre 2025, au siège de NaTran, s'est tenue l'après-midi technique sur le projet Cométha animée par Carine Morin-Batut, fondatrice d'Éclidéa. Après la matinée technique de 2018 et la journée technique de 2019 dédiées à la Phase 1 de Cométha, cette nouvelle session a permis de dresser un bilan de la Phase 2 et de l'exploitation des unités pilotes de Seine Grésillons et de Seine Valenton.

en savoir +  
cometha.fr

## COMÉTHA, UN PROJET COMMUN DU SYCTOM ET DU SIAAP



l'agence  
métropolitaine  
des déchets  
ménagers

Le Syctom est le premier opérateur public européen de traitement et de valorisation des déchets ménagers, avec un territoire de près de 5,7 millions d'habitants. Créé en 1984, il regroupe aujourd'hui 81 communes en Île-de-France, réparties dans 11 territoires adhérents. Le Syctom a traité en 2024 environ 2,2 millions de tonnes de Déchets ménagers et assimilés (DMA) dans ses installations de valorisation énergétique, de transfert et de tri.

Service public responsable, le Syctom prend toute sa part dans la construction d'une ville durable, respectueuse de son environnement et de ses habitants. Il agit en faveur du développement durable, pour réduire les quantités de déchets, améliorer leur valorisation et préserver les ressources naturelles.

Le Syctom allie performance industrielle, innovation et exemplarité environnementale pour mener sa mission de service public au cœur de la métropole.

Pour augmenter les performances de valorisation, dans un cadre réglementaire de plus en plus exigeant, le Syctom met l'accent sur l'innovation. En développant des projets de R&D et des partenariats, il participe à la transition énergétique de nos sociétés, en faveur d'une croissance verte.



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 plus de 9,2 millions d'habitants. Une fois transportés vers l'une de ses 6 usines de traitement des eaux usées, tout au long d'un réseau de 480 kilomètres de canalisations, 2,5 milliards de litres d'eaux usées sont dépollués, chaque jour, avant d'être rejetés dans la Seine et dans la Marne, permettant ainsi 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, protection des milieux naturels, anticipation des évolutions aussi bien climatiques que démographiques.

Le SIAAP est engagé dans un plan stratégique industriel de long terme visant à assurer la performance, la robustesse et la résilience du système d'assainissement. Il apporte une réponse efficace aux exigences réglementaires, territoriales et climatiques, en cohérence avec la stratégie de sécurisation industrielle des sites et les ressources humaines et financières disponibles.

en savoir +  
<https://www.syctom-paris.fr/engagements/innovations.html>

en savoir +  
<https://www.siaap.fr/le-siaap/missions/presentation/>  
<https://www.siaap.fr/le-siaap/schema-directeur-industriel/>

# PRÉAMBULE



**CARINE MORIN-BATUT**  
ÉCLIDÉA



Cométha est conçu pour anticiper l'avenir en poursuivant deux objectifs principaux. D'abord, tester de nouvelles solutions pour extraire les éléments valorisables et rares contenus dans les boues ou déchets, en adoptant le principe du non-retour au sol. Ensuite, expérimenter des approches permettant de déterminer comment un mélange d'intrants peut contribuer à un mix de gaz renouvelable, produit en France, tout en garantissant un bilan énergétique global positif.

**La circularité et le recyclage sont recherchés, mais pas à n'importe quel prix : Cométha est un pari audacieux visant à démontrer la pertinence de traiter et méthaniser un mélange inédit.**

Ce mélange comprend la Fraction fermentescible des ordures ménagères (FFOM), c'est-à-dire la matière organique présente dans les poubelles grises, des boues d'épuration issues des eaux usées (provenant du SIAAP), du fumier et des graisses issues du traitement des eaux usées.

En 2018, Cométha a lancé le premier partenariat d'innovation dans les secteurs de l'assainissement et des déchets. Ce type de partenariat se distingue par deux particularités : d'une part, il répond à un besoin des maîtres d'ouvrage pour lesquels le marché ne propose pas de solution satisfaisante ; d'autre part, l'acheteur public peut conclure le partenariat avec plusieurs candidats, qui réalisent alors des prestations parallèles mais distinctes, chacune sous contrat individuel. À l'issue de l'appel d'offres, quatre groupements ont été sélectionnés pour la phase 1, couvrant la recherche en laboratoire, les essais et les avant-projets sommaires des unités pilotes, entre 2018 et début 2020. La phase 2 a ensuite consisté en la conception, la construction et l'exploitation de deux unités pilotes, confiée aux deux groupements retenus. En 2018, une rencontre technique a permis de formaliser certains engagements, et fin 2019, les résultats de la phase 1 ont ouvert de nouvelles perspectives. Aujourd'hui, l'objectif est de vérifier si les unités pilotes ont effectivement tenu leurs promesses.



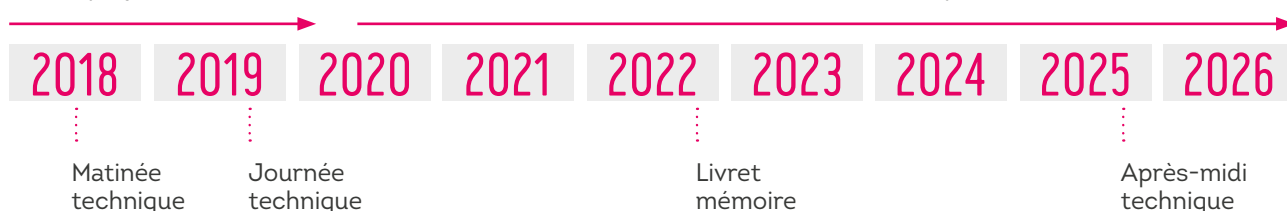
**PHASE 1 :**

recherches, essais et avant-projets sommaires



**PHASE 2 :**

conception, construction et exploitation d'une ou de deux unités pilotes



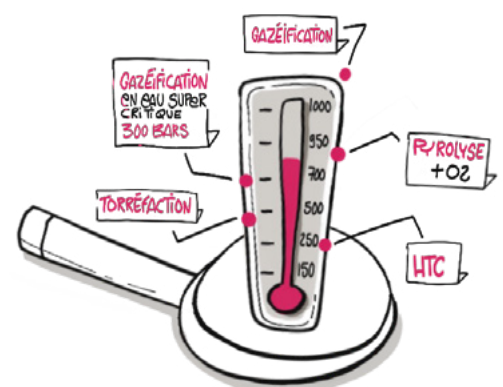
## RÉSUMÉ DE LA SAISON 1

Entre 2018 et 2019, quatre groupements sont lauréats du partenariat d'innovation. Pendant 18 mois, leurs travaux visent à identifier le meilleur mix d'intrants et à concevoir la filière la plus performante pour maximiser la production de biogaz et valoriser les richesses contenues dans le digestat.



La matière organique introduite dans le méthaniseur génère du biogaz, qui doit être épuré avant utilisation, ainsi que du digestat, résidu pâteux ou liquide, constitué d'éléments organiques non dégradés et de minéraux.

L'objectif du Partenariat d'Innovation Cométha est de dépasser 100 % du Potentiel bio-méthanogène (BMP), indicateur de la quantité de biogaz produite lors de la dégradation de la matière organique. La méthanisation seule ne permettra pas d'atteindre cet objectif. C'est pourquoi Cométha s'intéresse aux procédés thermochimiques, tels que la pyrolyse et la gazéification. Ils consistent à chauffer la matière en absence ou en faible présence d'oxygène, afin de la transformer en produits solides, liquides ou gazeux valorisables. La principale différence entre ces procédés réside dans la température appliquée.



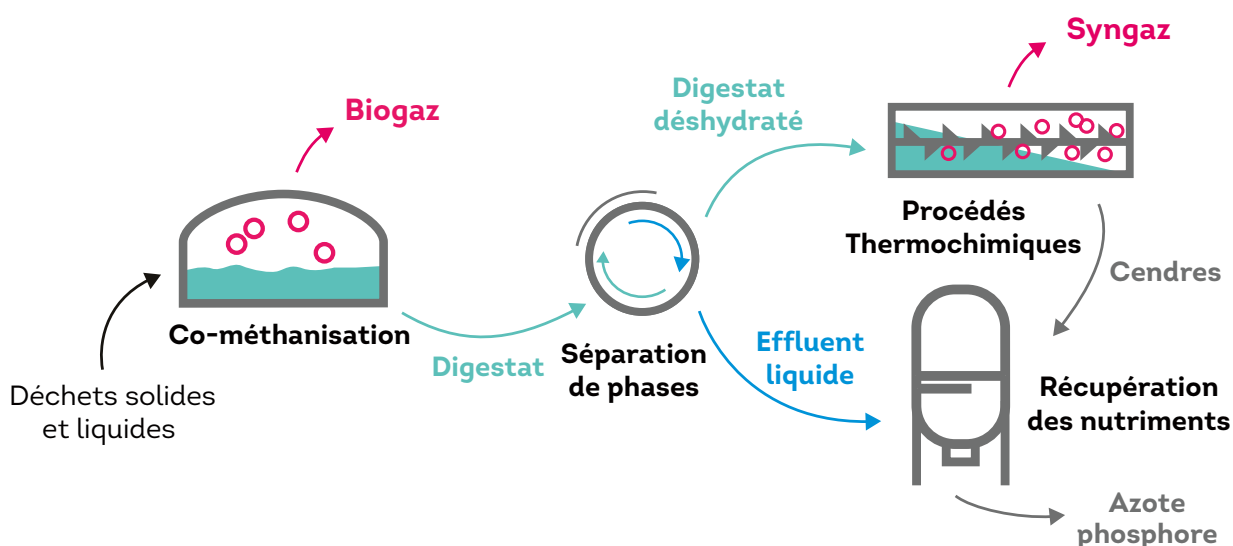
## PHASE 2 : CONCEPTION, CONSTRUCTION ET EXPLOITATION DE DEUX UNITÉS PILOTES

À l'issue de la Phase 1, deux groupements ont été sélectionnés par le Syctom et le SIAAP pour participer à la Phase 2. Leur mission : concevoir puis construire et exploiter des unités pilotes, des installations industrielles de taille réduite qui permettent de confirmer la faisabilité de ce qui a été imaginé en laboratoire et d'évaluer les performances qu'il est réellement possible d'atteindre, dans des conditions s'approchant le plus possible de celles d'une unité industrielle.

Bien que fonctionnant différemment, les deux unités pilotes partagent certaines caractéristiques : elles réalisent le mélange de déchets solides et liquides (dans des proportions variables) et intègrent une cométhanisation pour optimiser la production de biogaz. Elles incluent également des procédés thermochimiques et des solutions de récupération des nutriments.

Ces unités ont été construites sur les usines du SIAAP, l'une à Seine Valenton (dans le Val-de-Marne) et l'autre à Seine Grésillons (dans les Yvelines).

### Principe général de Cométha



### Deux unités pilotes, deux groupements pluriels

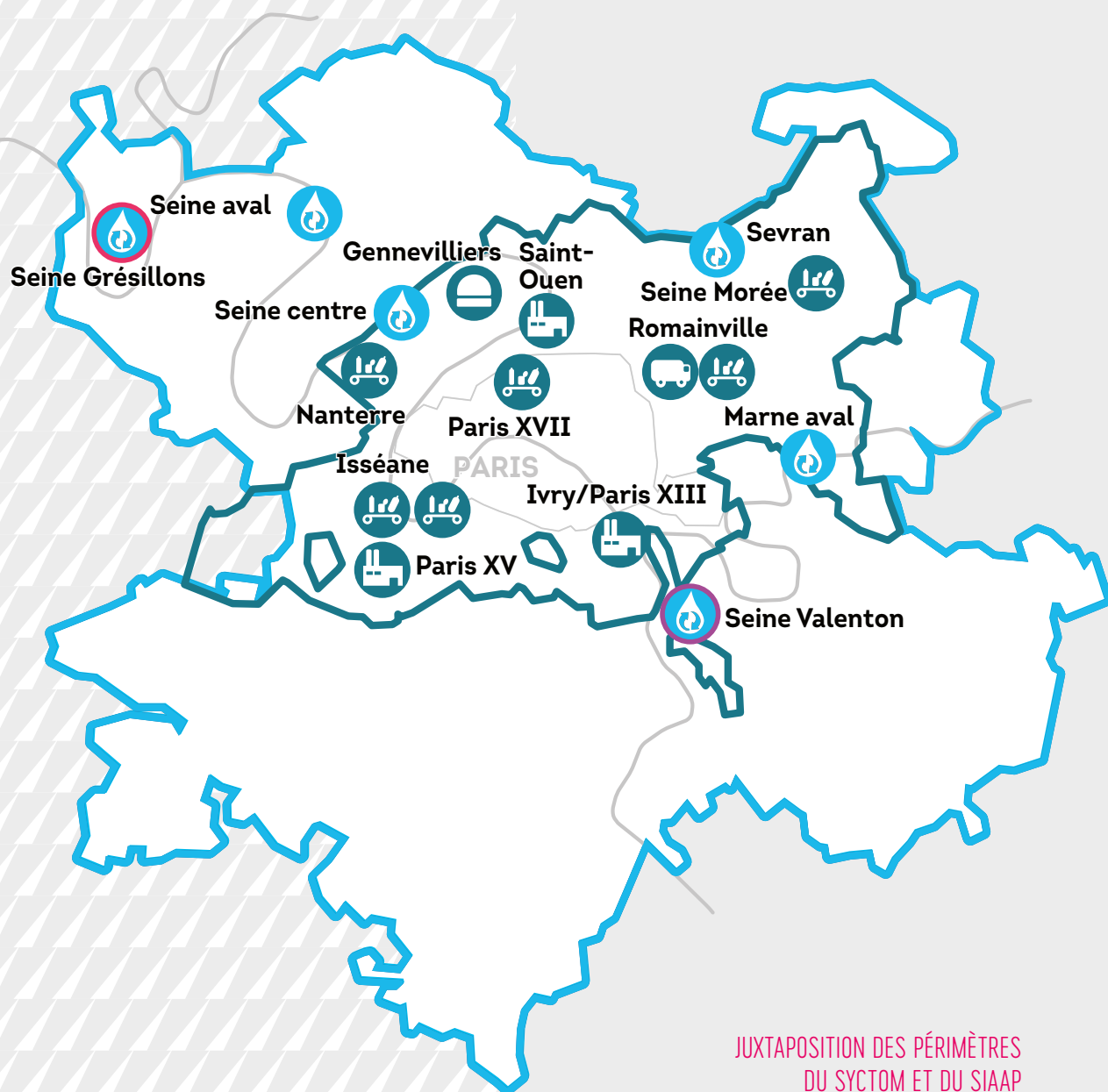
#### Seine Grésillons







#### Seine Valenton



Situation géographique des unités pilotes



JUXTAPOSITION DES PÉRIMÈTRES DU SYCTOM ET DU SIAAP

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

# TABLE RONDE 1 / « MAXIMISER LA PRODUCTION DE BIOGAZ »



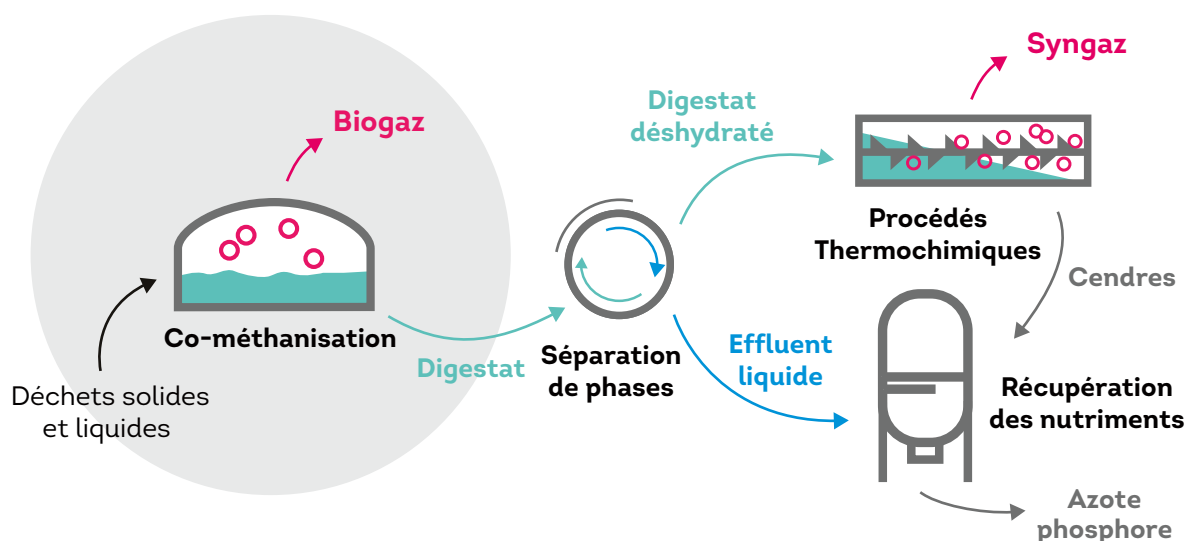
## LAËTITIA AUBEUT-CHOJNACKI

**CHARGÉE DE DÉVELOPPEMENT BIOMÉTHANE, CHEF DE MARCHÉ COLLECTIVITÉS GRDF**

Cométha est un projet d'innovation visant à transformer les déchets en ressources, tout en tenant compte des spécificités territoriales, comme celles de l'Île-de-France. Il repose sur une approche originale de gestion et de valorisation en mélange des différents intrants issus des activités quotidiennes : Fraction organique résiduelle issue des ordures ménagères (FOR) provenant des poubelles grises, fumiers équins, graisses et boues d'épuration. Ces intrants ont été utilisés comme matières premières pour étudier la production optimisée de biométhane et la récupération de nutriments, grâce à plusieurs briques technologiques. Parmi elles, la méthanisation constitue le cœur du processus, générant deux sous-produits principaux : le biogaz et le digestat. Compte tenu de la diversité des flux de déchets, le projet s'est focalisé sur la cométhanisation, explorant différentes technologies via deux groupements :

- > Sur le site de Seine Grésillons, une méthanisation en voie sèche et un prétraitement par hydrolyse thermique ;
- > Sur le site de Seine Valenton, une méthanisation en voie liquide, organisée en deux étages, avec un étage thermophile et un autre mésophile. L'hydrolyse thermique est placée en aval sur le digestat partiellement recirculé dans le méthaniseur.

Bien que le mélange de boues et biodéchets triés à la source soit interdit en France, il ne présente pas de verrou technique, comme le démontrent de nombreux cas à l'international. En revanche, le mélange de boues avec des intrants plus complexes (FOR ou fumiers) soulève des questions biologiques et des incertitudes sur la résistance des équipements. Ce type de mélange interroge également la faisabilité du retour au sol.



## LES PRINCIPES ET PERFORMANCES



**LÉO MUTZIG**

**INGÉNIEUR PROCESS**

**FRANCE BIOGAZ**

Sur le site Cométha de Seine Grésillons, un digesteur piston a été installé pour la méthanisation. C'est un procédé particulièrement adapté aux intrants comme la FOR, qui contiennent une forte proportion d'inertes et d'éléments indésirables. À l'issue du traitement, le digestat présente un taux de matière sèche compris entre 21 et 22 %, tandis que le biogaz atteint une teneur en méthane d'environ 57 %. La production de biométhane dépasse ainsi de 5 à 15 % le pouvoir méthanogène (BMP) attendu. Cette performance s'explique par la bonne séparation des matières, grâce à un procédé stable et à une biologie réactive face aux intrants. Elle résulte également du broyage préalable du fumier équin et de l'hydrolyse thermique d'une partie du mélange avant la digestion.

*Le digesteur piston de l'unité pilote de Seine Grésillons*





**ANTOINE DALIBARD**  
**INGÉNIEUR DE RECHERCHE**  
**FRAUNHOFER IGB**

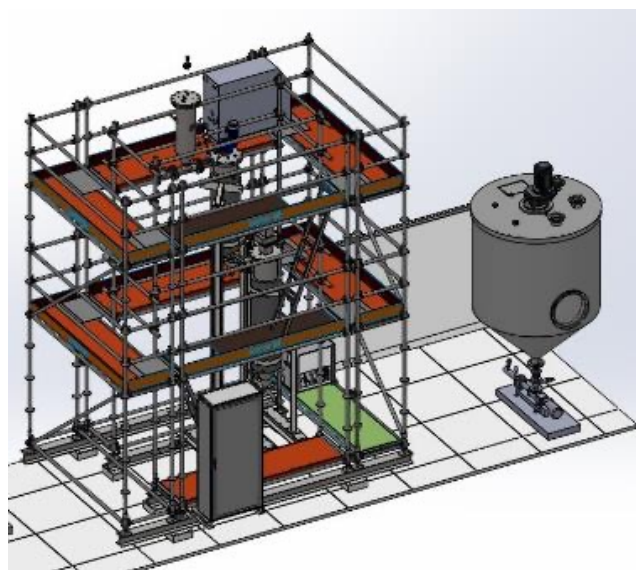
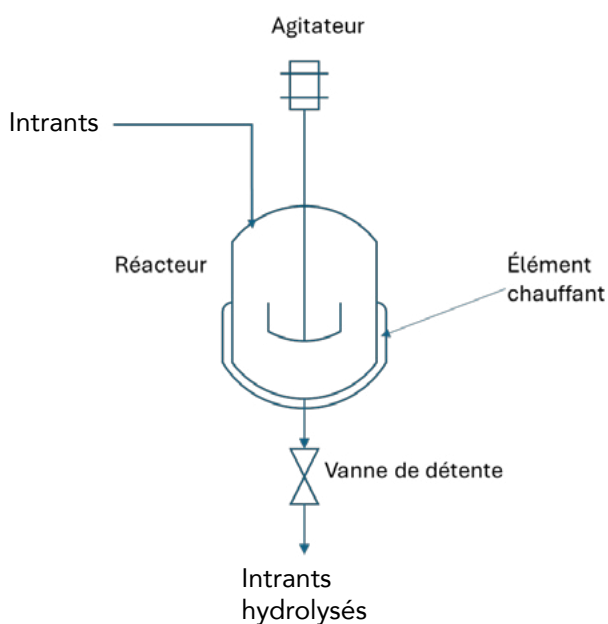
L'hydrolyse thermique repose sur un réacteur dans lequel est chargé le mélange. Il est chauffé sous pression à une température définie, puis soumis à une décompression soudaine via une vanne de détente.

Cette « détente flash » provoque non seulement l'hydrolyse thermique mais également une désintégration thermomécanique du matériau. Les effets observés sont les suivants :

- > Une légère augmentation du BMP, d'environ 5 %, probablement liée à l'absence de maintien en température ;
- > Une réduction de 50 % du temps de séjour nécessaire pour atteindre le BMP, constituant un avantage pour la méthanisation ;
- > Une diminution de la viscosité, ce qui permet de réduire la consommation énergétique des agitateurs et des pompes.

Cependant, la présence d'indésirables dans la FOr (particules lourdes de verre, pierre, métaux et plastiques) a endommagé la pompe d'alimentation. La proportion de FOr dans le mélange a ainsi été limitée à 4 % au lieu des 10 % initialement prévus.

*Le module d'hydrolyse thermique de l'unité pilote de Seine Grésillons*





## BENJAMIN RÉMY

### RÉFÉRENT MÉTHANISATION SOURCES

Sur le site Cométha de Seine Valenton, la méthanisation par voie liquide a été effectuée avec une technologie bi-étagée, éprouvée depuis plusieurs années, et adaptée à la codigestion en séparant les réactions dans deux réacteurs successifs :

- > Le réacteur thermophile (55°C) au sein duquel les conditions sont optimales pour les bactéries hydrolytiques et l'acidogenèse, avec une agitation faible et un pH bas. Cette configuration favorise la production d'acides gras volatils (AGV) à des concentrations élevées, entre 15 000 et 20 000 mg/L ;
- > Le réacteur mésophile (37°C), dédié aux étapes d'acétogenèse et de méthanogenèse, avec un temps de séjour d'environ 15 jours. Alimenté par une matière prétraitée et plus digeste, il constitue le principal moteur de la production de biogaz.

Ce cloisonnement a permis d'obtenir un biogaz riche en méthane, de l'ordre de 60 %, et des performances supérieures aux attentes, dans des conditions techniques et économiques optimisées.

### *La méthanisation bi-étagée de l'unité pilote de Seine Valenton*





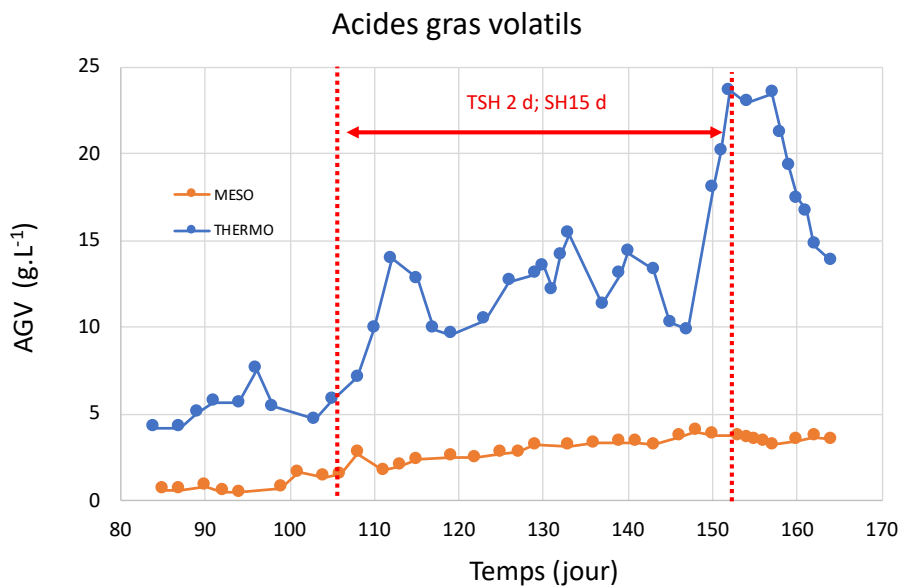
**ANDRÉ PAUSS**  
**ENSEIGNANT CHERCHEUR**  
**UTC**

Le cycle prévoit deux jours de temps de séjour dans le réacteur thermophile, avec le remplacement quotidien de la moitié du volume par un mélange frais, puis quinze jours dans le réacteur mésophile. Des essais sont menés pour réduire ce temps à douze jours.

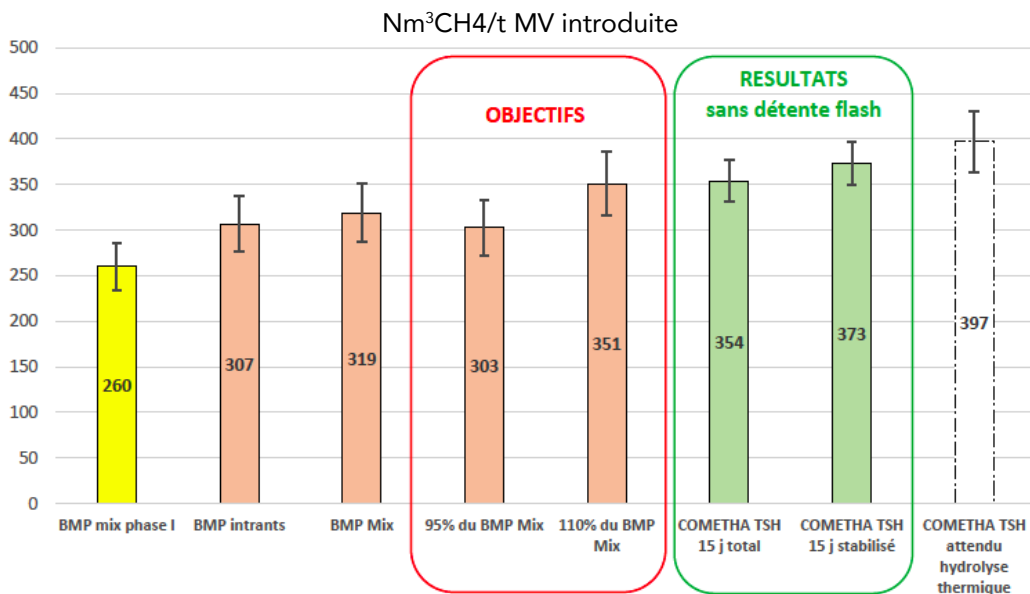
Grâce à la digestion bi étagée, et avec un temps de séjour de quinze jours, un BMP de 110 % est atteint, soit une performance supérieure aux objectifs initiaux.

L'intégration de l'hydrolyse thermique avec détente flash en aval est un des essais à venir. Elle permettrait de traiter les résidus non dégradés du réacteur mésophile, par fragmentation thermique avant recirculation dans les réacteurs de méthanisation.

*Évolution de la concentration en acides gras volatils dans les réacteurs*



*BMP obtenus*



## BENJAMIN RÉMY

### RÉFÉRENT MÉTHANISATION

#### SOURCES

La méthanisation est précédée d'une préparation avec lacération du mix, qui permet d'obtenir une concentration de 110 g/L et une siccité correspondant à 11 % de matière sèche. Des problèmes d'accumulation d'inertes présents dans la FOr (verre, métaux, plastiques) ont été constatés, ce qui a conduit à l'installation d'un décanteur statique. Le mélange est ensuite introduit dans une cuve, puis dans le premier réacteur thermophile, avec une siccité d'environ 20 %.



## LA CONTINUITÉ DE SERVICE

### LÉO MUTZIG

#### INGÉNIEUR PROCESS

#### FRANCE BIOGAZ

La qualité de la FOr a nécessité une adaptation du fonctionnement de l'expérimentation notamment sur le module d'hydrolyse thermique, en réduisant légèrement la quantité initialement prévue.

L'étape de digestion par voie sèche, bien adaptée aux inertes, a par ailleurs posé des difficultés lors de la dilution en sortie de digestion, étape préparatoire à la récupération des nutriments. Ces problèmes concernaient la presse à vis, utilisée pour la séparation de phases. Pour y remédier, un décanteur statique et un broyeur ont été installés à cette étape, assurant ainsi un fonctionnement plus continu et fiable de l'ensemble du procédé.

**BENJAMIN RÉMY**  
**RÉFÉRENT MÉTHANISATION**  
**SOURCES**

L'alimentation est continue, mais la difficulté réside dans le fonctionnement d'une unité pilote avec des débits faibles, tout en utilisant des équipements capables de traiter une matière complexe. Par exemple, la FO<sub>r</sub> doit transiter dans des conduites d'un diamètre adapté. Des compromis ont donc été nécessaires, mais ils ont permis de maintenir une alimentation continue avec un débit global de 3,25 m<sup>3</sup>/h.

**LÉO MUTZIG**  
**INGÉNIEUR PROCESS**  
**FRANCE BIOGAZ**

L'alimentation est également continue, mais elle s'appuie sur des techniques permettant de s'adapter aux contraintes techniques liées aux débits, aux dimensions des équipements et aux caractéristiques des intrants. Ainsi, des capacités tampons ont été intégrées entre les différents modules afin d'absorber les variations et de garantir la succession des étapes. Grâce à ces ajustements, le process atteint une continuité et une stabilité opérationnelle, malgré la complexité des flux et des équipements.

*Réacteurs d'hydrolyse et de détente flash de l'unité pilote de Seine Valenton*



*Zone de réception des intrants de l'unité pilote de Seine Grésillons*



## LE PASSAGE À L'ÉCHELLE INDUSTRIELLE

### ANTOINE DALIBARD

#### INGÉNIEUR DE RECHERCHE

À l'échelle industrielle, la méthanisation est une technologie déjà construite et opérationnelle. Des systèmes d'hydrolyse thermique existent sur le marché, notamment pour le traitement des boues d'épuration ou de la cellulose. Ces solutions ne sont pas encore adaptées aux mélanges complexes, mais elles peuvent être déployées à grande échelle.

Le principal défi réside dans l'intégration des étapes de séparation indispensables au bon fonctionnement de l'hydrolyse, notamment pour éliminer les indésirables et améliorer la séparation de phases afin de préparer efficacement les étapes de récupération des nutriments.

### BENJAMIN RÉMY

#### RÉFÉRENT MÉTHANISATION SOURCES

Le cloisonnement des réactions a un impact très favorable sur la production de biogaz. Comme observé sur les deux unités pilotes, il est essentiel de renforcer le prétraitement afin de pouvoir intégrer, à terme, une diversité d'intrants sans compromettre la fiabilité de l'exploitation.

Parmi les pistes d'optimisation identifiées sur l'unité pilote de Seine Valenton et à envisager pour une phase industrielle figurent la trémie mélangeuse, le pré-mix dilacérateur et le décanteur.

### *Zone de la préparation des intrants de l'unité pilote de Seine Valenton*





## PERSPECTIVES

### HÉLÈNE FRUTEAU DE LACLOS

#### CONSULTANTE EXPERTE MÉTHANISATION MÉTHA CONSULT

Cométha repose sur des technologies connues, mais appliquées dans des contextes différents. Ainsi, la digestion en milieu pâteux à piston est déjà utilisée à l'échelle industrielle pour la FOr (ou FFOM) avec plusieurs installations en fonctionnement en France depuis plusieurs années. De même, l'hydrolyse thermique et la digestion bi-étagée sont couramment déployées sur les boues de stations d'épuration à l'échelle internationale. L'objectif de la Phase 2 était d'appliquer ces technologies dans un contexte différent, avec un mélange principalement constitué de boues d'épuration et de FOr.

Deux configurations d'hydrolyse thermique ont été étudiées : l'hydrolyse thermique en amont d'une digestion en milieu pâteux et l'hydrolyse thermique intervenant sur une boucle de recirculation après une digestion en milieu liquide. Les enseignements sont multiples. D'abord, **la codigestion bi-étagée améliore significativement la production de méthane avec un gain d'environ 10 % par rapport au BMP de référence**. Ensuite, l'hydrolyse thermique en amont s'est révélée complexe à mettre en œuvre sur un mélange de boues et de FOr. Elle a montré un impact limité sur la production de méthane, mais un effet notable sur les paramètres de fonctionnement : réduction de la viscosité et potentielle diminution du temps de séjour. L'hydrolyse thermique en recirculation présente aussi un impact positif, mais les résultats restent à consolider.

Le principal défi est lié à la présence d'inertes dans la FOr, malgré le tri amont. Ainsi, une part importante de l'expérimentation a été consacrée à identifier et résoudre les blocages : bouchages de tuyauterie, usure et casse d'équipements. Ces observations serviront à définir les étapes spécifiques à intégrer à l'échelle industrielle pour garantir la fiabilité du traitement des mélanges. Finalement, **l'innovation ne se limite pas au développement de technologies nouvelles : elle inclut l'optimisation de procédés existants et leur application dans de nouveaux environnements**.

Dans le cadre de la transition énergétique, la digestion des boues reste pénalisée par un bilan énergétique défavorable en raison de leur forte dilution. La codigestion des boues avec d'autres déchets organiques apporte un supplément énergétique, contribuant à rapprocher les stations d'épuration de la neutralité carbone, conformément aux objectifs de la Directive européenne sur les eaux résiduaires urbaines (DERU 2).

En France, la codigestion de boues et de biodéchets est interdite, contrairement à d'autres pays européens (Allemagne, Suède, Norvège), qui la pratiquent indépendamment du devenir du digestat, qu'il s'agisse d'un retour au sol ou d'une incinération. Quant à la FOr, bien que la réglementation limite son usage pour la fabrication de compost, elle représente un potentiel énergétique majeur en France : environ quatre fois celui des boues d'épuration et deux fois celui des biodéchets. Dans une perspective de décarbonation rapide, la valorisation de la FOr est donc stratégique.

Cométha démontre que la digestion en mélange peut s'intégrer dans le catalogue des solutions pour la transition énergétique. Des optimisations supplémentaires sont envisageables, à l'image de certains pays européens qui valorisent la chaleur issue de l'incinération des déchets ménagers pour chauffer les digesteurs ou épurer le biogaz. Pour cela, il est essentiel de décloisonner les filières déchets et eau, afin de créer des synergies industrielles. Cette approche fondée sur des technologies accessibles intéresse également les pays émergents, qui développent des stratégies de valorisation des déchets organiques. **Les solutions issues de Cométha pourraient ainsi contribuer à la transition énergétique mondiale, tout en promouvant les savoir-faire français et européen** via des initiatives telles que le Partenariat français pour l'eau ou le Partenariat français pour les déchets.

# TEMPS D'ÉCHANGE



## QUELLE EST LA SIGNIFICATION DU BMP ET POURQUOI LES RÉSULTATS DÉPASSENT-ILS 100 % ?

**André PAUSS** : Le BMP représente le potentiel biométhanogène, c'est-à-dire la quantité maximale de méthane que peut produire une matière organique dans des conditions optimales. Ces tests sont réalisés en batch, selon des protocoles standardisés. Cependant, avec des mélanges complexes comme la FOr et les boues, il est difficile d'estimer précisément le potentiel réel car ces protocoles imposent une dilution et ne permettent pas une hydrolyse complète. Dans les réacteurs pilotes, les conditions sont différentes : l'ensemble des techniques mises en œuvre favorise une meilleure homogénéisation du mélange, ce qui explique en partie la production de méthane observée. Ce phénomène n'est pas inédit : la littérature rapporte des cas où les résultats obtenus avec un pilote dépassent ceux des tests BMP ou des petits réacteurs de laboratoire, où les conditions sont supposées optimales mais où il y a des contraintes de protocole.

## EN MATIÈRE D'OPTIMISATION ÉNERGÉTIQUE, QUELLES ACTIONS ONT ÉTÉ MISES EN PLACE POUR RÉDUIRE LES BESOINS NOTAMMENT CONCERNANT L'HYDROLYSE THERMIQUE IDENTIFIÉE COMME L'ÉTAPE LA PLUS CONSOMMATRICE ?

**Antoine DALIBARD** : L'optimisation énergétique n'a pas été travaillée. L'objectif au stade de l'unité pilote était surtout de démontrer le bon fonctionnement du module. Les consommations énergétiques sont nettement supérieures à celles attendues à l'échelle industrielle, en raison d'un manque de compacité et d'une optimisation énergétique encore absente.

**Benjamin RÉMY** : L'objectif est de quantifier et mesurer, mais l'ensemble des résultats nécessaires à l'exploitation n'est pas encore disponible ; ils seront analysés ultérieurement pour l'évolution finale. Toutefois, le protocole d'essais inclut des tests d'hydrolyse thermique réalisés à différentes températures, montrant qu'il n'est pas indispensable d'atteindre 160°C et 6 bar pour effectuer l'hydrolyse. Des résultats intéressants sur le potentiel méthanogène apparaissent déjà entre 130 et 140° C avec des pressions de 3 à 4 bar. Ces observations intégrées au protocole, constituent une piste d'optimisation déjà validée.

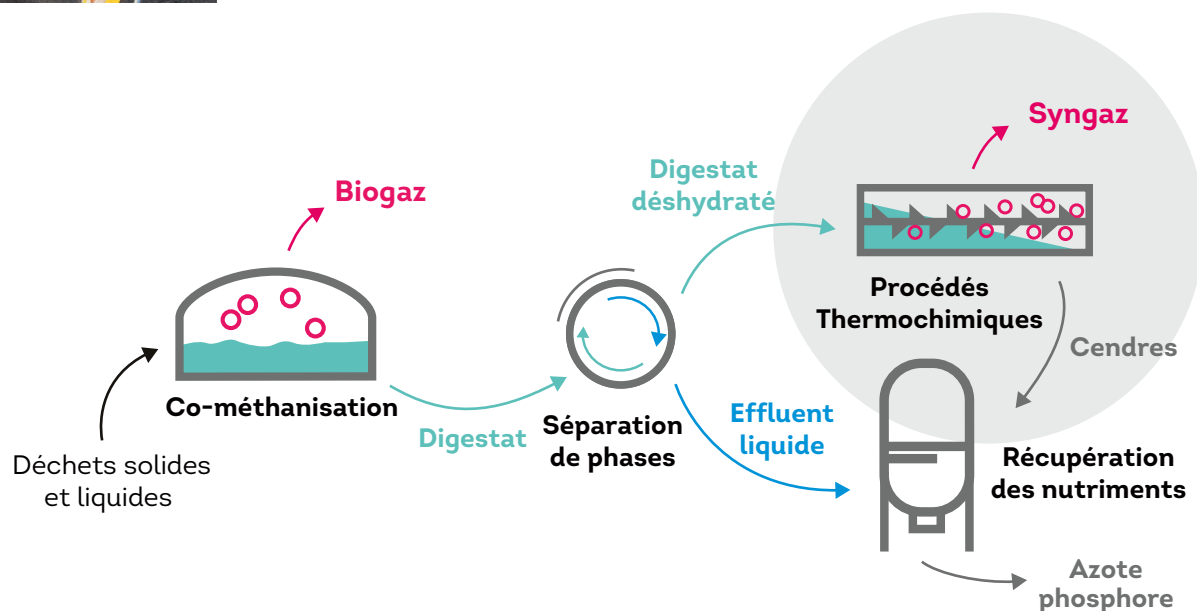
# TABLE RONDE 2 / « ALLER PLUS LOIN DANS LE TRAITEMENT DU DIGESTAT »



## CLOTILDE VILLERMAUX

CHEFFE DE PROJET PYROGAZÉIFICATION, DIRECTION DÉVELOPPEMENT NATRAN

Comme la méthanisation, la pyrogazéification s'inscrit dans le traitement des déchets, mais elle concerne des intrants non fermentescibles. Elle constitue ainsi une technologie complémentaire, particulièrement adaptée aux intrants solides et secs.



Deux grandes catégories d'intrants sont concernées :

- > Les biomasses dites « propres » - comme les plaquettes forestières, bois, sarments de vigne ;
- > Les déchets, qu'il s'agisse de déchets issus de biomasse - issus des encombrants, de la construction ou de l'industrie - et de déchets non-recyclables, comme des refus de tri plastiques et des combustibles solides de récupération avec composantes non biogéniques.

La pyrolyse repose sur un procédé de conversion thermochimique qui correspond à un traitement thermique réalisé en absence d'oxygène, à des températures comprises entre 300 et 800°C. Elle conduit à la production de trois types de produits : un syngaz (principalement composé de H<sub>2</sub>, CO et CO<sub>2</sub>), des huiles de pyrolyse et un résidu solide, le « char ». Lorsque la température augmente, la proportion de syngaz produit s'accroît, tandis que la proportion d'huile et de char diminue. La gazéification, quant à elle, se déroule à des températures plus élevées, comprises entre 700 et 1 500 °C, et intègre une phase d'oxydation par apport limité d'oxygène. Ce procédé permet d'obtenir principalement du syngaz, les coproduits étant générés en faibles quantités.

Le syngaz produit peut être utilisé directement dans des procédés adaptés ou faire l'objet de traitements complémentaires :

- > Une purification pour obtenir de l'hydrogène biogénique ou bas carbone ;
- > Une méthanation pour produire du biométhane injectable ;
- > Une conversion par le procédé Fischer-Tropsch pour obtenir des carburants biogéniques.

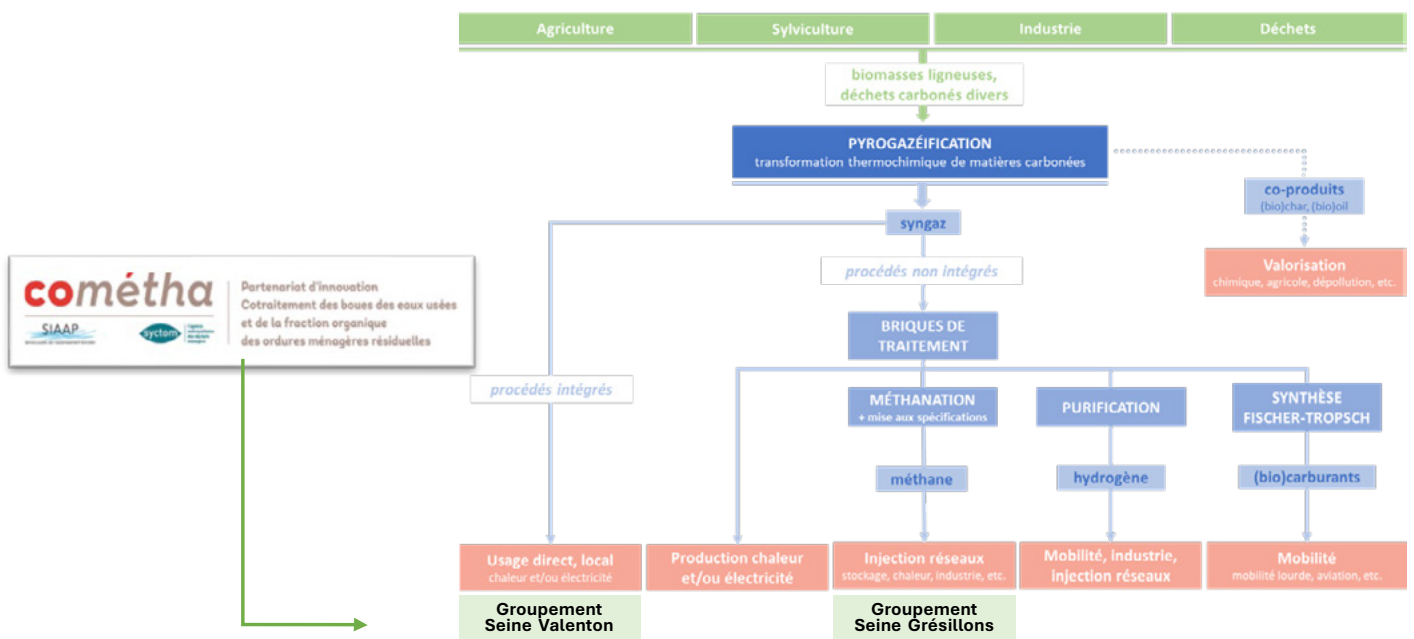
La chaîne complète pour produire du méthane injectable comprend plusieurs étapes : pyrogazéification, épuration pour éliminer les polluants, *water gas shift* pour rééquilibrer la teneur en H<sub>2</sub>, méthanation pour transformer l'H<sub>2</sub> et le CO<sub>2</sub> afin de maximiser la production de gaz injectable, puis séparation pour obtenir un gaz biogénique ou bas carbone, substituable au gaz naturel et injectable dans les réseaux. Des installations semi-industrielles ont démontré la faisabilité de cette chaîne avec de bons résultats sur la biomasse forestière.

L'unité pilote de Seine Valenton comprend une pyrolyse à 800 - 850 °C produisant du biochar et du syngaz, tandis que l'unité pilote de Seine Grésillons teste la chaîne complète incluant des procédés de gazéification, *water gas shift* et méthanation pour obtenir un gaz injectable après séparation du CO<sub>2</sub>.

Les opérateurs gaziers suivent attentivement la filière de la pyrogazéification car elle est complémentaire à la méthanisation et nécessaire pour atteindre la neutralité carbone du gaz distribué. La méthanisation seule ne suffira pas, d'où le développement de technologies adaptées à d'autres intrants pour augmenter la production de méthane injectable. La pyrogazéification figure parmi les technologies les plus matures et pourrait être industrialisée rapidement.

Concernant Cométha, l'un des objectifs liés aux procédés thermochimiques est le « zéro retour au sol » alors que la méthanisation génère un coproduit : le digestat, pour lequel il faut imaginer une valorisation.

**Pyrogazéification : procédés et usages**



Source :



## LA GAZÉIFICATION



**LÉO MUTZIG**  
INGÉNIEUR PROCESS  
FRANCE BIOGAZ

Une préparation de la matière est nécessaire avant la gazéification. Le digestat déshydraté issu de la séparation de phases doit être transformé car la gazéification repose sur une technologie à lit fixe nécessitant une matière sous forme de pellets. La production de pellets est découplée des campagnes de gazéification : les pellets produits sont progressivement stockés puis utilisés lors d'une campagne de gazéification d'environ dix jours, jusqu'à épuisement des stocks. Ce mode de fonctionnement assure une meilleure continuité, optimise la gazéification et réduit la dépendance au module précédent.



**MICHAEL HOFMEISTER**  
GÉRANT  
MFC

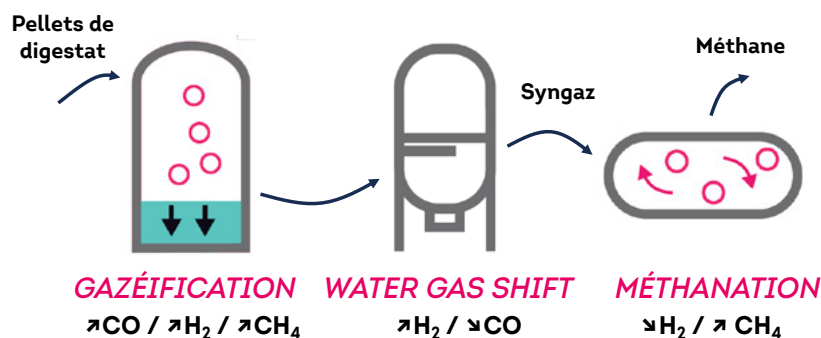
En Phase 1, le réacteur utilisé était à flux entraîné ce qui n'était pas adapté à la typologie d'intrants prévue pour la Phase 2. Le choix s'est donc porté sur un réacteur à lit fixe, une technologie qui présente l'avantage de mieux gérer le biochar. Des pré-essais ont été réalisés avec un module de gazéification à lit fixe, donnant des résultats satisfaisants qui ont conforté ce choix.

Ensuite, il a été nécessaire de sélectionner le catalyseur adapté pour la partie *water gas shift*, en cohérence avec la qualité du syngaz en sortie du gazéificateur. La gazéification a été optimisée pour maximiser la proportion d'hydrogène et obtenir une conversion la plus élevée possible du carbone dans le gaz de synthèse.

Pour le *water gas shift*, le catalyseur a été activé en utilisant un gaz de calibration, puis le syngaz dont le débit a été progressivement augmenté. Pour la méthanation biologique, de manière similaire, le gaz de calibration a permis le développement et l'adaptation des bactéries avant le passage au syngaz. Le débit a ensuite été augmenté et a atteint 60 %.

Les résultats sont satisfaisants, voire légèrement supérieurs aux attentes. Lors de la gazéification, la production d'hydrogène dépasse 35 %, ce qui est supérieur aux prévisions, tandis que la production de CO varie entre 15 % et 19 %. Lors du *water gas shift*, la proportion de CO est réduite à environ 5 - 6 %, tandis que le taux d'hydrogène augmente pour atteindre 39 - 40 %. Avec la méthanation biologique, la part d'hydrogène est réduite à 3 % et la conversion en méthane atteint 28 %, ce qui était recherché. L'augmentation progressive du débit de syngaz injecté se poursuit afin de confirmer ces bons résultats.

### L'enchaînement gazéification - water gas shift - méthanation biologique



## LÉO MUTZIG

INGÉNIEUR PROCESS

FRANCE BIOGAZ

La Phase 2 a permis de tester, à une échelle semi-industrielle, le bon fonctionnement des trois briques de l'enchaînement de la gazéification, du *water gas shift* et de la méthanation, ce qui n'était pas évident. À l'échelle industrielle, certaines adaptations seront nécessaires. Pour la gazéification, des ajustements seront probablement requis afin de pallier les limitations techniques du réacteur à lit fixe. Concernant le *water gas shift*, l'activation du catalyseur requiert un syngaz aussi propre que possible, ce qui implique d'améliorer le lavage préalable du gaz. Des améliorations de la méthanation sont également envisagées, notamment l'intégration d'un filtre à charbon pour protéger « le milieu bactérien » de la méthanation. Cette dernière est toutefois duplicable et peut être déployée à grande échelle ; à titre d'exemple, GICON construit actuellement un réacteur de méthanation de 50 m<sup>3</sup> en Allemagne.

Ainsi, le procédé en trois étapes est validé à l'échelle pilote et peut être développé à l'échelle industrielle avec des adaptations et des pistes d'amélioration déjà identifiées.

## LA PYROLYSE

ADRIEN BELACEL

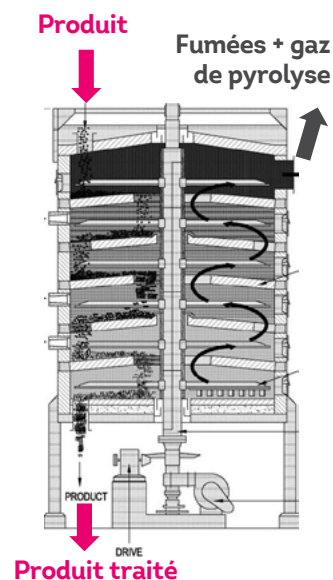
RESPONSABLE D'EXPLOITATION

JOHN COCKERILL

L'unité pilote de Seine Valenton utilise un pyrolyseur à soles multiples, composé de six étages. Il est fourni par Nesa, filiale du groupe John Cockerill. La matière traverse successivement les six étages, chacun étant à une température différente, de la plus basse à la plus élevée.

La pyrolyse commence dans les étages supérieurs, à des températures d'environ 400 - 450°C, et se termine dans les étages inférieurs par une combustion quasi complète, avec des températures pouvant atteindre 950°C. Ce procédé aboutit à l'obtention de cendres, sans production d'huile ni de char. En sortie, le gaz de pyrolyse est récupéré sous forme de fumées. La récupération d'énergie repose sur ce syngaz, qui doit permettre d'obtenir un bilan positif pour l'installation.

### Le réacteur de pyrolyse de l'unité pilote de Seine Valenton



## CLOTILDE VILLERMAUX

### CHEFFE DE PROJET PYROGAZÉIFICATION, DIRECTION DÉVELOPPEMENT NATRAN

Lorsqu'il s'agit de s'appuyer sur des technologies existantes dans l'industrie, il est nécessaire de procéder à un *downscale* ou d'utiliser les tailles minimales disponibles, ce qui n'est pas toujours parfaitement adapté entre les différentes briques du procédé.

## ADRIEN BELACEL

### RESPONSABLE D'EXPLOITATION JOHN COCKERILL

Tous les équipements utilisés sont des équipements industriels et, bien qu'il s'agisse des plus petits modèles disponibles, ils restent néanmoins surdimensionnés pour un pilote. De plus, ces machines sont très énergivores au démarrage, et il est donc nécessaire de produire une quantité importante de digestat séché afin de pouvoir les faire fonctionner plus de quelques jours. Le pyrolyseur de Seine Valenton sera ainsi mis en service une fois qu'il y aura suffisamment de matière disponible.

Pour préparer la matière destinée au pyrolyseur, le digestat passe par une séparation de phase afin d'obtenir un digestat déshydraté. La presse de déshydratation facilite le processus : en sortie, la matière atteint une concentration en matière sèche de 35 à 40 % grâce à la nature fibreuse du produit, notamment la FOr et le fumier.

L'objectif est d'obtenir un pyrolyseur autothermique, c'est-à-dire capable de fonctionner sans apport d'énergie externe, hormis lors de la phase de démarrage. Une fois le procédé enclenché, la matière doit permettre de maintenir la température et d'assurer la pyrolyse au sein de l'enceinte. Cet objectif d'autothermicité est toutefois difficile à atteindre à l'échelle du pilote, en raison des pertes thermiques inhérentes au modèle réduit, et ce malgré l'utilisation d'un digestat séché en sortie de sécheur présentant une teneur en matière sèche supérieure à 90 %, voire 95 %. À l'échelle industrielle, si l'autothermicité est effectivement possible grâce au gaz de pyrolyse produit, la récupération d'énergie via une chambre de post-combustion portée à 1 000°C pourrait permettre d'obtenir un bilan énergétique positif pour Cométha. Cette énergie pourrait notamment être valorisée pour le chauffage du digesteur thermophile et pour l'alimentation en vapeur de l'hydrolyse thermique, après la digestion mésophile.

Actuellement, il est prévu que le gaz de l'unité pilote soit dirigé vers une chambre de post-combustion, pour y mesurer la quantité produite et l'énergie disponible pour chauffer soit le procédé thermophile, soit l'hydrolyse thermique. Selon la composition, d'autres options sont envisageables, comme la méthanation ou la récupération d'hydrogène si la teneur en hydrogène du gaz de pyrolyse est suffisante. L'objectif serait alors de purifier le gaz afin de pouvoir l'injecter dans les réseaux, notamment en utilisant des procédés en amont comme la gazéification avec de l'oxygène plutôt que l'air afin d'éviter la présence d'azote dans le milieu.

## PERSPECTIVES

**YANNICK FERRIÈRE**

**PRÉSIDENT DU CLUB PYROGAZÉIFICATION  
DIRIGEANT CO-FONDATEUR SG ÉNERGIES**



Les procédés de pyrogazéification trouvent aujourd'hui des applications variées dans l'industrie. Dans la fabrication de charbon de bois, la pyrolyse ou la carbonisation permettent de valoriser le syngaz. Lorsque sa qualité est suffisante, il peut alimenter des moteurs à combustion interne, offrant des rendements supérieurs à ceux d'une simple combustion destinée à la production de vapeur.

Un autre projet vise la production de biométhane injectable dans le réseau, avec une capacité de l'ordre de 25 GWh, à partir d'environ 10 000 tonnes de bois-déchets et de bois fin de vie. Bien que le biométhane constitue le produit principal, le procédé génère également des coproduits solides et gazeux tels que le biochar, le CO<sub>2</sub>, le bioCO<sub>2</sub>, ainsi que de la chaleur valorisable.

Dans le secteur automobile, une fonderie d'aluminium étudie la substitution du gaz naturel par du syngaz issu de la gazéification de bois, de biomasse vierge et de bois-déchets pour la production de chaleur industrielle. Les coproduits associés incluent notamment du char, du biochar et du carbone.

En Espagne, un projet implanté en Andalousie s'appuie sur les résidus de l'industrie oléicole pour produire du biochar destiné à des usages agricoles, avec des perspectives de développement industriel pour le biocarbone et la biocoke.

Enfin, un procédé de vapohermolyse appliqué aux pneus usagés permet de produire une huile pyrolytique destinée à l'industrie chimique, ainsi qu'un noir de carbone recyclé utilisé dans la fabrication de caoutchoucs techniques.

Les perspectives de valorisation de la pyrogazéification s'articulent autour de **trois grands vecteurs : les gaz, les solides carbonés (carbone vert ou recyclé) et les huiles pyrolytiques.**

Le syngaz, riche en CO et en H<sub>2</sub>, demeure un marché de niche, particulièrement adapté aux procédés nécessitant une flamme stable et un fonctionnement en continu. Son coût de production est inférieur à celui de l'hydrogène ou du méthane, en raison d'exigences de purification plus limitées. Les projets associés peuvent bénéficier de dispositifs de soutien, notamment via les appels à projets de l'ADEME (BCIAT).

L'hydrogène présente aujourd'hui peu de cas d'usage, en particulier dans la mobilité lourde. Son coût de production, lorsqu'il est d'origine « verte », reste supérieur à celui de l'hydrogène « gris », ce qui freine son déploiement, malgré l'existence de quelques démonstrateurs.

Le méthane offre un fort potentiel, tant pour l'injection dans les réseaux que pour les usages en mobilité. Si plusieurs démonstrateurs sont en fonctionnement, son coût demeure supérieur à celui du gaz naturel, rendant nécessaires des mécanismes de soutien tels que des dispositifs tarifaires, des taxes incitatives ou des crédits carbonés.

Les solides carbonés présentent un potentiel significatif de production de matières premières d'origine biogénique, telles que le biochar, le biocarbone ou le biocoke, destinées à des usages agricoles, matière ou industriels. Dans le cas des pneus, la valorisation se traduit par la production de noir de carbone recyclé. En revanche, la valorisation des refus de tri, notamment sous forme de CSR, reste complexe en raison des difficultés à séparer efficacement le carbone des autres composants.

Les huiles pyrolytiques sont aujourd'hui peu déployées dans l'industrie. Elles présentent toutefois un intérêt pour la valorisation des pneus usagés et des plastiques, en tant que matières premières. Les huiles issues de biomasse présentent des perspectives plus limitées à ce stade mais comme toute filière émergente, la donne pourrait changer dans les années à venir.

# TEMPS D'ÉCHANGE



## L'UNITÉ PILOTE DE SEINE GRÉSILLONS A-T-ELLE ÉTÉ CONFRONTÉE À DES PHÉNOMÈNES DE FUSION DES CENDRES DANS LE RÉACTEUR DE GAZÉFICATION ?

**Michael HOFMEISTER** : Ce problème a été rencontré et pris en compte dès la phase de conception. Un tisonnier a été intégré pour poser et casser le mâchefer, permettant son évacuation avec les cendres vers le bas du gazéifieur. Grâce à cette modification technique, le fonctionnement reste cohérent sur plusieurs semaines sans incident.

**Clotilde VILLERMAUX** : Pour une installation industrielle, un changement de technologie de gazéification serait nécessaire, afin de mieux gérer les cendres.

**Michael HOFMEISTER** : Un travail est en cours pour concevoir une version du gazéifieur à l'échelle industrielle. Une évaluation de la capacité réelle de traitement est nécessaire afin de déterminer si une modification du dispositif actuel suffirait ou s'il conviendrait d'opter pour une solution disponible sur le marché.

## UN RÉACTEUR DE PYROLYSE PEUT-IL FONCTIONNER EN AUTOTHERMIE COMPTE TENU DU CARACTÈRE ENDOTHERMIQUE DE LA RÉACTION ?

**Adrien BELACEL** : Chaque étage du réacteur de pyrolyse dispose d'un contrôle de température. En fonction des observations sur les cendres en sortie, un ajustement de la température est effectué si nécessaire. Les racleurs présents à chaque étage, dont la vitesse est réglable, permettent de contrôler le temps de séjour des matières. L'objectif est d'agir sur la température et la durée pour obtenir en sortie des cendres inertes, sans résidus organiques. L'autothermie ne peut être mise en œuvre à l'étape pilote mais elle sera étudiée pour le passage à l'échelle industrielle : c'est un défi.

## LA MÉTHANATION EST-ELLE BIOLOGIQUE OU CATALYTIQUE ?

**Léo MUTZIG** : Le water gas shift est catalytique. La méthanation quant à elle repose sur un procédé biologique.

# TABLE RONDE 3 / « NUTRIMENTS : MULTIPLIER LES VOIES DE RÉCUPÉRATION »

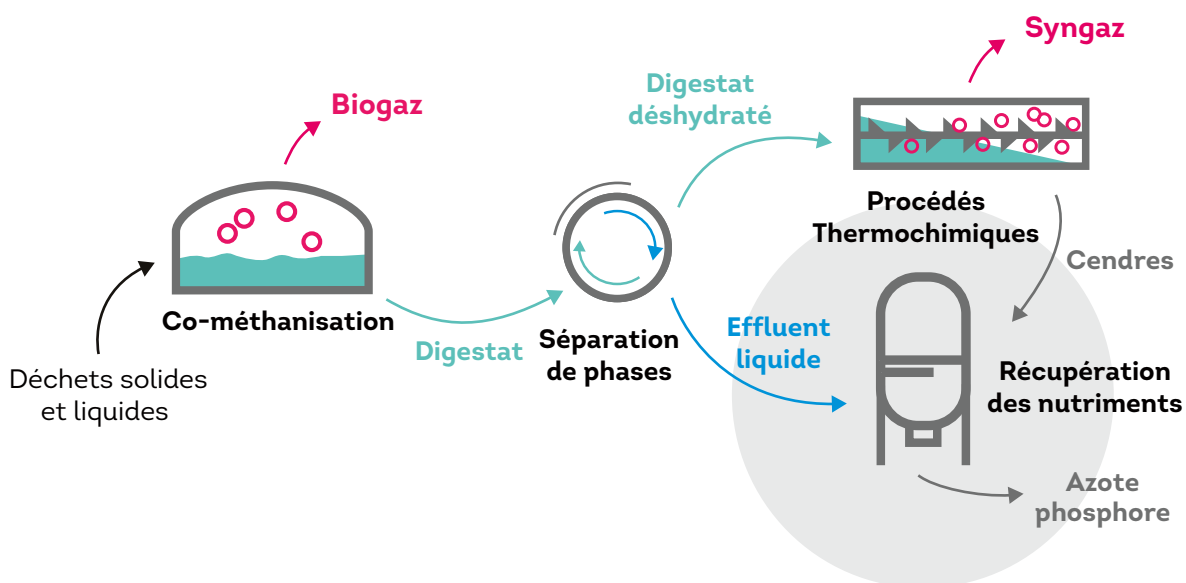


**ALEXANDRE BOUVET**

**RESPONSABLE DU PÔLE TRAITEMENT DES EAUX  
SETEC HYDRATEC**

La récupération des nutriments constitue un axe majeur de Cométha. L'azote et le phosphore représentent aujourd'hui des enjeux économiques et environnementaux de premier plan, étroitement liés aux questions énergétiques. La production d'engrais azotés repose en effet sur le procédé Haber-Bosch, particulièrement énergivore et dépendant du gaz naturel. Concernant le phosphore, les réserves de roches phosphatées sont estimées à seulement 200 à 300 ans. Leur épuisement futur rendra indispensable l'identification de nouvelles sources afin de satisfaire les besoins agricoles. Ce contexte impose une réflexion approfondie sur la circularité des flux dans les systèmes d'assainissement et de gestion des déchets.

Cette circularité repose sur plusieurs leviers. La valorisation agronomique des boues constitue une pratique historique, mais elle reste confrontée à des contraintes importantes, notamment en matière de stockage, de transport et de qualité. Bien que cette filière demeure pertinente, le développement de solutions alternatives apparaît nécessaire. Des technologies de récupération des nutriments se développent ainsi aujourd'hui, constituant un autre pilier de Cométha. Par ailleurs, des approches complémentaires émergent, telles que la séparation des urines à la source.



Précurseur dès son lancement il y a une dizaine d'années, Cométha a intégré la récupération des nutriments comme un objectif central, au même titre que le bilan énergétique et l'optimisation de la production de méthane. Ce programme offre encore aujourd'hui un cadre privilégié pour expérimenter et évaluer différentes solutions appliquées aux fractions solides et liquides.

Deux types de flux sont concernés par la récupération des nutriments. D'une part, après la méthanisation et les procédés thermochimiques, les cendres ou résidus générés contiennent du phosphore, récupérable au sein de la fraction solide. D'autre part, la fraction liquide issue de la séparation des phases permet la récupération de l'azote et du phosphore grâce aux différents ensembles fonctionnels expérimentés sur les pilotes. Dans le jus de déshydratation du digestat (ou « filtrat »), l'azote est majoritairement présent sous forme d'ammonium.

## LA RÉCUPÉRATION DE L'AZOTE

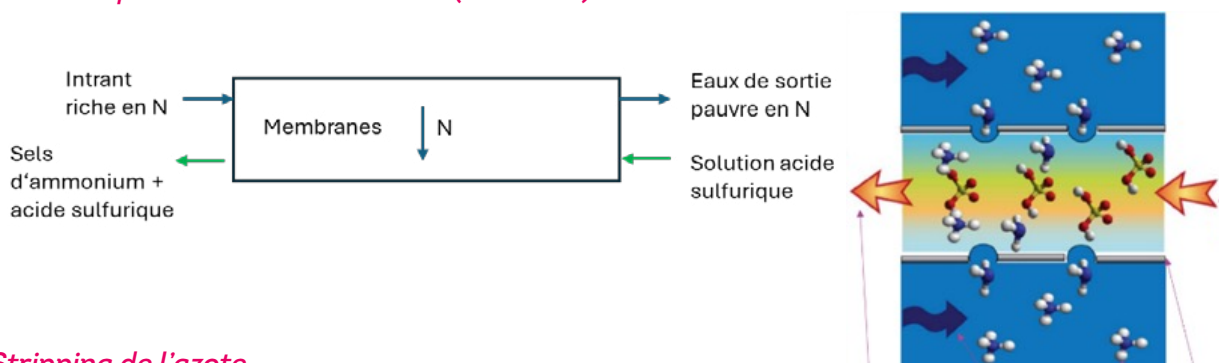
**ALEXANDRE BOUVET**

**RESPONSABLE DU PÔLE TRAITEMENT DES EAUX  
SETEC HYDRATEC**

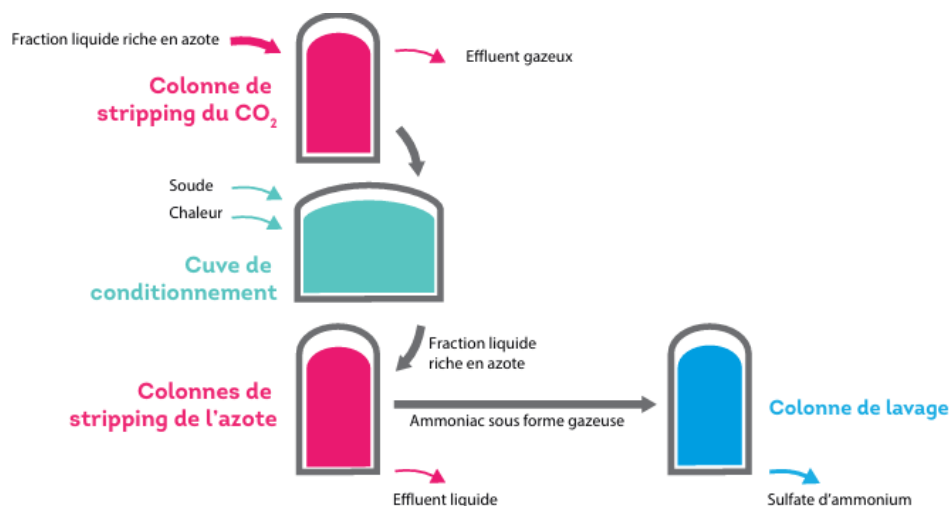
Deux procédés principaux ont été évalués : le stripping sur le pilote de Seine Valenton et la chimisorption transmembranaire sur le pilote de Seine Grésillons.

Dans les deux cas, l'ajustement du pH est réalisé à l'aide de soude, voire d'acide sulfurique. Ces procédés aboutissent à la production d'une solution de sulfate d'ammonium, directement valorisable en agriculture.

### Chimisorption transmembranaire (AmoRe)



### Stripping de l'azote





## ANTOINE DALIBARD INGÉNIEUR DE RECHERCHE

La chimisorption transmembranaire, mise en œuvre via le procédé AmmoRe, a été retenue pour le site de Seine Grésillons pour la récupération de l'ammonium. Ce procédé repose sur l'utilisation de contacteurs membranaires : l'effluent entrant, riche en azote, entre en contact avec la membrane, au travers de laquelle s'opère un transfert de masse à l'état gazeux. L'azote est ainsi transféré sous forme d'ammoniac, récupéré de l'autre côté de la membrane dans une solution d'acide sulfurique. L'ammoniac réagit pour former un sel d'ammonium, valorisable en agriculture.

Trois paramètres de procédé sont déterminants pour l'efficacité du système : le pH, la température et le temps. Après optimisation de ces paramètres, un taux de récupération de l'ordre de 75 % a été atteint. À l'échelle industrielle, les performances attendues se situent généralement entre 80 et 85 %. La concentration cible de la solution de sulfate d'ammonium produite est d'environ 20 g/L. Le procédé débute avec une solution d'acide sulfurique concentrée, qui s'enrichit progressivement en ammonium jusqu'à atteindre cette concentration cible. La solution est alors renouvelée.

Concernant la consommation énergétique, les valeurs mesurées à l'échelle pilote ne sont pas pleinement représentatives des performances envisageables à l'échelle industrielle où des optimisations supplémentaires permettraient d'envisager la réduction des besoins énergétiques.

Une élévation du pH est nécessaire à la chimisorption transmembranaire. Dans l'agencement des technologies, l'étape de récupération de l'azote a été positionnée en aval de la récupération du phosphore, au cours de laquelle une augmentation du pH avait déjà été réalisée. Cette configuration permet de limiter l'ajout de base pour la chimisorption transmembranaire.

La technologie est fonctionnelle à l'échelle pilote. Toutefois, des difficultés ont été rencontrées au niveau des membranes, en raison de la présence d'acides gras volatils dans les intrants qui ont partiellement dégradé certaines d'entre elles. Certaines membranes ont dû être remplacées, tandis que d'autres ont pu être régénérées. Pour le passage à l'échelle industrielle, il apparaît nécessaire d'intervenir en amont du procédé afin de réduire ou d'éliminer ces composés, ou bien de collaborer avec des fabricants de membranes pour développer des matériaux plus robustes, capables de résister durablement à ce type de contraintes.

### *Installation de stripping de l'azote de l'unité pilote de Seine Valenton*



## ADRIEN BELACEL

### RESPONSABLE D'EXPLOITATION

#### JOHN COCKERILL

Le stripping de l'azote est précédé d'une étape de stripping du  $\text{CO}_2$  afin d'optimiser la consommation de réactifs. L'augmentation du pH qui en résulte conduit à réduire la quantité de soude nécessaire par rapport à un procédé débutant directement par le stripping de l'azote inférieure. À l'issue des essais de stripping du  $\text{CO}_2$ , une élévation du pH légèrement supérieurs à un demi-point a été observée, de 8 à 8,4. Cette amélioration a permis une économie de soude d'environ 0,7 litre par  $\text{m}^3$  de filtrat. La consommation de soude dépend fortement des paramètres de fonctionnement. Le stripping de l'azote est actuellement testé à différents niveaux de pH. Lorsque le procédé est opéré à un pH de 9, la consommation de soude est réduite d'environ 50 % par rapport à un fonctionnement sans stripping préalable du  $\text{CO}_2$ . Avec un pH de 10, l'économie de soude est estimée à environ 25 %.

Le stripping de l'azote est également évalué à différentes températures. À ce stade, le pilote fonctionne volontairement dans des conditions défavorables, avec une température d'environ  $30^\circ\text{C}$  et une consommation énergétique limitée. L'énergie consommée par le procédé provient des pompes, des ventilateurs et de la chauffe pour faire passer le filtrat du digestat de  $15^\circ\text{C}$  à  $30^\circ\text{C}$ . Des essais sont actuellement menés à  $30^\circ\text{C}$  pour différentes plages de pH. Même dans ces conditions défavorables, certains essais permettent d'atteindre une concentration en azote ammoniacal dans le filtrat inférieure à 150 mg/L, correspondant à l'objectif fixé. Par ailleurs, une concentration en sulfate d'ammonium d'environ 28 g/L est atteinte dans la solution de récupération.

Les performances observées sont fortement influencées par le ratio air/liquide, défini comme le rapport entre le débit de filtrat et le débit d'air injecté en contre-courant dans les deux colonnes de stripping. Selon la valeur de ce ratio, les objectifs peuvent être atteints ou non. Des ratios air/liquide élevés permettent d'atteindre plus facilement les performances cibles, mais impliquent une consommation énergétique accrue au niveau des pompes et des ventilateurs. L'enjeu est donc d'explorer d'autres conditions de fonctionnement, notamment différentes températures et valeurs de pH, afin d'identifier des ratios air/liquide plus faibles permettant néanmoins d'atteindre les objectifs de performance.

Il est nécessaire de consolider les résultats obtenus et d'évaluer à des pH et des températures plus élevés, l'existence d'un gain significatif en termes de stripping et de récupération de l'azote.

L'enjeu principal sur le pilote de Seine Valenton concerne toutefois la qualité des filtrats. En effet, au niveau des presses, les particules organiques les plus fines se retrouvent dans le filtrat, ce qui entraîne des phénomènes de colmatage au niveau des garnitures des colonnes de stripping. Cette problématique est majeure car elle impose des nettoyages fréquents des colonnes afin de pouvoir poursuivre les essais. En phase industrielle, il pourrait être envisagé d'ajouter une seconde étape de séparation sur le filtrat, par exemple par centrifugation, ou d'optimiser l'étape de décantation déjà présente sur le site.

## LA RÉCUPÉRATION DU PHOSPHORE

**ALEXANDRE BOUVET**

**RESPONSABLE DU PÔLE TRAITEMENT DES EAUX**

**SETEC HYDRATEC**

Sur Cométha, le phosphore est présent dans la fraction liquide, via le jus de déshydratation des digestats, et dans la fraction solide au niveau des cendres issues de la pyrolyse ou de la gazéification. La Phase 1 de Cométha a montré que le phosphore est majoritairement concentré dans la fraction solide, sous forme de gâteaux de déshydratation ou de résidus séchés, tandis qu'une fraction limitée se retrouve dans la phase liquide. La Phase 1 a aussi mis en évidence que le phosphore présent dans la fraction liquide est en partie associé au fer, en lien avec l'utilisation de chlorure ferrique en station d'épuration, ce qui le rend moins facilement mobilisable. À partir de ces observations, les deux groupements de la Phase 2 ont retenu des stratégies distinctes. Le groupement Seine Grésillons a choisi de travailler sur les deux fractions, en mettant en œuvre des procédés spécifiques pour la fraction liquide et pour la fraction solide. Le groupement Seine Valenton a concentré ses travaux exclusivement sur la fraction solide.

Dans les deux cas, l'objectif est de récupérer le phosphore afin d'envisager une valorisation agricole des sous-produits obtenus. Dans une logique d'absence de retour au sol des déchets bruts et de circularité des nutriments, l'enjeu est de produire des composés valorisables en agriculture, tels que :

- > Des struvites et des sels phosphatés principalement issus des procédés de récupération appliqués à la fraction liquide ;
- > De l'hydroxyapatite, obtenue par un procédé chimique de récupération du phosphore à partir des cendres, directement valorisable en agriculture ;
- > De l'acide phosphorique issu d'un procédé thermique appliqué aux cendres, nécessitant une étape de purification après production.

À l'instar de la récupération de l'azote, les procédés de récupération du phosphore soulèvent des enjeux importants en termes de consommation énergétique pour les procédés thermiques et de consommation de réactifs pour les procédés chimiques.

*Microfiltration et unité EPHOS® de récupération du phosphore de l'unité pilote de Seine Grésillons*



**ANTOINE DALIBARD**  
**INGÉNIEUR DE RECHERCHE**  
**FRAUNHOFER IGB**

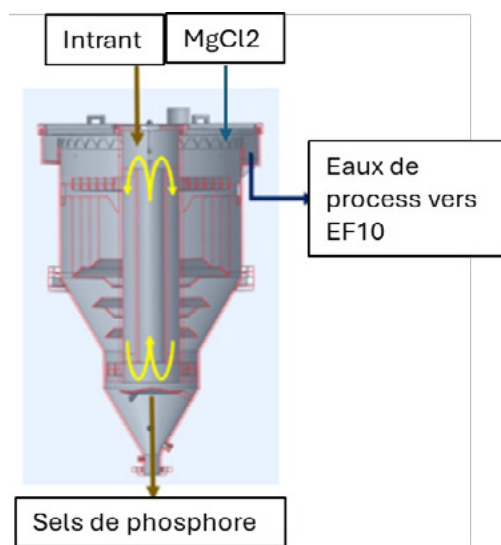
Deux technologies ont été comparées pour la récupération du phosphore.

La première repose sur la précipitation chimique, qui consiste à augmenter le pH dans un réacteur à l'aide d'une base puis à ajouter du chlorure de magnésium afin de fournir l'élément nécessaire à la précipitation. Ce procédé permet d'atteindre des taux de récupération d'environ 90 %, avec une consommation énergétique comprise entre 5 et 20 kWh par kilogramme de sel de phosphaté récupéré. La technologie chimique est déjà éprouvée et ne présente pas de difficultés particulières pour une mise en œuvre à l'échelle industrielle.

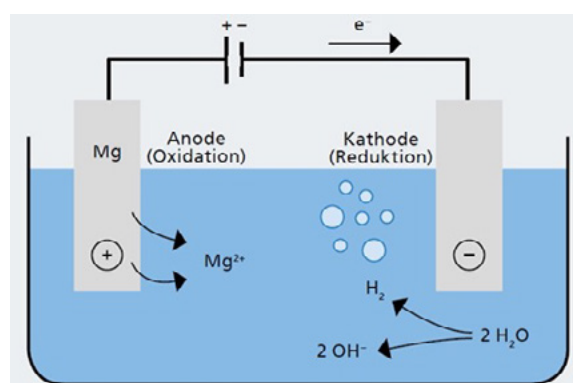
La seconde technologie étudiée est la précipitation électrochimique appelée ePhos®, développée par l'institut Fraunhofer. Les paramètres clés du procédé sont le pH et l'intensité électrique appliquée à une cellule électrolytique composée d'une anode sacrificielle et d'une cathode inerte. Le courant appliqué provoque la dissolution de l'anode en magnésium, libérant ainsi les ions nécessaires à la formation de struvite. Après optimisation des paramètres, les taux de récupération atteignent 90 à 93 % avec une consommation énergétique comprise entre 20 et 80 kWh/kg de sel de struvite récupéré. Il n'existe pas encore d'installation industrielle pour la technologie ePhos®. Des concepts d'industrialisation ont été envisagés, reposant sur une approche modulaire permettant d'augmenter la taille des unités par ajout de modules. Bien que des contacts aient été établis avec certains fabricants, aucun investisseur ne s'est encore engagé pour financer les dernières étapes nécessaires à l'industrialisation.

Un point critique concerne également la séparation de phases préalable à la récupération des nutriments. Il est essentiel de garantir que lorsque la récupération est ciblée sur la phase liquide, la majorité des nutriments y soient transférés. Sur le site de Seine Grésillons, une étape d'acidification avec la séparation solide-liquide a été mise en place pour favoriser ce transfert. Cependant, les résultats n'ont pas été entièrement concluants et des améliorations restent nécessaires pour optimiser cette étape et assurer que les nutriments se retrouvent dans la fraction souhaitée.

**Précipitation chimique du phosphore**



**La technologie ePhos® pour la précipitation électrochimique du phosphore**





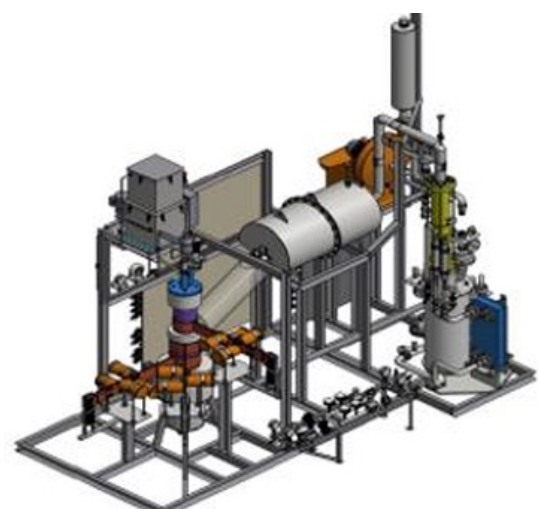
## ANTOINE BRUNET

### INGÉNIEUR SOURCES

Le phosphore suit l'ensemble du procédé jusqu'à l'étape de pyrolyse, où il se retrouve concentré dans les cendres. Cette voie de valorisation présente un intérêt particulier car les analyses de la Phase 1 ont révélé qu'environ 10 % en masse des cendres contiennent du phosphore. Deux partenaires ont été mobilisés pour leur travail sur des procédés adaptés : EasyMining et l'Université de Leoben (Autriche).

L'université de Leoben a travaillé sur un procédé électrothermique (RecoPhos). Celui-ci consiste à mélanger chaux, coke et cendres, puis à introduire ce mélange dans un four à induction porté à 1800°C. Le phosphore est récupéré sous forme de gaz (oxyde de phosphore), avant d'être transformé en acide phosphorique via un laveur. Ce procédé génère également des sous-produits et affiche un taux de récupération élevé, compris entre 85 et 90 % mais il est très énergivore avec une consommation environ dix fois supérieure à celle des procédés chimiques.

### *La technologie RecoPhos (électrothermie) pour la récupération du phosphore sur fraction solide*



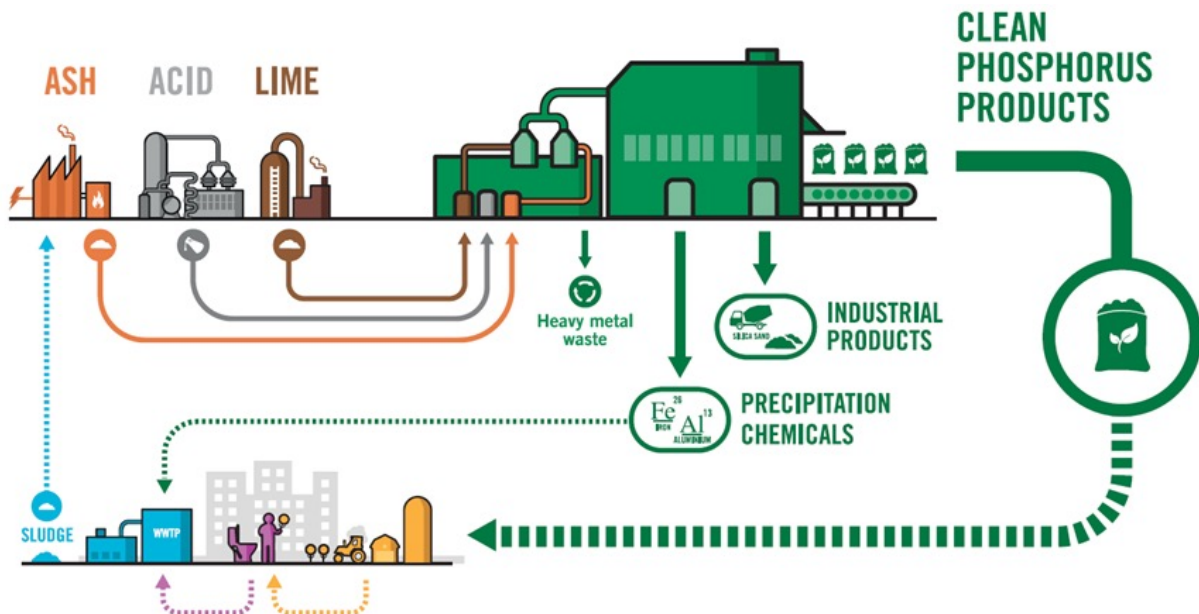
De son côté, EasyMining a développé le procédé Ash2™Phos, basé sur la chimie. Il repose sur la lixiviation des cendres à l'aide d'acide chlorhydrique et de chaux, suivie d'une précipitation permettant d'obtenir de l'hydroxyapatite, directement utilisable dans des applications agroalimentaires (dentifrices, engrais). Ce procédé présente l'avantage d'une faible consommation énergétique, mais nécessite des quantités importantes de réactifs chimiques.

En comparaison, les deux procédés offrent des taux de récupération intéressants mais leurs consommations sont très différentes :

- > RecoPhos est très énergivore mais peu consommateur de produits chimiques ;
- > Ash2™Phos est peu énergivore mais requiert davantage de réactifs.

À titre indicatif, Ash2™Phos nécessiterait près de dix fois plus de produits chimiques que RecoPhos.

La technologie Ash2Phos (lixiviation) pour la récupération du phosphore sur fraction solide



Les deux procédés présentent des niveaux de maturité différents. Le procédé RecoPhos est encore au stade expérimental, avec un pilote avancé correspondant à un TRL 6. Le procédé Ash2™Phos affiche un TRL 8, bien plus proche d'une application industrielle. Selon EasyMining, la taille critique pour atteindre une rentabilité économique se situe autour de 10 000 tonnes d'intrants par an, soit une capacité 200 à 300 fois supérieure à celle du pilote actuel, ce qui implique des unités industrielles de grande dimension. La question reste donc ouverte : faut-il implanter ces procédés directement sur un site industriel type Cométha, développer une unité dédiée, ou s'appuyer sur des sites existants capables d'absorber ces volumes ? À ce jour, EasyMining prévoit l'ouverture de deux usines d'une capacité de 30 000 tonnes par an confirmant que l'intérêt technico-économique croît avec le volume d'intrants.



## PERSPECTIVES



**ALAIN GERMEAU**

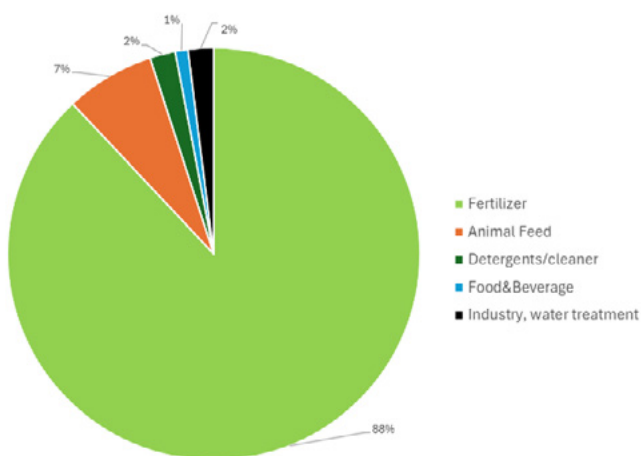
**VICE-PRÉSIDENT DÉVELOPPEMENT DE PROJET PRAYON**

Prayon est une entreprise spécialisée dans la chimie du phosphate.

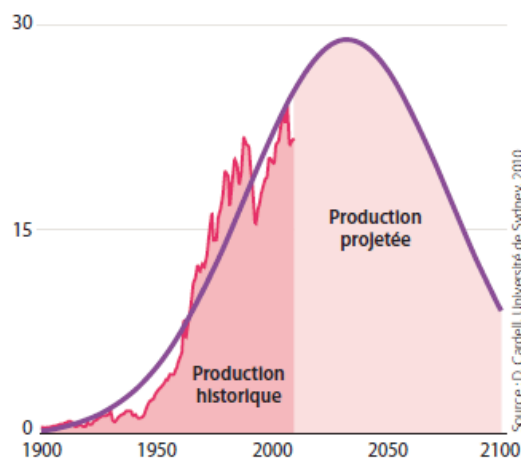
Chaque année, environ 220 millions de tonnes de roches phosphatées sont extraites, représentant entre 35 000 et 90 000 tonnes de  $P_2O_5$  (pentoxyde de phosphore). Les réserves mondiales identifiées atteignent près de 300 millions de tonnes, bien que toutes ne soient pas exploitables. La principale utilisation du phosphore est la production d'engrais, qui représente 88 % de la consommation mondiale de phosphate. Les autres usages incluent l'alimentation animale, l'industrie alimentaire et des boissons, le traitement de l'eau, ainsi que les détergents (dont la teneur en phosphate diminue progressivement).

Les projections indiquent un pic de disponibilité du phosphate autour de 2070, suivi d'un déclin, même si la découverte de nouveaux gisements peut repousser cette échéance. Le phosphore est classé parmi les matières premières critiques, ce qui renforce l'importance d'optimiser son utilisation et de développer des solutions de recyclage, d'où l'intérêt de Cométha.

*Estimation de la répartition de la consommation de phosphate*



*Évolution de la disponibilité du phosphate*



Prayon intervient aujourd'hui dans plusieurs applications :

- > Technique : l'acide phosphorique de très haute pureté est utilisée pour le nettoyage des plaques électroniques, permettant de dissoudre certains éléments et d'obtenir des surfaces parfaitement propres ;
- > Alimentaire : dans les boissons comme le coca-cola, l'acidité caractéristique provient de l'acide phosphorique. Les poudres levantes utilisées en pâtisserie contiennent des phosphates associés au carbonate de sodium : la réaction libère du  $CO_2$ , ce qui permet à la pâte de lever ;
- > Horticulture : les fertilisants destinés à l'irrigation goutte-à-goutte nécessitent des produits extrêmement purs afin d'éviter la présence d'éléments insolubles susceptibles d'obstruer les systèmes d'arrosage.

SPECIFICATIONS IDEALES		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	< 0,7
As	ppm	< 3
CaO	%	48-52
Cd	ppm	< 1
Cl	ppm	< 600
CO <sub>2</sub>	%	< 0,5
F	%	< 3,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	< 0,7
H <sub>2</sub> O 105°C	%	0,5 - 1,5
K <sub>2</sub> O	%	< 0,3
MgO	%	< 0,2
Na <sub>2</sub> O	%	< 0,75
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	36-39
SiO <sub>2</sub> total	%	< 3
Sr	ppm	< 5
Th	ppm	< 22
Ti	ppm	< 1500
TOC	(%)	< 0,05
U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	ppm	< 8
MER	%	< 4,5
mg Cd / kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		< 3
Ratío CaO/P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		< 1,5

À l'échelle industrielle, Prayon consomme environ 400 000 tonnes par an de roche phosphatée, ce qui correspond à 160 000 tonnes de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ou 70 000 tonnes de phosphore. Avec un coût moyen de 300\$ par tonne, cela représente une dépense annuelle d'environ 120 millions de dollars (soit près de 100 millions d'euros).

L'utilisation des produits phosphatés dans les procédés industriels impose plusieurs contraintes :

- > Composition chimique : les teneurs en aluminium, fer et magnésium doivent rester maîtrisées. Des niveaux trop élevés rendent les produits visqueux, ce qui peut endommager les pompes et agitateurs ;
- > Matières organiques : fréquentes dans les produits à recycler, elles peuvent altérer la couleur des produits finis et provoquer des mousses ingérables à grande échelle ;
- > Chlore : sa présence pose des problèmes de corrosion, notamment sur les équipements en inox ;
- > Normes alimentaires et industrielles : la traçabilité des matières premières est essentielle, ainsi que le respect des seuils réglementaires (cadmium pour les engrais, titane pour les acides phosphoriques purifiés).

Lors de la production d'acide phosphorique, un sous-produit majeur est le gypse (sulfate de calcium), aujourd'hui largement recyclé dans la construction pour la fabrication de plâtre. Cependant, ce recyclage impose le respect de normes strictes, notamment en matière de radioactivité, car les phosphates contiennent naturellement des traces radioactives.

À l'échelle mondiale, il existe deux types de roches phosphatées : les roches ignées, issues des formations volcaniques, et les roches sédimentaires, provenant des dépôts océaniques. Les roches ignées ont une disponibilité limitée et sont coûteuses, mais Prayon privilégie leur utilisation afin de réduire les risques liés à la radioactivité. Pour diversifier ses approvisionnements, Prayon a engagé plusieurs actions :

- > Ouverture de nouvelles mines de roches ignées au Québec, malgré les contraintes liées aux permis et aux investissements importants ;
- > Développement de procédés de valorisation de roches pauvres (technologies GetMoreP, ECOPHOS) afin de produire des dérivés phosphatés compatibles avec ses besoins, bien que ces procédés soient coûteux et parfois difficiles à mettre en œuvre ;
- > Exploration des phosphates résiduels, notamment dans les boues de stations d'épuration qui représentent un potentiel de 700 000 tonnes de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> par an en Europe (soit environ 300 000 tonnes de phosphore).

S'y ajoute le lisier animal, qui constitue une ressource considérable avec près de 4 millions de tonnes de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> par an, soit 1,7 million de tonnes de phosphore.

Prayon recycle actuellement environ 1 % du phosphore qu'il utilise, principalement grâce à la récupération d'acides phosphoriques usagés provenant de certains clients ou d'acteurs du secteur du traitement de l'eau, chez lesquels le phosphore est précipité sous forme de phosphate dicalcique. Ces produits, parfaitement tracés et issus d'industries chimiques, peuvent être réintroduits comme intrants dans les procédés de Prayon. Cependant, certaines limites subsistent, notamment pour les produits destinés à l'alimentation et soumis à des certifications halal et casher. Les matières premières issues de boues d'épuration ou d'os animaux posent en effet des difficultés, Prayon ne disposant que d'une seule ligne de production, ce qui complique la séparation des flux conformes ou non aux exigences religieuses.

Un exemple concret illustre ces contraintes : la valorisation des cendres issues de la production de farines animales de catégorie 1 pour un client français. Environ 4 000 tonnes de cendres étaient récupérables avec une teneur en phosphate de 38 %, équivalente à celle d'un phosphate naturel. L'objectif était de les recycler pour produire des engrais, tels que le superphosphate triple (0-45-0). Toutefois, la présence élevée de matières organiques, de chlore, ainsi que d'éléments comme l'arsenic et le cadmium a soulevé des difficultés. Le principal obstacle a finalement été réglementaire : lors de la demande d'accréditation du produit fini, les autorités ont exprimé des réserves liées à la nature des farines animales, exigeant des garanties sur l'absence d'impuretés incompatibles avec la chaîne alimentaire. Ce cas souligne l'importance, dès le démarrage d'un projet, d'établir un dialogue avec les autorités pour définir les exigences, les autorisations et les preuves nécessaires concernant l'impact des matières recyclées sur les produits finis. Trouver des experts ou des organismes reconnus pour accompagner ces démarches reste un exercice complexe.

Pour conclure, si Prayon devait intégrer des matières comme celles de Cométhha, les applications envisageables seraient principalement techniques car elles impliquent des autorisations plus simples à obtenir. À titre d'exemple, la struvite, bien qu'utilisée en agriculture, ne peut être intégrée dans les procédés de Prayon en raison de la présence d'ammonium et de magnésium, incompatible avec ses marchés. Toutefois, des usages externes restent possible pour ce produit. Une piste intéressante serait d'imaginer des chaînes de transformation intermédiaires : des sociétés spécialisées pourraient convertir les produits issus d'une première valorisation en engrais de qualité, avant qu'ils ne soient purifiés et transformés en sels de phosphate par Prayon. Cette approche nécessiterait, dès le départ, une validation réglementaire avec les autorités afin de garantir que les technologies mises en œuvre permettent de produire des matières valorisables, conformes aux exigences législatives. Ce point demeure aujourd'hui le principal défi : avant toute décision industrielle, l'obtention des autorisations et la démonstration de conformité restent des étapes complexes, nécessitant l'appui d'experts et d'organismes reconnus.

## ALEXANDRE BOUVET

### RESPONSABLE DU PÔLE TRAITEMENT DES EAUX SETEC HYDRATEC

Pour des usages à haute valeur ajoutée comme ceux de Prayon dans le domaine alimentaire, les contraintes réglementaires et législatives constituent un frein majeur au recyclage direct des matières.

En revanche, une étape intermédiaire est envisageable : la valorisation sur des produits à moyenne valeur ajoutée, notamment les engrais agricoles, qui représentent la principale consommation mondiale de phosphore. Aujourd'hui, la struvite est déjà produite dans le cadre de l'unité pilote Seine Grésillons par la récupération de phosphore sur la fraction liquide. La struvite est également récupérée par certaines stations d'épuration en France. Toutefois, ces dernières années, et faute de filière structurée, la struvite était souvent stockée sans exutoire, en raison de contraintes réglementaires. Bien que des valorisations ponctuelles existent à des tarifs intéressants, il manque encore une chaîne organisée entre le secteur de l'assainissement et les utilisateurs finaux pour ces sous-produits phosphatés.

Aujourd'hui, le lien commercial entre acteurs de l'assainissement et industriels reste à construire afin d'organiser la valorisation/vente des déchets valorisables de l'assainissement tels que les struvites. Les industriels peuvent en effet intégrer ces sous-produits dans leurs procédés pour fabriquer des produits finis. C'est l'industriel qui détient l'accréditation produit, garantissant la conformité réglementaire.



# CONVERSATION DE CLÔTURE : PRISE DE REcul SUR 10 ANNÉES DE PROJET



## CLAIRE VITTOZ

DIRECTRICE AXE OPTIMISATION DES RESSOURCES  
SETEC ÉNERGIE ENVIRONNEMENT

## NATHALIE AMIOT

RESPONSABLE DE PROJETS MÉTHANISATION & INNOVATION  
SYCTOM

**Claire Vittoz** : En tant qu'assistants à maîtrise d'ouvrage, setec énergie environnement et setec hydratec sont intervenus après la rédaction du cahier des charges par le Syctom et le SIAAP. À la lecture du cahier des charges, nous nous étions alors interrogés sur comment il serait possible de dépasser 100 % de BMP. Nous faisons alors l'hypothèse qu'il y aurait des procédés en amont et en aval de la méthanisation. Cependant, une question centrale demeurerait : le mélange des intrants améliorerait-il la méthanisation ?

**Nathalie Amiot** : Les candidats ont probablement perçu cette approche comme audacieuse de la part des maîtres d'ouvrage. D'ailleurs, quelques-uns n'ont pas compris l'orientation et n'ont pas pris le virage dès la phase de candidature. Mais nous avons tenu à faire preuve d'ouverture en favorisant l'innovation, en bénéficiant de la confiance de notre hiérarchie.

**Claire Vittoz** : La force de ce projet réside dans sa capacité à aller chercher l'innovation, en explorant des solutions à des échelles inédites pour l'industrie. Il s'agissait d'un véritable défi : faire progresser la maturité technologique en moins de dix ans, pour atteindre des niveaux compatibles avec une mise en œuvre industrielle.

**Nathalie Amiot** : Cométha portait de grandes ambitions : faire évoluer le cadre réglementaire, notamment sur les mélanges, la nomenclature des installations, le statut des déchets, ou encore l'injection de nouveaux gaz. Mais la question demeure : ces lignes ont-elles réellement bougé ?

**Claire Vittoz** : Il est encore trop tôt pour en tirer des conclusions définitives, mais l'espoir demeure que les initiatives engagées aujourd'hui porteront leurs fruits à l'avenir. Les graines ont été semées ; il reste à voir si elles germeront dans le temps.

**Nathalie Amiot** : Il y a néanmoins des avancées notables : au lancement de Cométha, la gazéification hydrothermale était très peu connue. Aujourd'hui, elle fait partie des options possibles, ce qui marque un progrès significatif par rapport à 2018.



**Claire Vittoz** : Il y a huit ans, une offre proposait la gazéification en eau supercritique. Cette technologie avait suscité une certaine hésitation en raison de la nature innovante du procédé. Pourtant, cette approche était précurseur et prometteuse, ouvrant la voie à des perspectives inédites.

**Nathalie Amiot** : La gazéification en eau supercritique est devenue une solution courante aujourd'hui. Il est fort probable que Cométha ait joué un rôle d'accélérateur, en donnant la confiance et le cadre nécessaires pour faire émerger cette innovation.

**Claire Vittoz** : La mise en œuvre de ces nouvelles technologies dans le cadre de Cométha a également permis d'engager le dialogue avec l'administration, ouvrant la voie à une possible évolution future de la réglementation relative aux installations classées pour la protection de l'environnement.

**Nathalie Amiot** : Il a fallu 8 ans pour qu'une solution passe de quasi inconnue à sérieusement envisagée, signe que certaines lignes ont évolué.



**Claire Vittoz** : Cométha fête ses 10 ans : une belle aventure humaine ! Le projet a bénéficié d'un maître d'ouvrage resté inchangé, ce qui est exceptionnel pour un projet d'une telle durée.

**Nathalie Amiot** : D'autres partenaires sont toujours aux côtés du porteur de projet comme Sensei, Parimage ainsi que setec énergie environnement et setec hydratec. C'est assez exceptionnel. Alors qu'est ce qui explique cette fidélité des interlocuteurs ?

**Claire Vittoz** : Sans aucun doute, l'innovation !

**Nathalie Amiot** : L'innovation, la motivation et la communication sont les maîtres mots qui ont rassemblé tant d'acteurs autour du projet Cométha. Pour le Sycotm, ce projet a été l'occasion d'explorer des procédés peu classiques et de sortir de sa zone de confort, centrée sur les centres de tri et les unités de valorisation énergétique. Collectivement, l'horizon s'est élargi : désormais, de nouvelles solutions peuvent intégrer

le catalogue de procédés du Sycotm, tant pour la préparation des intrants que pour la valorisation des déchets. Cométha est un projet résolument productif, qui a ouvert un nouvel horizon : auparavant, le porteur de projet ne connaissait pas les interlocuteurs gaziers. Aujourd'hui, grâce aux échanges avec NaTran, GRDF et le club Pyrogazéification, le Sycotm a pu s'initier à la culture des procédés thermochimiques et enrichir ses compétences.

**Claire Vittoz** : Ce fut également une expérience enrichissante pour les entreprises qui ont découvert un univers inédit. Sans Cométha, setec n'aurait jamais intégré ces concepts thermochimiques dans ses projets.

**Nathalie Amiot** : L'un des grands enseignements de Cométha est la démonstration de la pertinence et de l'intérêt de casser les silos, en réussissant à créer une synergie forte entre le monde industriel et celui de la recherche.



**Nathalie Amiot** : Grâce à Cométha, nous avons découvert que la propriété intellectuelle est véritablement un univers à part. Pour une collectivité, il est difficile de s'y aventurer seule faute d'expertise. Sans accompagnement, réussir dans ce domaine est quasiment impossible.

**Claire Vittoz** : Des brevets ont été déposés, mais une question demeure : qu'aurait-il été possible de faire autrement ?



**Nathalie Amiot** : Dès l'origine, il aurait été pertinent de disposer d'un interlocuteur unique, capable d'accompagner le porteur de projet dans la durée et de maîtriser ces métiers très spécifiques. Finalement, Cométha, c'est 9 brevets déposés et 3 publications.

**Claire Vittoz** : Le projet touche à sa fin, après une phase 2 particulièrement longue. Elle aurait pu être plus rapide : sa durée prévisionnelle était de 36 mois.

**Nathalie Amiot** : En effet, sur le plan administratif, la préparation des dossiers s'est révélée aussi complexe que pour une unité industrielle.

**Claire Vittoz** : La seule étape qui n'a pas été réalisée est l'enquête publique. Pour le reste tout a été mené avec le même niveau d'exigence qu'une unité industrielle : notes de calcul, avis du contrôle technique, étude d'impact, et conception d'une surveillance et de contrôles propres à une installation industrielle.

**Nathalie Amiot** : D'un certain point de vue, c'est rassurant : l'administration n'a pas considéré ce projet comme anecdotique.

**Claire Vittoz** : Sur le plan technique, des exemptions étaient attendues en raison du caractère pilote des unités, ainsi que des délais d'instruction réduits. Cela n'a pourtant pas été accordé.

**Nathalie Amiot** : Cette situation a été mal anticipée car en raison de la petite taille de l'unité, nous pensions que le processus serait plus simple. C'est ce qui explique que la Phase 2 ait duré cinq ans au lieu de trois initialement prévus. Et les contraintes administratives ne sont pas la seule raison de ce prolongement.

**Claire Vittoz** : La mise en place d'un pilote est inhabituelle en France, ce qui peut susciter une certaine appréhension. Nous l'avons constaté pour Seine Grésillons.

**Nathalie Amiot** : La difficulté réside dans le fait qu'un pilote ne permet pas d'apporter le même niveau de détail qu'une unité industrielle, notamment sur les aspects environnementaux.

**Claire Vittoz** : Expliquer un procédé encore non mature au grand public demeure un exercice délicat, proche de l'équilibrisme.

**Nathalie Amiot** : Ne connaissant pas dès le départ les sites du SIAAP qui allaient accueillir les unités pilotes, c'était difficile pour nous d'anticiper. Avec le recul, il aurait fallu insérer une pause entre les deux phases afin de consacrer du temps à l'échange et à la concertation avec le public. En 2021, nous avons tout de même organisé six ateliers d'échanges avec le public.

# PARTAGER DES EXEMPLES CONCRÈTS SUR DES TECHNO NOUVELLES



**Nathalie Amiot** : En 2019, à l'occasion de la précédente Journée technique, nous nous étions engagés à revenir partager les enseignements de la Phase 2 de Cométha, ce qui justifie l'évènement d'aujourd'hui.

**Claire Vittoz** : En France, les organisations disposant d'installation de traitement ou de station d'épuration portent un vif intérêt aux enseignements du projet, notamment en ce qui concerne la gestion des mélanges.

**Nathalie Amiot** : Toutes les avancées réalisées par Cométha, notamment en matière de récupération des nutriments, vont permettre d'accélérer la capacité des acteurs à répondre aux nouvelles obligations.

**Claire Vittoz** : De nombreuses pistes ont été identifiées et accélérées, notamment autour de la cométhanisation et des procédés thermochimiques. Dès 2010, setec avait mené une étude sur l'évolution de la réglementation visant à autoriser l'injection de biométhane issu de syngaz. Le projet Cométha s'inscrit précisément dans cette dynamique, en permettant de tester ces gaz et d'explorer concrètement les conditions de leur injection.

**Nathalie Amiot** : Avec les avancées démontrées par Cométha et les objectifs nationaux, il est désormais dans l'intérêt de tous de s'intéresser aux nouveaux gaz.

**Claire Vittoz** : D'autant plus que la méthanisation, à elle seule, ne permettra pas à la France d'atteindre ses objectifs en matière de gaz verts. Dans ce contexte, les procédés thermochimiques apparaissent comme un levier indispensable à actionner.

**Nathalie Amiot** : Il ne faut pas oublier que le gaz, qu'il s'agisse de biométhane issu de la méthanisation ou des procédés thermochimiques est une énergie stockable, contrairement à d'autres formes d'énergie comme la chaleur.

**Claire Vittoz** : Ces avancées suscitent un réel intérêt, non seulement en France, mais également à l'échelle internationale.

**Nathalie Amiot** : Et depuis 2015, Cométha a présenté ses travaux dans pas moins de 15 pays.

# PERSPECTIVES

La Phase 2 de Cométha s'achèvera en 2026 et la question du devenir des pilotes de Seine Grésillons et de Seine Valenton est d'ores et déjà à l'étude. Le Sycotm et le SIAAP ont ainsi lancé un sourcing en vue de permettre l'exploitation des pilotes en tant que halles techniques de recherche. L'objectif est d'offrir aux acteurs souhaitant mener des essais, des travaux de recherche ou des analyses la possibilité de s'appuyer sur des équipements existants, opérationnels et maintenus en place, à savoir :

## Sur le site de Seine Grésillons :

- > Un réacteur d'hydrolyse thermique ;
- > Une unité de méthanisation en voie sèche ;
- > Des équipements de séparation de phases ;
- > La préparation de pellets ;
- > Le traitement de la fraction solide avec des unités de gazéification, de *water gas shift* et de méthanation biologique ;
- > Le traitement de la fraction liquide, incluant la récupération des nutriments.

## Sur le site de Seine Valenton :

- > Un réacteur d'hydrolyse thermique ;
- > Une unité de méthanisation bi-étagée en voie liquide ;
- > Des équipements de déshydratation et de séchage du digestat ;
- > Le traitement thermique du digestat avec un réacteur de pyrolyse ;
- > Ainsi que des dispositifs de récupération des nutriments.



PLUS D'INFORMATIONS : [COMETHA.FR](http://COMETHA.FR)



L'agence  
métropolitaine  
des déchets  
ménagers



Service public de l'assainissement francilien