

GAZÉIFICATION
HYDROTHERMALE
VALORISER LES DÉCHETS ORGANIQUES

**En 2024,
la filière Gazéification Hydrothermale passe à
la vitesse supérieure de son industrialisation**



Animateur



Robert MUHLKE

Responsable Gazéification Hydrothermale (GRTgaz) +
Pilote du GT Gazéification Hydrothermale (GT GH)



Sommaire

1

Introduction et mise en contexte dans la Gazéification Hydrothermale
Introduction à la technologie + présentation de l'approche AMI GH

2

Table ronde 1:
GRTgaz au nom des membres du GT GH souhaite mettre en œuvre en 2024 un Appel à Manifestation d'Intérêt (AMI) dédié à la GH avec le support du CSF NSE afin d'initier les premiers projets industriels d'ici 2027

3

Table ronde 2 :
Les solutions de traitement du syngaz à haute pression issu des futures installations GH industrielles doivent être autant adaptées à l'injection réseau que présentes en France

Introduction et mise en contexte dans la Gazéification Hydrothermale

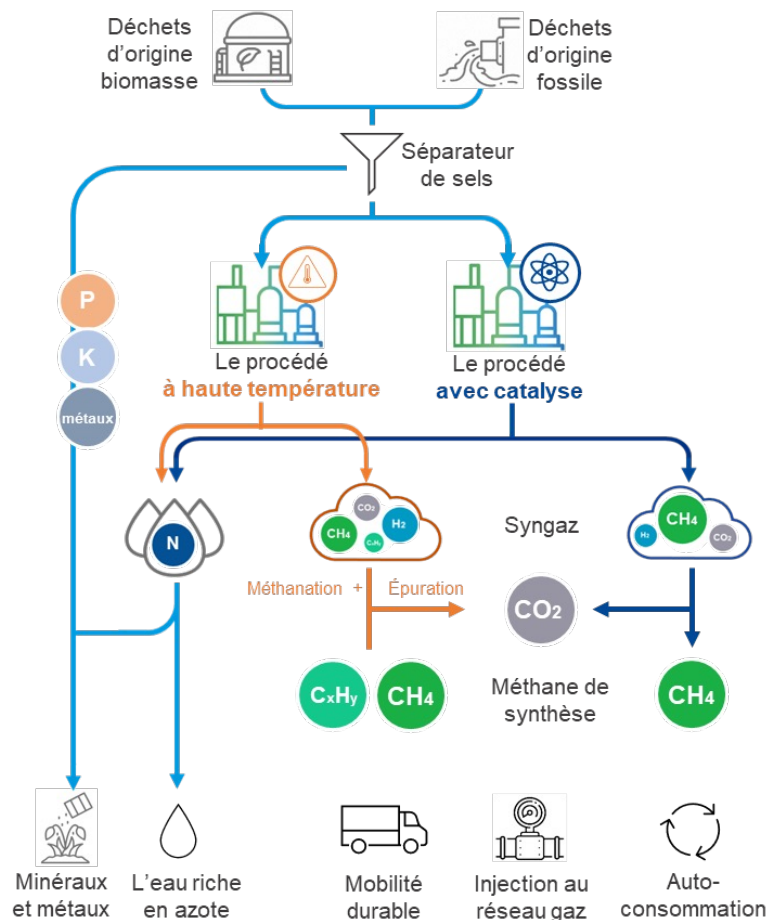


Robert MUHLKE

Responsable Gazéification Hydrothermale (GRTgaz) +
Pilote du GT Gazéification Hydrothermale (GT GH)



Fonctionnement de la Gazéification Hydrothermale (GH)



2 points indispensables au procédé

- Présence de l'eau à l'état supercritique (374°C et 221 bars)
- L'intrant doit être pompable: sa viscosité est clef !

Les principaux atouts de la GH

- Conversion carbone très complète: > 85 à 99%
- Récupération et revalorisation de minéraux, métaux, azote et eau => suppression des déchets ultimes
- Rendement énergétique élevé: 75% à 85%
- Installation compacte et modulaire
- Élimination des produits pathogènes
- Polluants atmosphériques: pas de NO_x, CO, particules !

Composition du syngaz	CH ₄	H ₂	CO ₂	C _x H _y
GH avec catalyse (*)	≤ 70%	0 à 10%	20 à 30%	-
GH haute température	25 à 40%	30 à 50%	~ 30%	≤ 12%

(* valeurs avec catalyse au ruthénium)



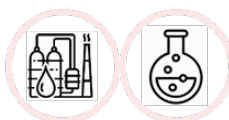
La Gazéification Hydrothermale s'adresse à un panel d'intrants très diversifiés

À ce jour, plus de 100 types de déchets d'origine biomasse et fossile ont déjà été testés avec succès ...



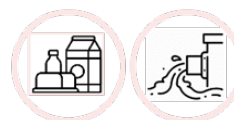
Déchets municipaux

- Boues de STEP
- Fraction organique souillée ou polluée des déchets municipaux
- Déchets organiques des déchetteries (solvant, peinture, plastiques non recyclables ou souillés, ...)
- Déchets alimentaires issus de restauration
- Sciure, poussières et fines particules de bois
- ...



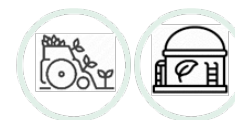
Déchets industriels

- Boues industrielles polluées
- Déchets issus d'usines chimiques (acide acrylique, glycol, solvant, monomères, etc.)
- Divers déchets de sites industriels (peinture, vernis, encre, etc.)
- Déchets de plastique et de papier (kraft) non recyclables
- Liqueur noire
- ...



Déchets industriels agro-alimentaires

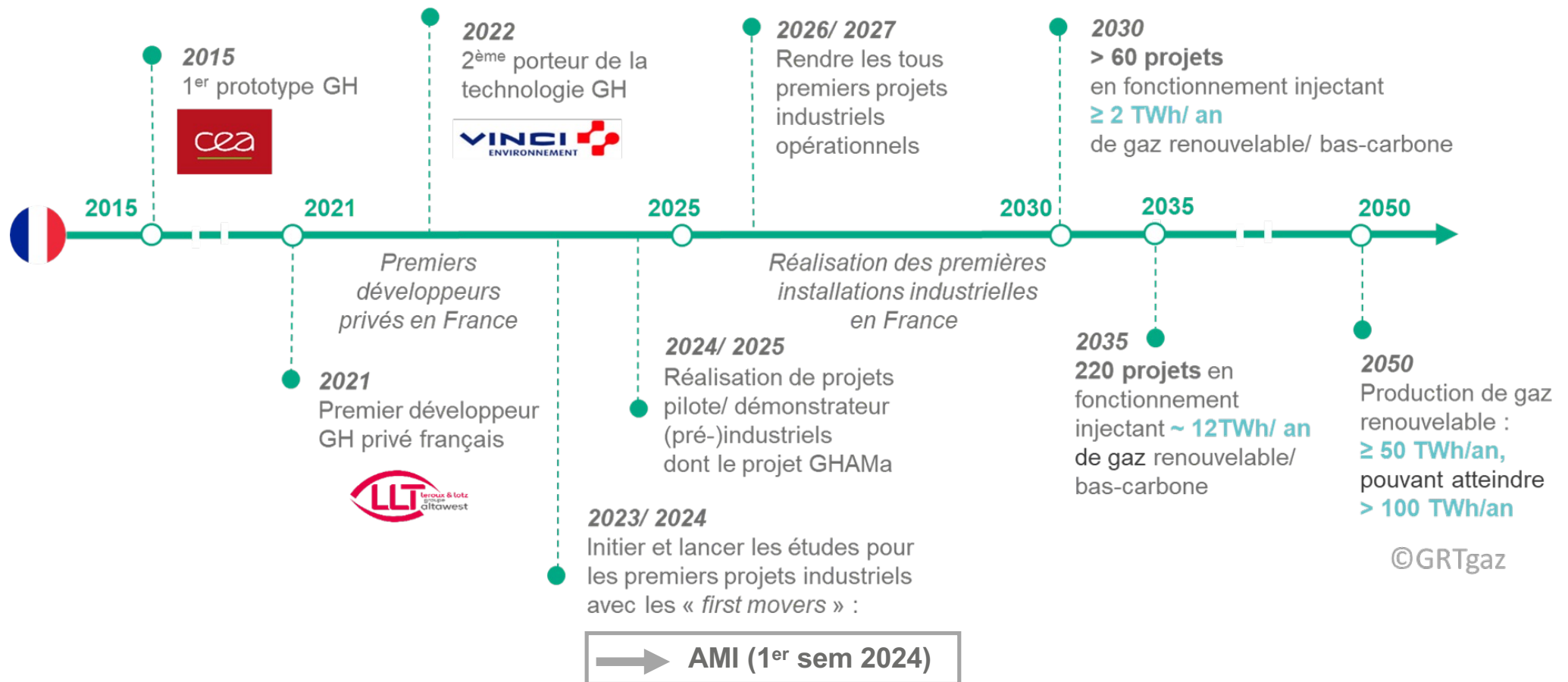
- Boues industrielles polluées
- Déchets issus de la production de biofuel (glycerol, ester, ...)
- Marc de café
- Pulpe de betteraves
- Vinasse, mélasse, drèche (distillerie)
- Déchets de céréales et de pommes de terre (amidon, son de blé, ...)
- Déchets animaliers yc poissons
- Graisses, huiles
- ...



Déchets agricoles

- Lisier et fumier d'élevage (porcins, bovins, volailles, ...)
- Peaux de banane, orange, citron, ...
- Micro-/Macroalgue
- Déchets de légumes, fruits, pommes de terre, céréales, ...
- Digestats issus de méthanisation
- Déchets de produits laitiers dont fromage
- ...

La feuille de route de la filière GH française d'ici 2030/2035 et 2050

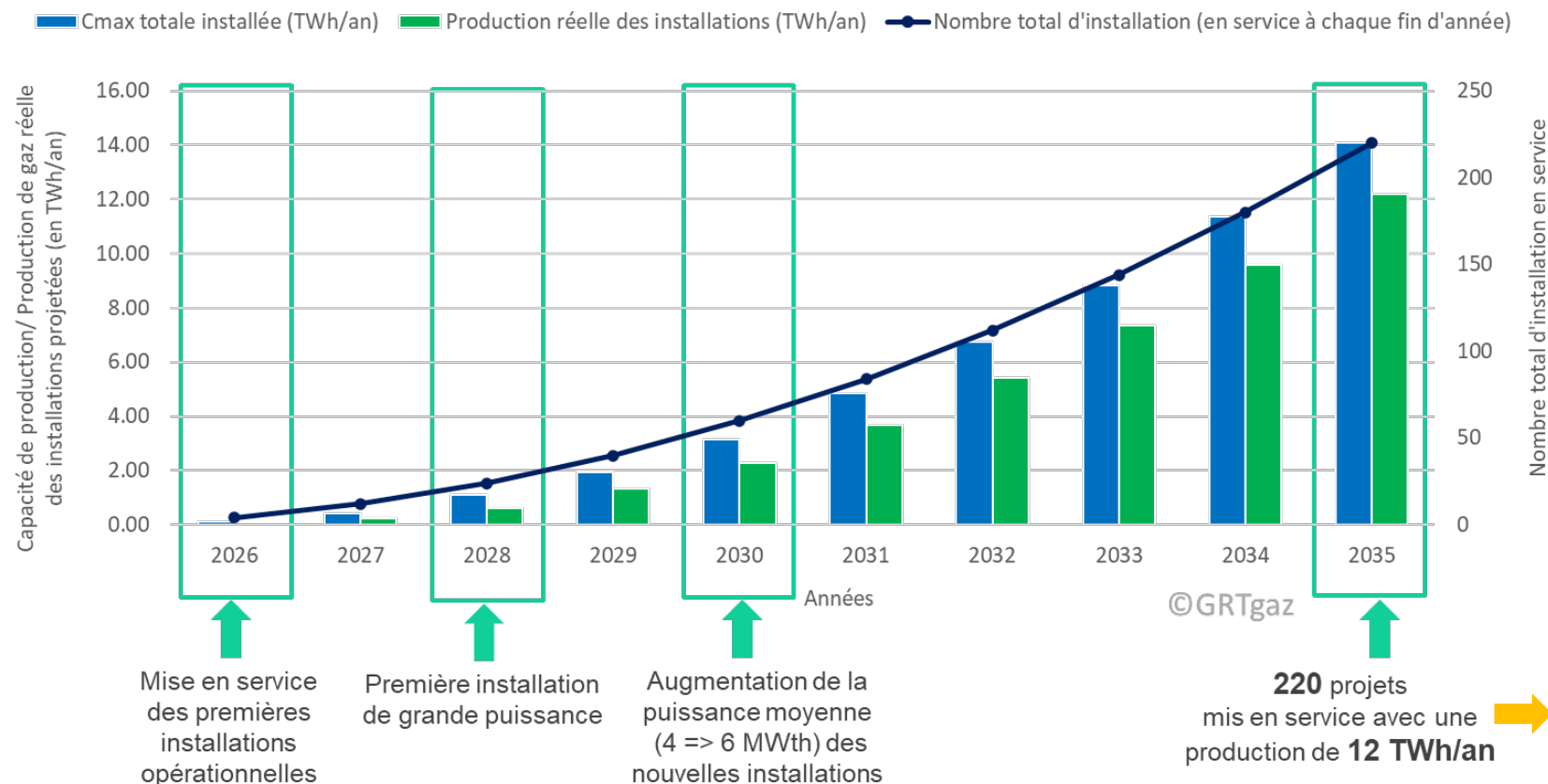


©GRTgaz



Trajectoire du développement GH ciblée d'ici 2035 en France

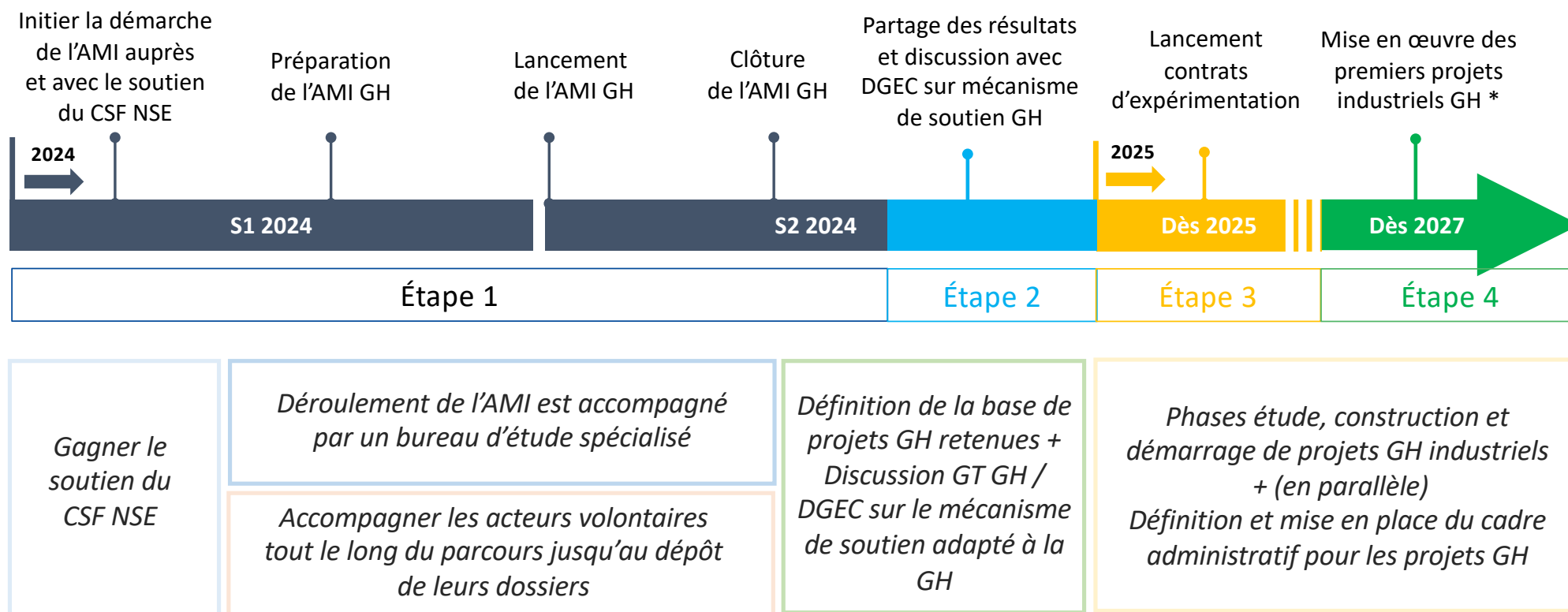
Projection du nombre total d'installations en service avec leur production annuelle de gaz injectable dans le réseau



Une énergie équivalente à un EPR de 1.600 MWe tournant à plein régime toute l'année!



Le calendrier global du parcours de la filière GH jusqu'à la mise en œuvre des premiers projets GH industriels en France



(* Objectif 2030: ≥ 2 TWh/ an \Rightarrow Objectif 2035: ≥ 12 TWh/ an)

Table ronde 1:

GRTgaz au nom des membres du GT GH souhaite mettre en œuvre en 2024 un Appel à Manifestation d'Intérêt (AMI) dédié à la GH avec le support du CSF NSE afin d'initier les premiers projets industriels d'ici 2027



Simon CARRALOU

Co-pilote du sous-GT Innovation,
GT Biogaz du CSF NSE;
Chargé d'avocacy biogaz, BU Biogaz,
Total Energies



Nathalie GENIN

Responsable des services



Syndicat Mixte d'Assainissement
de l'Agglomération Granvillaise



Sofiane ZALOUK

Responsable R&D



Frédéric JUILLARD

Président

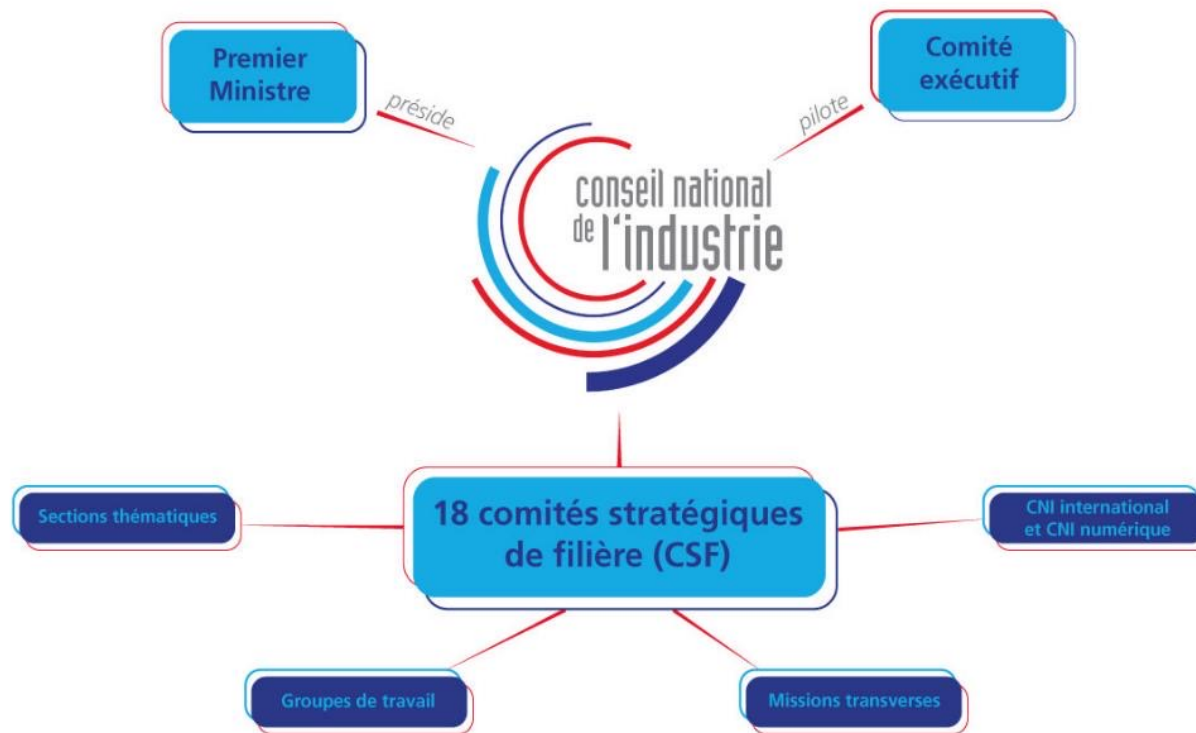


Thomas RODRIGUEZ

Responsable BU GH



Présentation des Comités Stratégiques de Filière



- Instance de coordination des politiques industrielles entre l'État et les principales filières
- Structuration en 19 filières + des actions transverses
- Engagements inscrits dans un contrat de filière réciproque

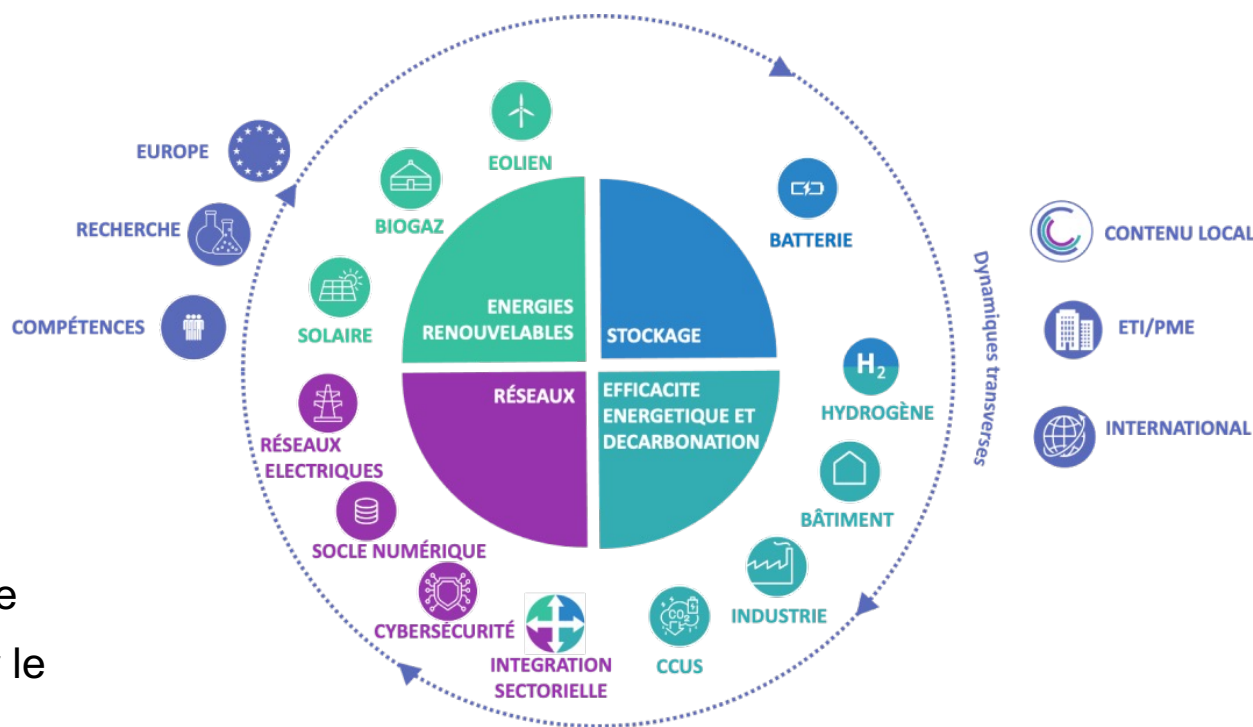
Présentation du CSF NSE

❖ La filière des NSE c'est :

- 15 000 entreprises
- 210 000 emplois
- 41 Md€ de chiffre d'affaires annuel

❖ 4 axes de travail sur 15 GT :

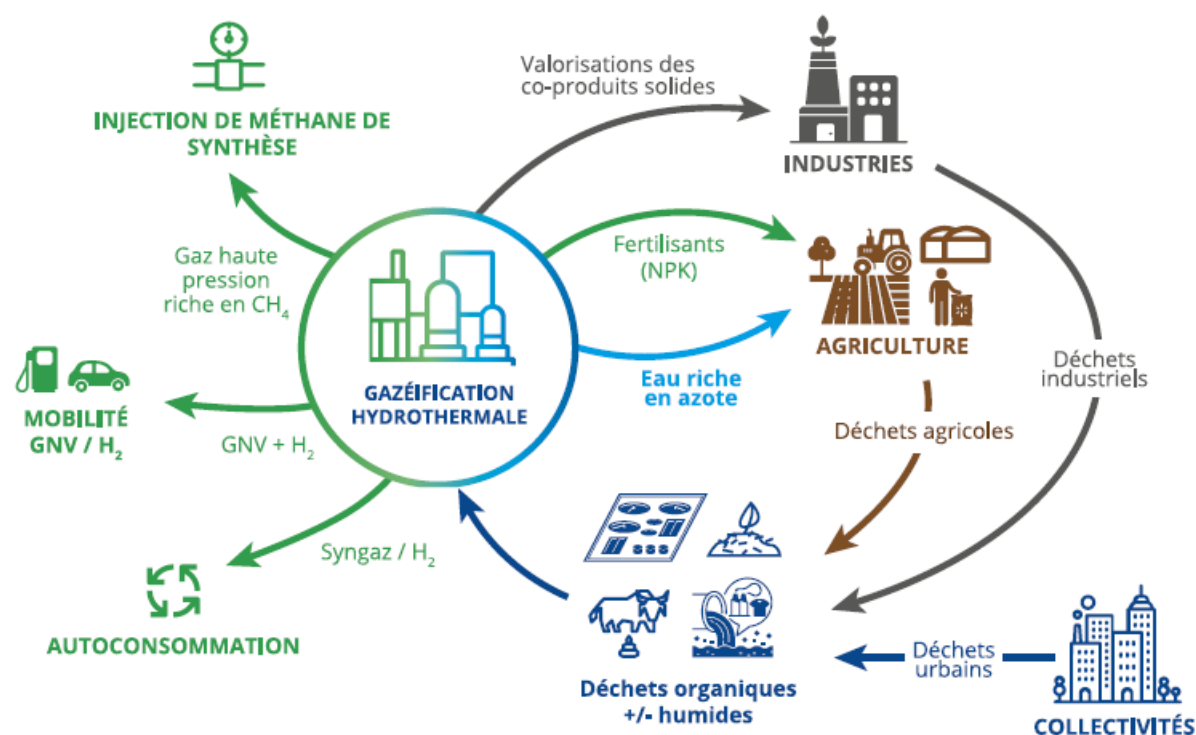
- Développer les ENR
- Promouvoir l'efficacité énergétique
- Engager une reconquête industrielle
- Fédérer les filières et accompagner le changement



Un AMI GH dans le cadre du CSF NSE

❖ Une technologie qui s'inscrit dans les objectifs du CSF NSE :

- Réduction de notre dépendance et renforcement de notre souveraineté énergétique
- Recyclage de co-résidus en les transformant dans des co-produits tels que des fertilisants, des métaux, de l'eau de différentes qualités, ...
- Création d'emplois durables et intéressants dans les territoires
- Décarbonation de nos activités industrielles, tertiaires, agricoles et résidentielles dont celles générant aujourd'hui des déchets avec des impacts environnementaux importants



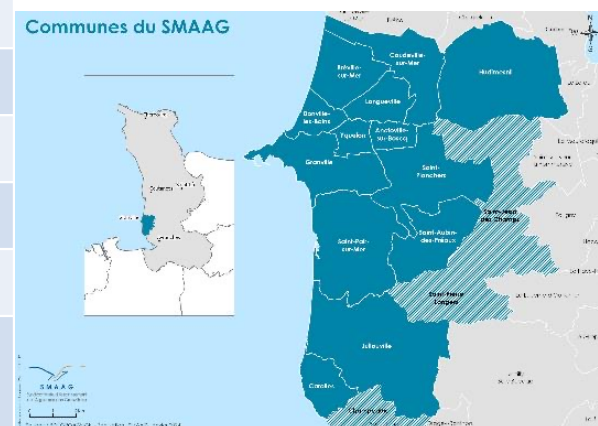
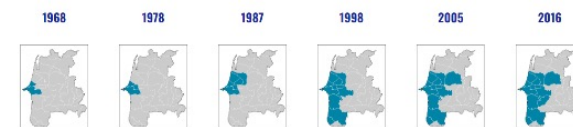
Potential de valorisation des boues d'épuration par la Gazéification Hydrothermale (Source : GRTgaz/Cerema).

Présentation du SMAAG*



Carte d'identité

Département	Manche	Patrimoine	5 STEP / 351 km / 90 PR
Membres	16 communes		BA à faible charge
Compétence	Assainissement collectif		70 000 Eq.hab
Superficie	188 km ²	STEP Goélane	2005
Abonnés	21 845		2.2 Mm ³
Densité	178 hab / km ² (entre 49 et 1268)		1 300 TMS boues
Activités éco	Tourisme – Agriculture – Industrie limitée (IAA)		Centrifugation et Hygiénisation



Intérêts pour la GH :

- Recherche d'une solution réduisant fortement la matière (boues) afin de savoir faire face à la saturation du plan d'épandage et du stockage des boues
- Incertitudes concernant le monde agricole
- Évolution de la réglementation avec une volonté de garantir un haut niveau de protection de l'environnement et de la santé (Loi AGECE, réglementation « socle commun »)
- Boues de STEP = déchet complexe et potentiellement pollué
- Production de gaz (énergie) contribuant aux enjeux nationaux et possibilité de valorisation financière des sous-produits à l'avenir

*Syndicat Mixte d'Assainissement de l'Agglomération Granvillaise



Démarche engagée par le SMAAG

➤ Intégration d'une étude sur la GH dans le projet Lavoisier articulé autour de 2 axes:

- l'économie circulaire (REUT) et
- la transition énergétique (photovoltaïque, calories des eaux usées et GH)



➤ Étude GH :

- Confiée au CEREMA
- Projet R&D bénéficiant d'une prise en charge par le CEREMA et subventionné par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie et la Région Normandie
- Composée en 3 phases : 1) étude de gisements pour apprécier l'opportunité
2) réalisation de tests sur les 3 intrants les plus intéressants 3) étude de faisabilité



➤ Intérêt pour des intrants autres que des boues de STEP :

- Quantité de boues insuffisantes pour des unités GH industrielles (≥ 2 à 3 t/h mini)
- Pouvoir calorifique des boues limité et rapport siccité/ pompabilité limité
- La GH est une solution territoriale de valorisation de déchets d'origine agro-alimentaire (IAA, effluents agricoles dont animales...) et de déchets urbains plus ou moins pollués ou mélangés à des emballages pouvant contenir aussi du plastique

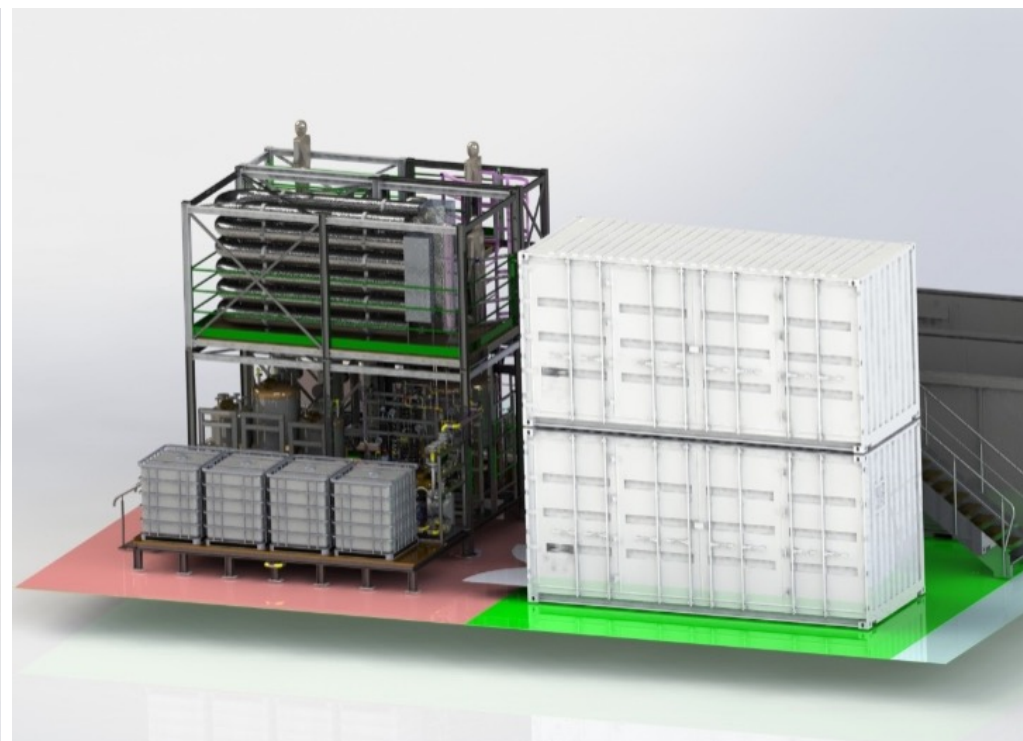
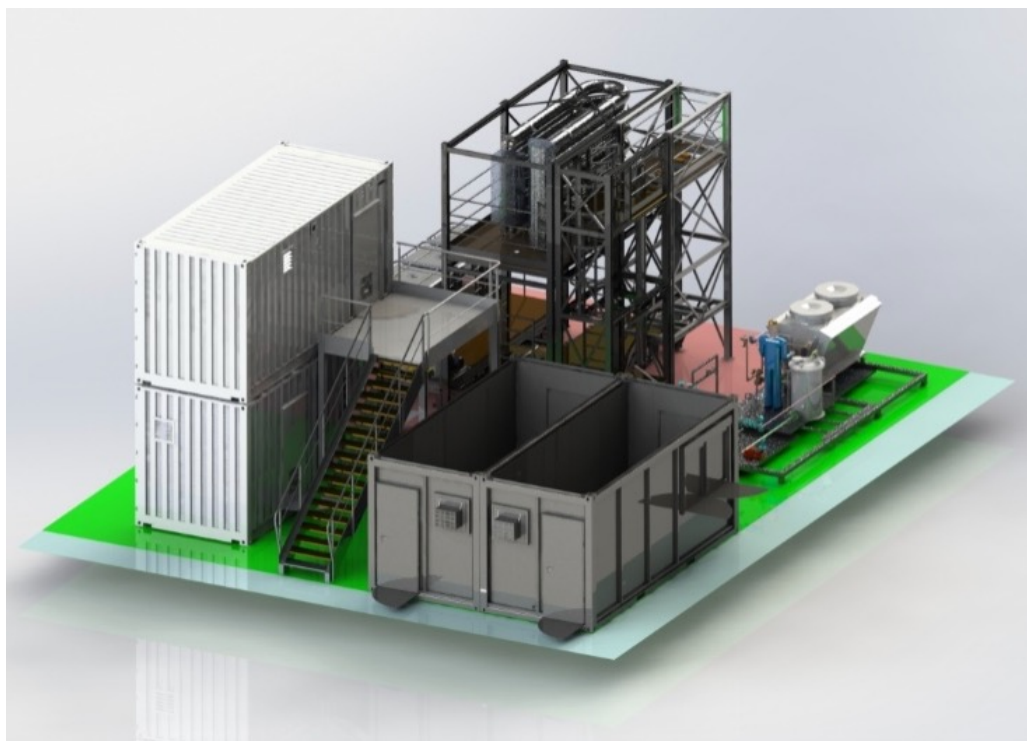


Le regard du SMAAG sur la Gazéification Hydrothermale

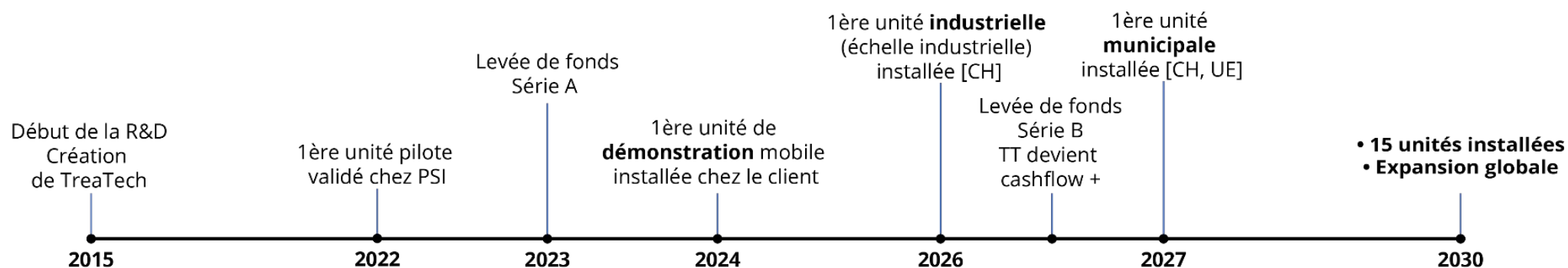
- Solution envisageable sur notre territoire car elle offre la possibilité de valoriser d'autres déchets en complément des boues (en mélange).
- Solution de valorisation des boues à part entière, permettant de décomposer la matière à sa portion la plus élémentaire, d'en produire un maximum de gaz tout en récupérant une grande variété de composants présents en faibles quantités dans les boues qui peuvent être revalorisés
- Favorable au dépôt d'un dossier dans le cadre de l'AMI pour contribuer à la reconnaissance de la GH au niveau des instances de l'État (ministères, Sénat, députés, ...)
- Aider les collectivités à la mise en œuvre de cette technologie notamment par la mise en œuvre de mécanisme de soutien permettant de rendre la technologie économiquement viable



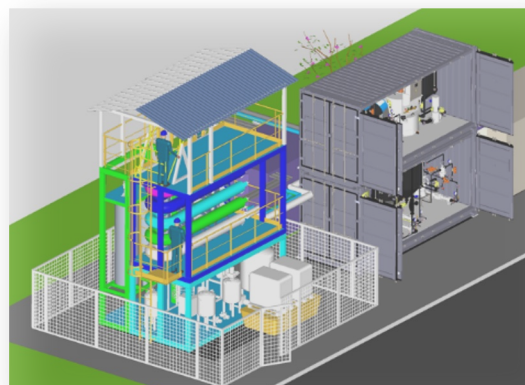
Objectif 2024 – installation d'un pilote industriel



Feuille de Route



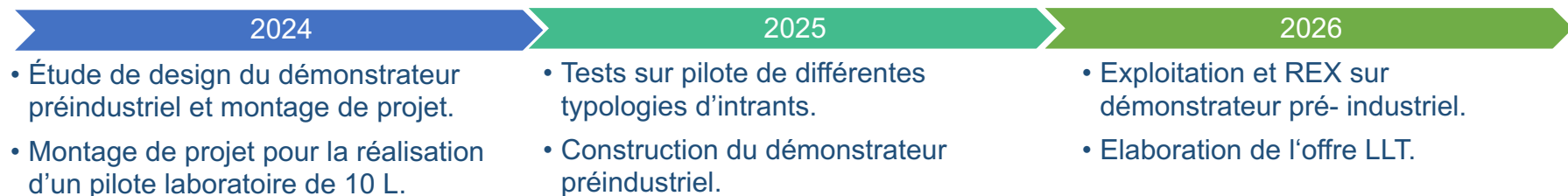
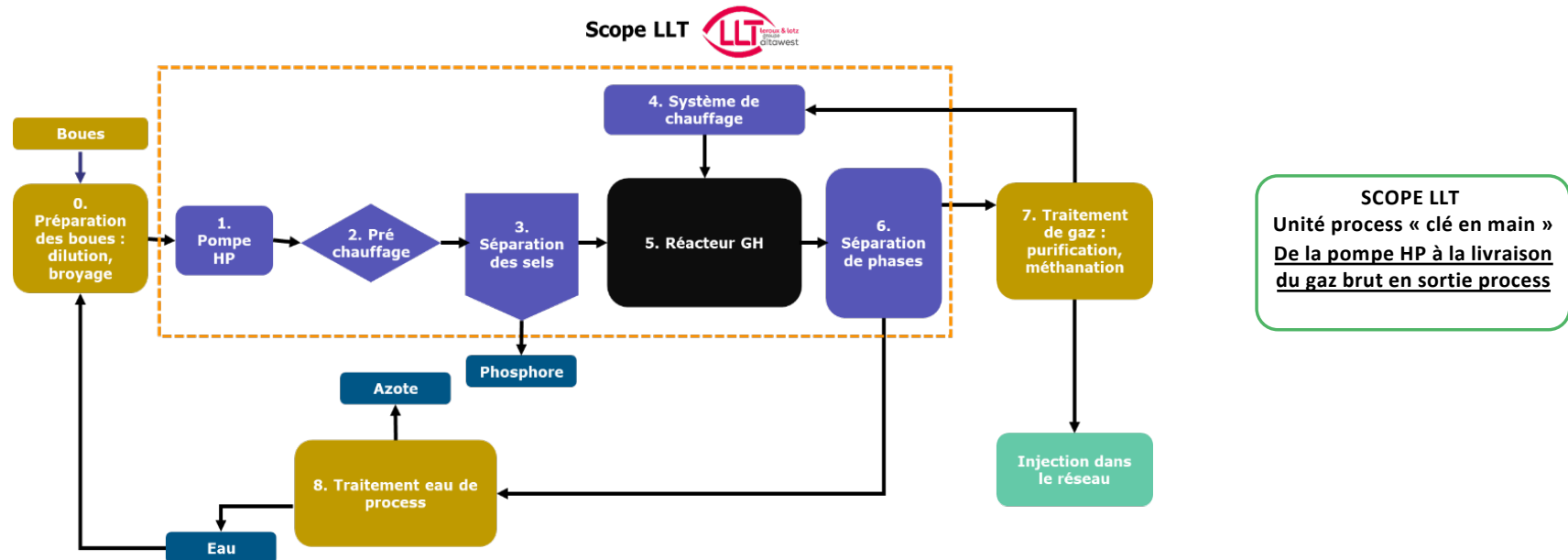
VISTA unit
100 – 200 kg/h



Injection de
gaz dans le
réseau

Développement de LLT dans la filière GH

Fournisseur de la brique GH (haute température)

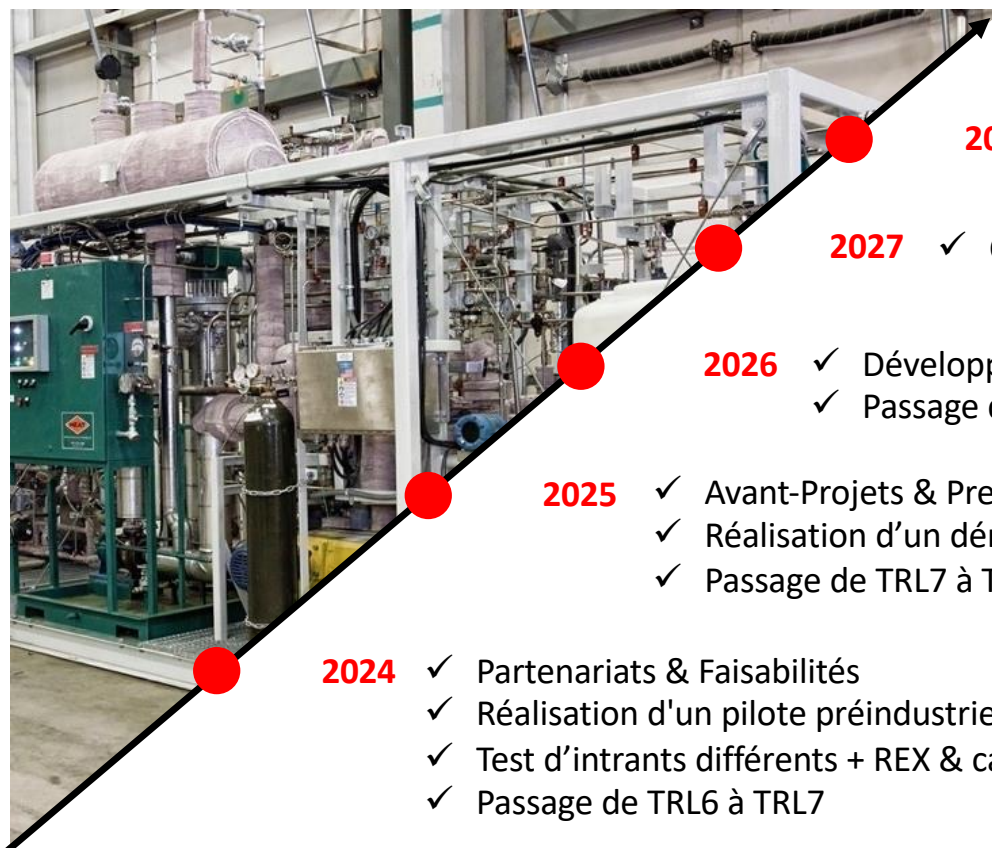


VINCI ENVIRONNEMENT



GRANDS PROJETS

Feuille de route 2024-2030



- 2030** ✓ Construction 60 projets GH en France et Europe
- 2027** ✓ Construction 20 projets GH en France et Europe
- 2026** ✓ Développement commercial (échelle industrielle)
✓ Passage de TRL8 à TRL9
- 2025** ✓ Avant-Projets & Premières offres
✓ Réalisation d'un démonstrateur industriel (~ 2 t/h) Mono application
✓ Passage de TRL7 à TRL8
- 2024** ✓ Partenariats & Faisabilités
✓ Réalisation d'un pilote préindustriel (~ 0,5 t/h)
✓ Test d'intrants différents + REX & capitalisation.
✓ Passage de TRL6 à TRL7

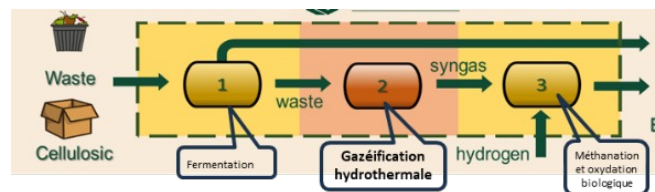
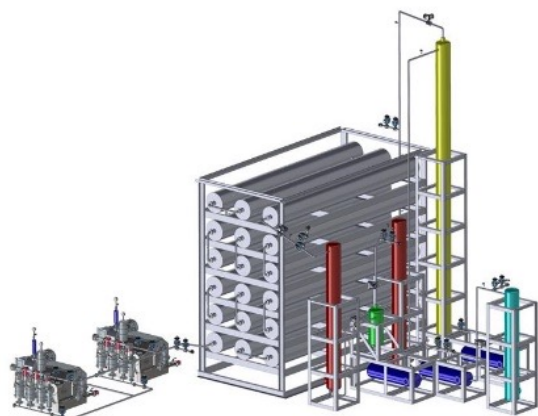
AMI GH – France 2027



- Etudes de faisabilités:
 - Caractérisation d'intrants
 - Estimation des couts (CAPEX, OPEX)
- Offres technico-économique:
 - Pré-étude (caractérisation des intrants, étude économique)
 - Définition des systèmes de pré-traitements
 - Définition des briques du procédé de GH (extraction des sels, systèmes de chauffe, etc.)
 - Définition des systèmes de valorisation du SNG
 - Définition des utilités, génie civil / terrassement
 - Définition des briques de valorisation des co-produits solides et liquides
 - Designs et PFD de l'ensemble des systèmes
 - Echanges avec les fournisseurs pour étude budgétaire
 - Estimation des couts CAPEX, OPEX



Offre LLT lors de la l'AMI GH



2024

- Offre d'études ingénieries : Design des équipements, Maquettes 3D, P&ID, P&FD, etc.
- Estimation des Capex/Opex.

2025-2026

- Complément de l'offre d'ingénierie avec essais sur pilote de 10 L.

2027

- Offre engageante sur installation industrielle avec garantie de disponibilité et de performance.

VINCI ENVIRONNEMENT



GRANDS PROJETS

Notre Offre

- ✓ METIER : EPC constructeur de centres de valorisation énergétique de déchets
- ✓ COMPÉTENCES : Ingénierie et Intégration
- ✓ OFFRE:
 - ECI
 - Faisabilité technico-économique
 - Benchmark solutions clé en main
 - APS
 - Intégration globale de systèmes clé en main
- ✓ PREPARATION : une équipe offres & BE prête pour
 - Le montage d'offres de projets techniques GHT
 - Intégrés, optimisés et dérisqués
 - Financièrement optimisés
 - Avec des contrats ajustés
- ✓ POUR ACCOMPAGNER NOS CLIENTS
 - Segmentation / Viabilité / Optimisation / Intégration / Garanties

Table ronde 2:

Les solutions de traitement du syngaz à haute pression issu des futures installations GH industrielles: un challenge pour les équipementiers et un fort potentiel d'amélioration énergétique en combinaison avec le réseau transport



Hugo VIOULAC
Responsable Projets
Hydrogène



Sander REIJERKERK
Responsable ingénierie



Noémi HILAIREAU
Responsable R&D



Arol Energy - Acteur de la filière biogaz

Nos points clés

- Spécialisé dans la valorisation de biogaz depuis 2012
- Précurseur de la technologie lavage aux amines en France
- Intégrateur historique des membranes Air Products
- Appuyé par des partenaires stratégiques leaders sur leur marché

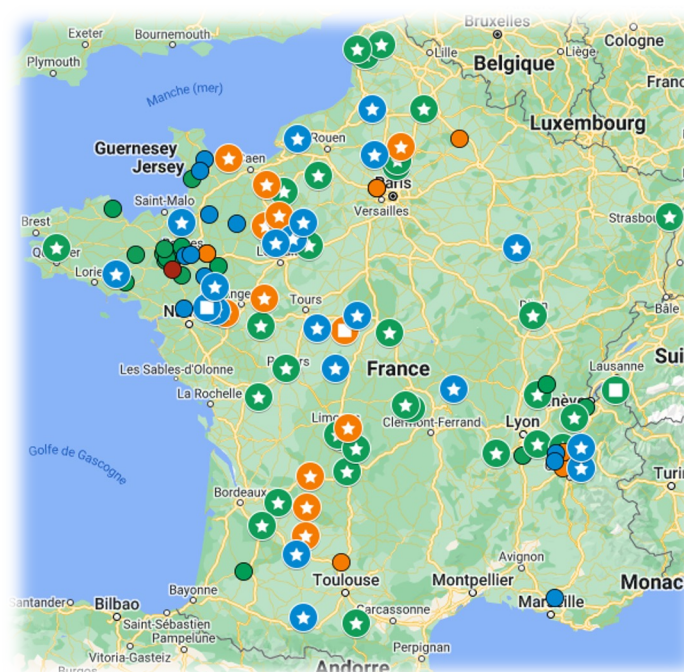


Notre savoir-faire

- Epuration biogaz par séparation membranaire
- Epuration biogaz par lavage aux amines
- Captage et valorisation du CO₂
- Purification de gaz de synthèse (H₂ + CH₄ + CO₂)
- Destruction d'oxygène par réaction catalytique
- Solution « big data » d'amélioration des performances
- BioGNV
- Liquéfaction CO₂

Nos références

53 unités en opération
100 unités à un horizon de 2 ans



Nos produits phares



AE-AMINE



AE-COMPACT



AE-MEMBRANE

L'entreprise PRODEVAL

SPÉCIALISÉE DANS LA VALORISATION DES GAZ RENOUVELABLES








Noémi HILAIREAU
Responsable R&D

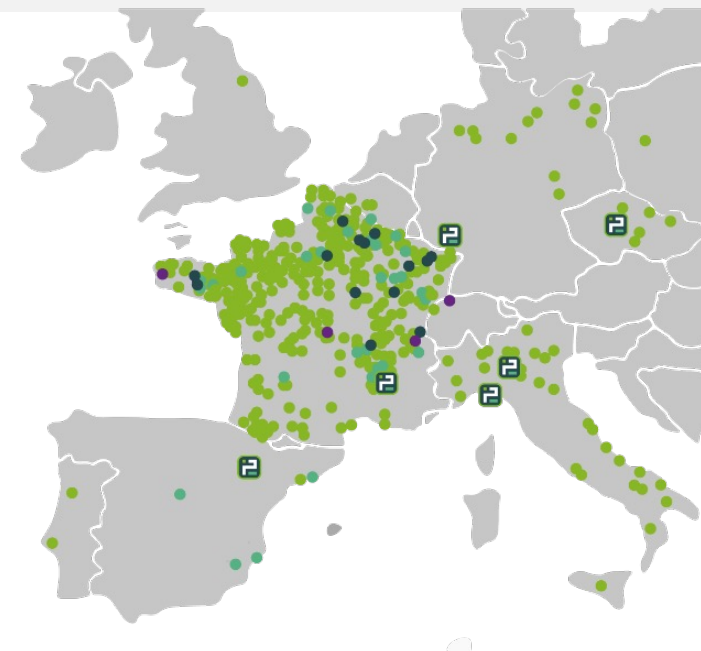
30 ans
D'expérience

6
Filiales

450
Installations

135 M€
De chiffre d'affaires en 2022
8 % de croissance en 2023

-  Sièges régionaux
-  Épuration du biogaz
-  Mobilité
-  Auto-consommation électrique
-  Liquéfaction du CO₂



Leader dans le traitement et la valorisation du biogaz



PRODEVAL
INGÉNIEUR DES SOLUTIONS GAZ

L'entreprise PRODEVAL

RECONNUE DANS L'EPURATION DE BIOGAZ ISSU DE METHANISATION, MAIS PAS SEULEMENT



Epuration de syngas issu de méthanation catalytique

- 65% CH₄
- 30% H₂
- 5% CO₂

- Démonstrateur METHYCENTRE (couplage méthanisation / méthanation pour injection)



Epuration et recyclage de gaz industriels

- 70% CH₄
- 20% H₂
- 10% C₂H₆/C₃H₈

- Développement d'une solution industrielle pour intégration au sein d'un procédé complexe de production



GAZFIO : acteur français engagé dans le gaz renouvelable



GAZFIO

- Usine en Normandie, Eure, 27
- 200 employés, 60 M€ CA
- Fondée en 1890, sous le nom de Briffault
- Filiale du Groupe Pietro Fiorentini, gazier depuis 1940
- 2.800 employés, 500 M€ CA



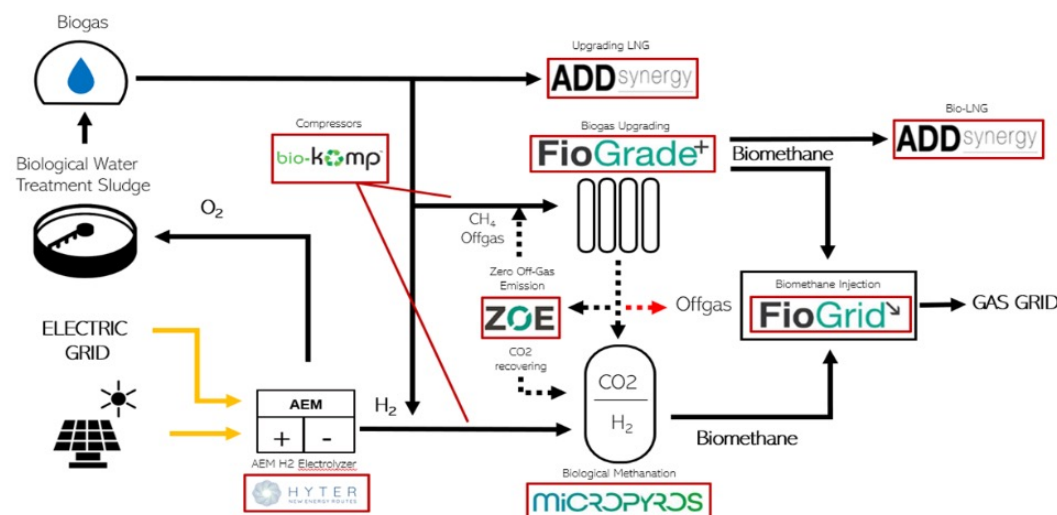
Services

- 20 techniciens agissant sur l'ensemble du territoire français
- 900 interventions en 2022
- Plus de 200 cabines d'injection installées en France
- Autres services : Odorisation THT, Métrologie (VPE)



Technologies de GAZFIO et du Groupe PF

- Epuration de biogaz, FIOGRADE
- Injection de biométhane BP et HP, FIOGRID
- Liquéfaction de CO₂, ZOE
- Méthanation biologique de MICROPYROS
- Production d'hydrogène de HYTER
- Liquéfaction du méthane de ADD SYNERGY



Purification du syngaz à haute pression

La technologie membranaire

- La technologie membranaire est la seule technologie capable de traiter le syngaz en une seule et unique brique technologique (élimination CO₂ et H₂)
- Sait traiter le syngaz issu d'une GH avec catalyse sans prétraitement
- Est capable de traiter un syngaz issu d'une **GH à haute température** avec une vigilance sur la qualité du gaz entrant (concentration hydrocarbures lourds et CO)
- Conception process facilement adaptable en fonction des contraintes et/ou souhaits du projet :

1 seul étage

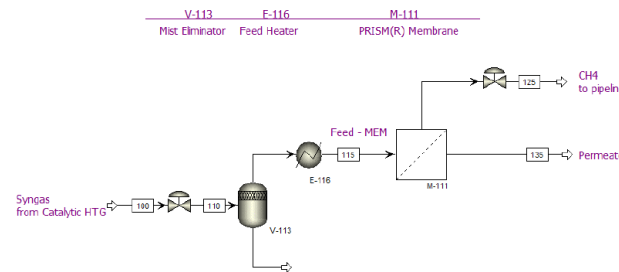
→ CAPEX/OPEX réduit, rendement moyen

3 étages avec compression du recyclage

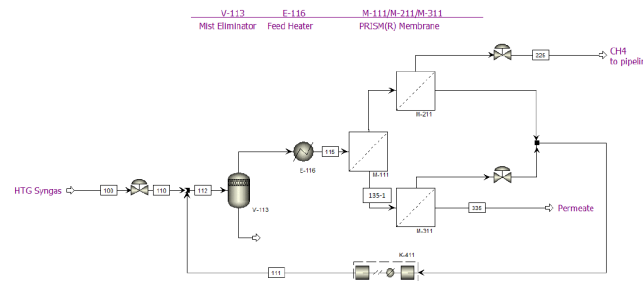
→ CAPEX/OPEX supérieur, rendement élevé

Les schémas process

1 étage membranaire sans compression



3 étages membranaires avec compression



La performance

Flux	SynGas	BM	Off-gaz
H ₂	15	<1 ppm	24,23
CH ₄	50	97,49	20,76
CO ₂	35	2,50	55
CO	100 ppm	0,01	80 ppm

Rendement épuratoire : 74%

Flux	SynGas	BM	Off-gaz
H ₂	15	<1 ppm	30,36
CH ₄	50	97,83	1,01
CO ₂	35	2,15	68,63
CO	100 ppm	0,02	15 ppm

Rendement épuratoire : 99%

Conclusion : Technologie de purification disponible et mature

Le traitement de syngas issus de GH

LA SEPARATION MEMBRANAIRE HAUTE PRESSION

L'EPURATION MEMBRANAIRE, TECHNOLOGIE PHARE DE PRODEVAL

=> PERMET DE TRAITER LE SYNGAZ ISSU DE GH

La GH à catalyse

CH ₄	50 à 70%
CO ₂	25 à 30%
H ₂	5 à 10%
CO	traces (<0,1%mol)

La séparation membranaire permet d'amener le syngaz aux spécifications du méthane de synthèse conforme à l'injection réseau et ceci directement en sortie de la GH.

La GH à haute T°

H ₂	30 à 50%
CO ₂	25 à 30%
CH ₄	25 à 35%
C ₂ H ₆ /C ₃ H ₈ /...	<12%

La séparation membranaire permet d'amener le syngaz aux spécifications réseau pour injection :

- Soit directement en sortie de GH (+ réflexion à mener sur la valorisation du flux H₂/CO₂)
- Soit après une étape de méthanation (biologique ou catalytique), qui sépare le CO₂ résiduel du méthane de synthèse et le rend ainsi injectable

**DÉVELOPPEMENT PRODEVAL POUR ADAPTER SES SOLUTIONS EXISTANTES À UNE PRESSION ~70 BAR
POUR TIRER PARTI DE CE PROCÉDÉ À HAUTE PRESSION**

Deux solutions complémentaires pour le traitement du syngas

Solutions GAZFIO pour la GH à haute pression

- Épuration/ Séparation membranaire

Une solution adaptée pour la famille de technologie « GH à catalyse » avec un faible taux de H₂ pour isoler le CH₄ et séparer le CO₂ **Fiograde⁺**

- Biométhanation (méthanation biologique)

Une solution innovante pour la famille de technologie « GH à haute température » avec un taux élevé de H₂ permettant la réaction avec le CO₂ résiduel afin d'augmenter la production de CH₄

micropyros

Planning

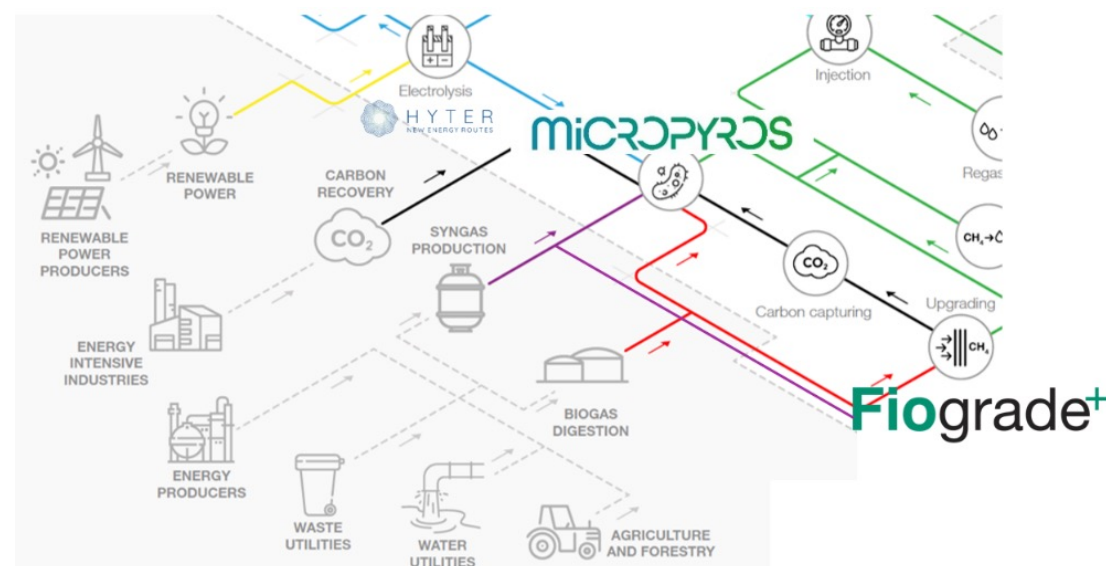
Épuration/ séparation membranaire : Q4 2024

Méthanation biologique : Q4 2025

Approche GAZFIO/Pietro Fiorentini

Étudier les projets au cas par cas pour choisir la solution qui permettra le meilleur optimum technico-économique dans l'intérêt du client.

GAZFIO n'a pas de préférence pour une technologie ou une autre.



Merci pour votre attention
Des questions ?