Moyens Technologiques

Pierre-Yves HUREAU
Responsable des nouveaux Gaz verts Nord-Ouest
GRDF

Vincent ROUSSEAU
Délégué Territorial Grand Est
GRTgaz

PRÉVENIR LES RISQUES INDUSTRIELS

PRÉVENIR LES POLLUTIONS ET LES NUISANCES

ACCOMPAGNER LES TERRITOIRES

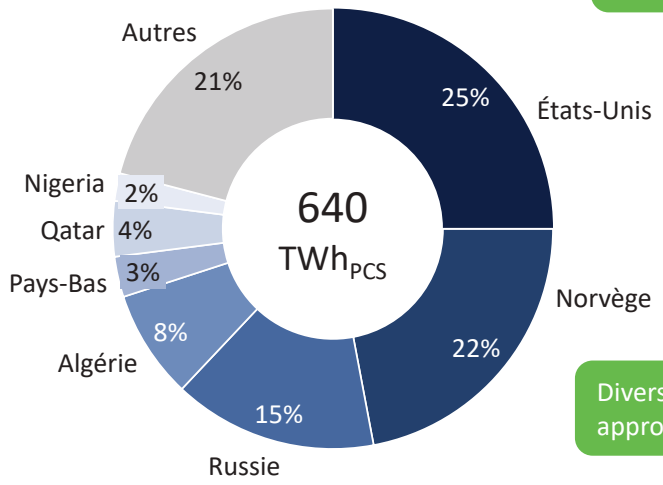
FAVORISER LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

Rôle stratégique de développement des gaz verts

L'essor des gaz verts permet à la fois à la France de répondre aux enjeux de réduction des importations de gaz naturel et de verdissement de son mix énergétique

Origine des importations françaises de gaz naturel en 2022

(= volumes consommés, stockés ou exportés)



Souveraineté énergétique

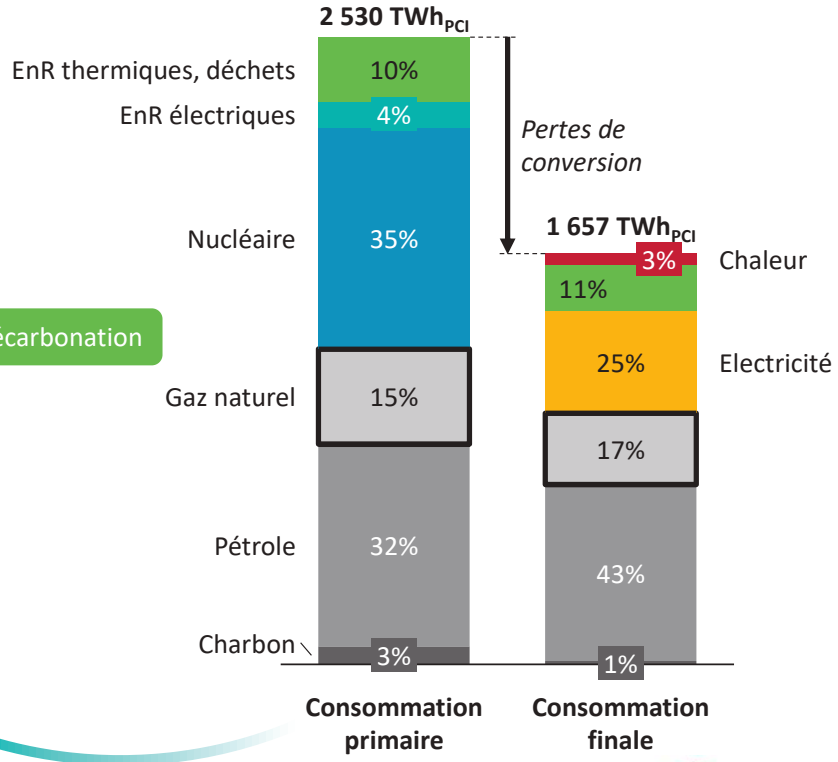
Diversification des approvisionnements

Gaz verts

Décarbonation

Bilan énergétique en France en 2022

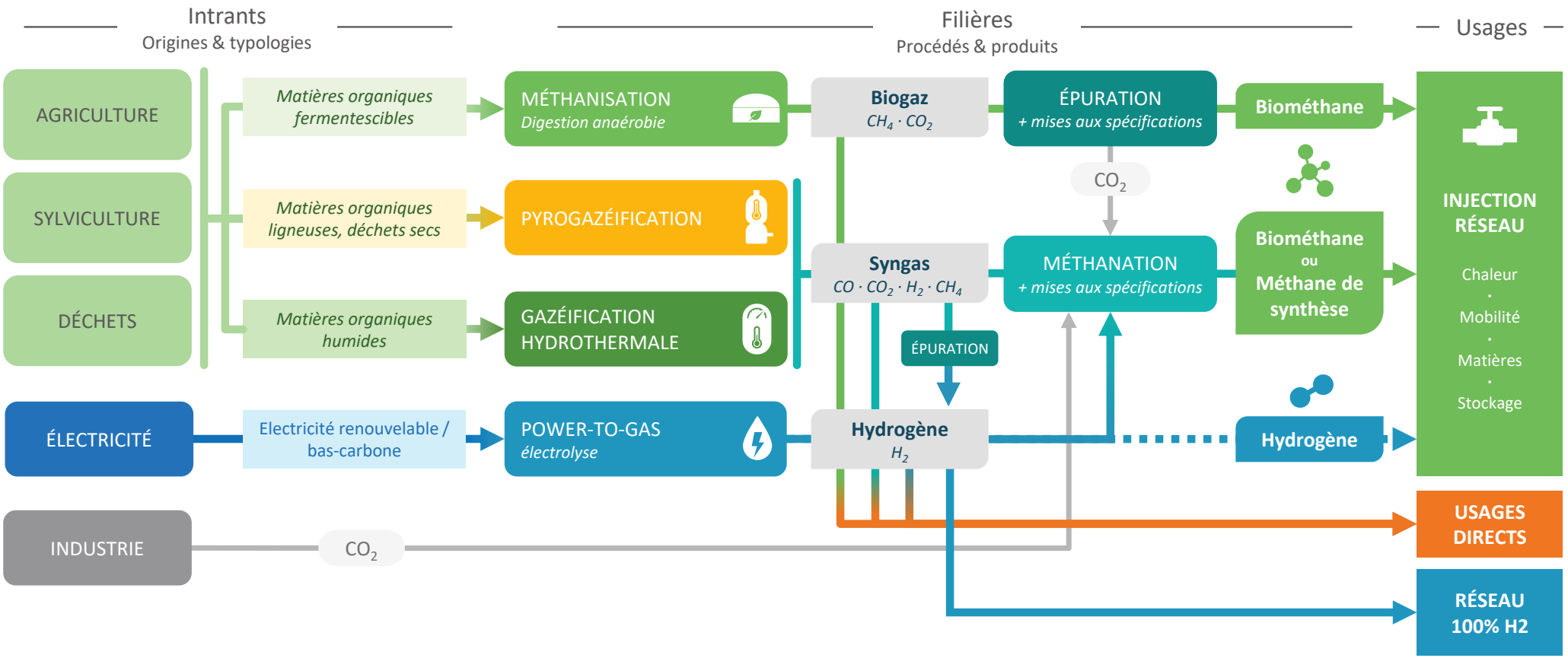
(données réelles non-corrigées des variations climatiques)



Source: INSEE, SDES, Bilan énergétique de la France

Rôle stratégique de développement des gaz verts

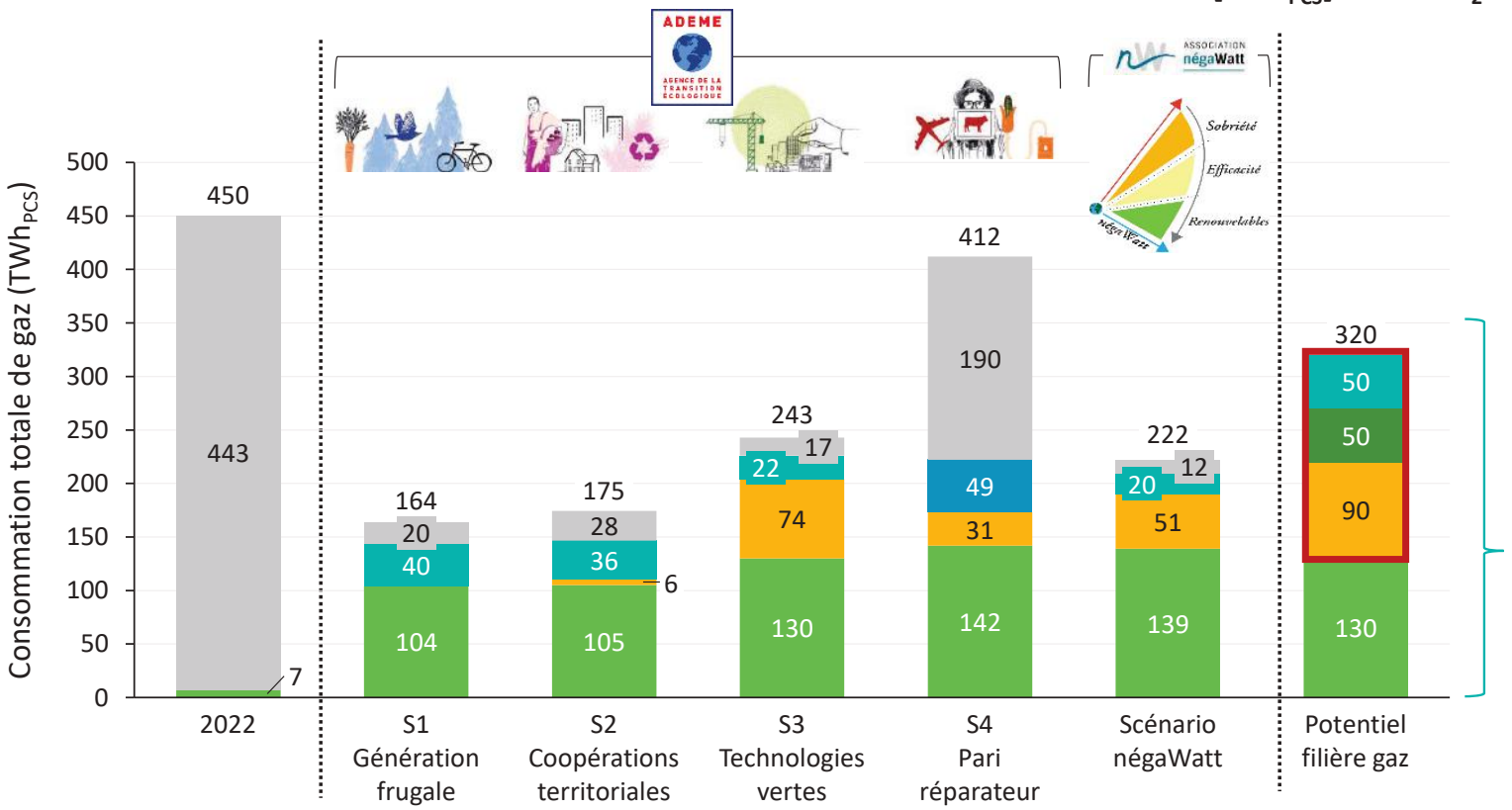
Des filières complémentaires pour la production de gaz verts, sans concurrence sur l'usages des intrants



Potentiels de développement des nouvelles filières de gaz verts

GRDF pousse un scénario de décarbonation du gaz qui s'appuie largement sur le méthane de synthèse, en complément de la méthanisation, en cohérence avec les visions prospectives de l'ADEME et de négaWatt

SCÉNARIOS DU MIX GAZIER EN FRANCE À HORIZON 2050 [TWh_{PCS}] – HORS H_2



Une trajectoire de production supérieure à 300 TWh en 2050 pour couvrir l'intégralité de la demande à cette horizon…

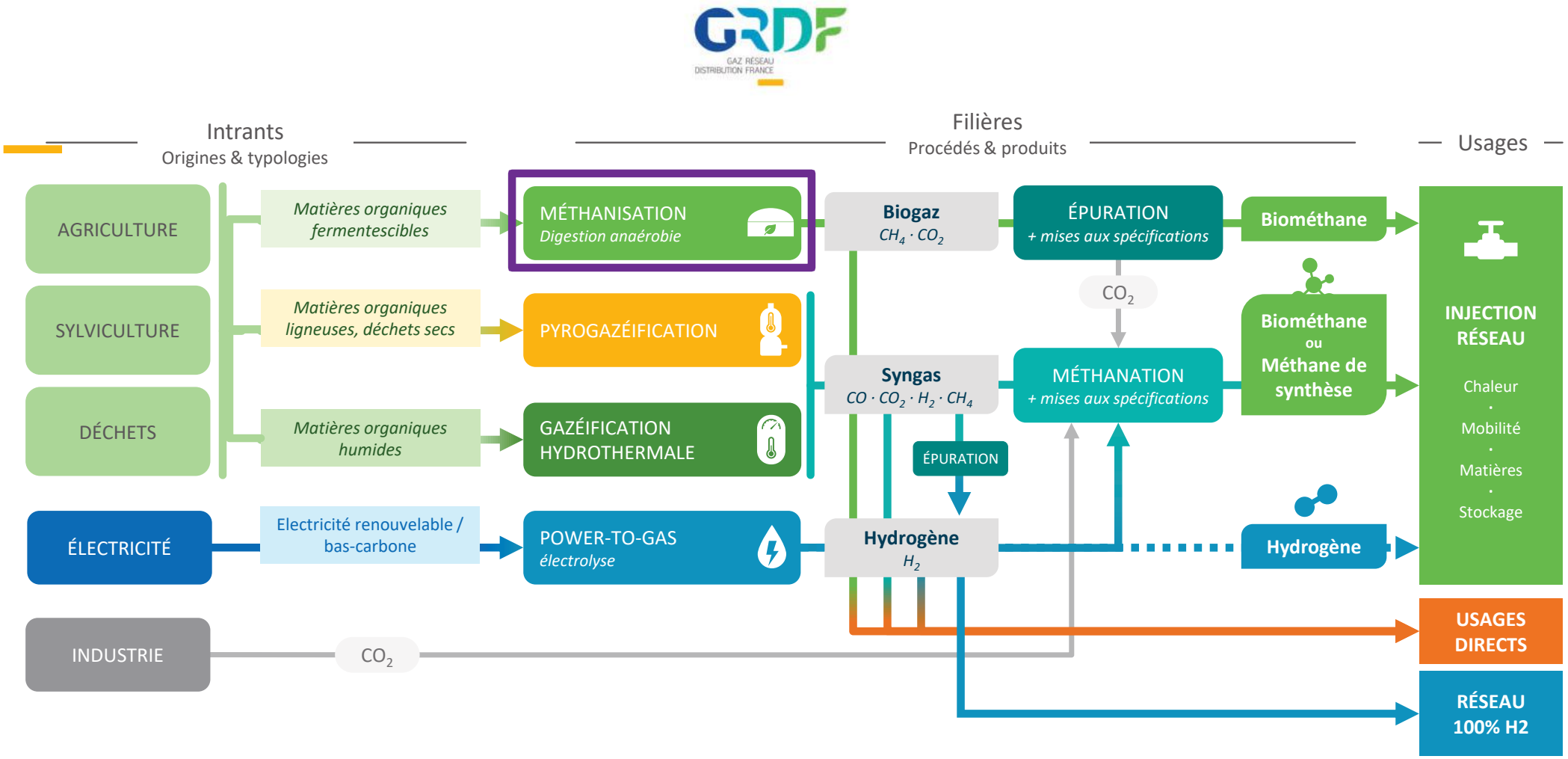
…en s'appuyant sur les nouvelles filières de gaz verts, aux côtés de la méthanisation.

Note: La **gazéification hydrothermale** n'a pas été prise en compte par l'ADEME ou négaWatt, par manque de recul sur la filière.

Source: SDES, ADEME, négaWatt

Gaz Renouvelables : Moyens technologiques & économiques

La Méthanisation pour injection dans les réseaux de gaz



Gaz Renouvelables : Moyens technologiques & économiques

La Méthanisation pour injection dans les réseaux de gaz

La méthanisation : késako

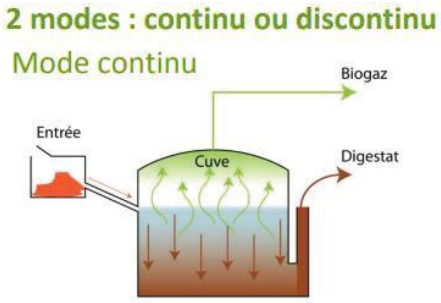
La méthanisation est la transformation de la matière organique en biogaz (méthane et gaz carbonique) et digestat par une communauté microbienne fonctionnant dans un milieu anaérobie

Processus naturel mis en évidence par Volta en 1776, avec les gaz de marais

2 types de méthanisation:

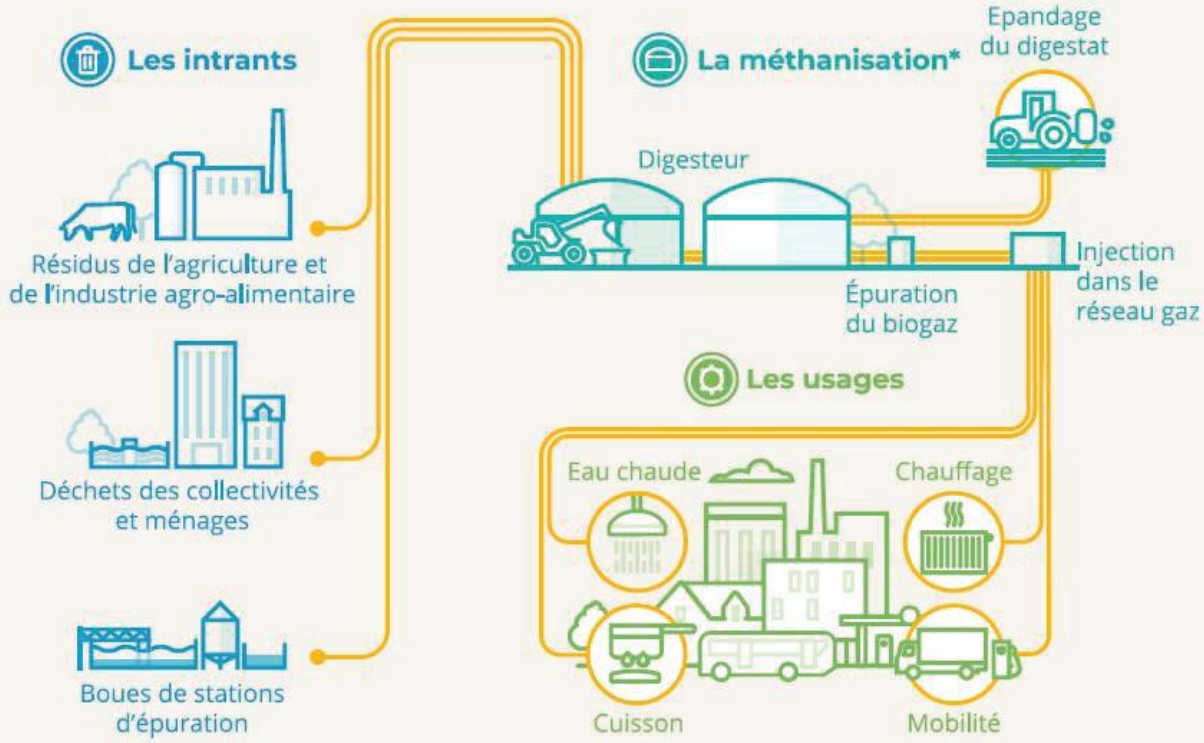
« voie humide » : 8 à 15% MS (Milieu liquide, mélangé)

« Voie solide/sèche » :15 à 50% MS (Milieu solide)

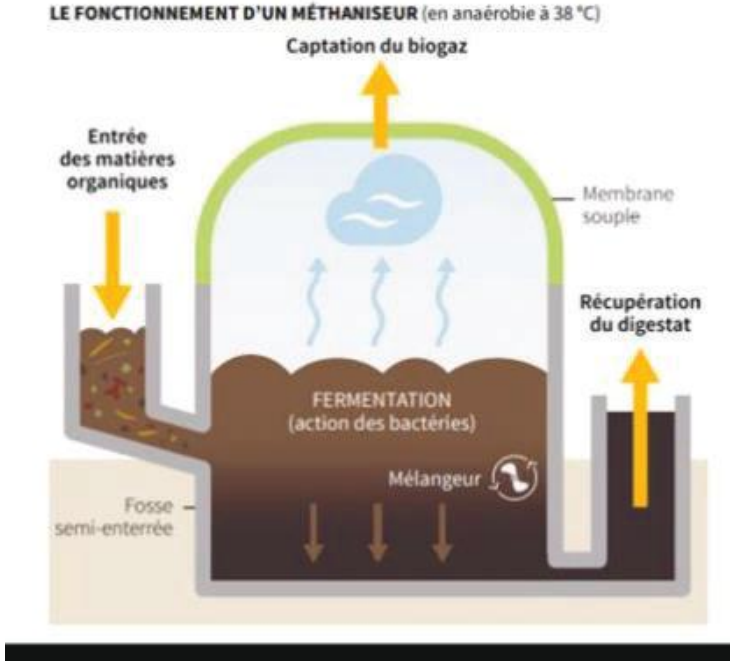


Le fonctionnement de la méthanisation

De la méthanisation à l'injection : les étapes clés
Source : GRDF



* Dégradation de la partie fermentescible des intrants, en l'absence d'oxygène, pour produire du biogaz.



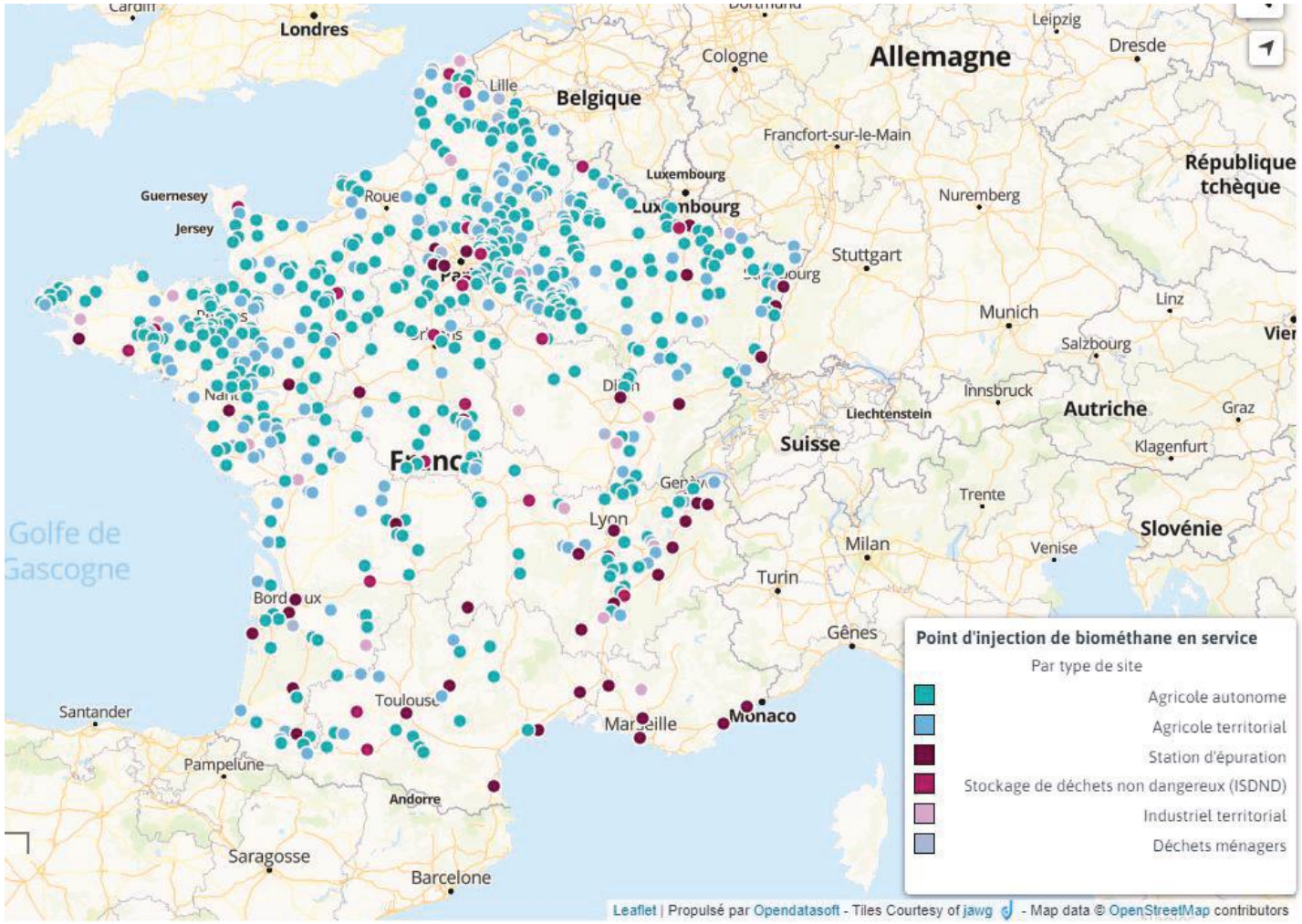
Le dynamisme de la méthanisation

Registre complet

26 601 GWh/an Capacité totale réservée inscrite au registre au **T4 2023**	776,6 GWh/an Capacité totale réservée (autre que méthanisation) au **T4 2023**
1 232 Projets de méthanisation au **T4 2023**	11 Projets hors méthanisation au **T4 2023**

En service	File attente
12 258 GWh/an Capacité totale en service et injectant au **T4 2023**	14 343 GWh/an Capacité totale en attente de raccordement au **T4 2023**
678 Sites raccordés du biométhane au **T4 2023**	868 Projets inscrits au **T4 2023**

La méthanisation en injection aujourd'hui



En France

678

Sites injectant du biométhane au **16/05/2024**

12 258 GWh/an

Capacités totales installées au **16/05/2024**

En moyenne, une tranche nucléaire peut produire 8 à 10 Twh/an

En Haut De France

94

Sites injectant du biométhane au **16/05/2024**

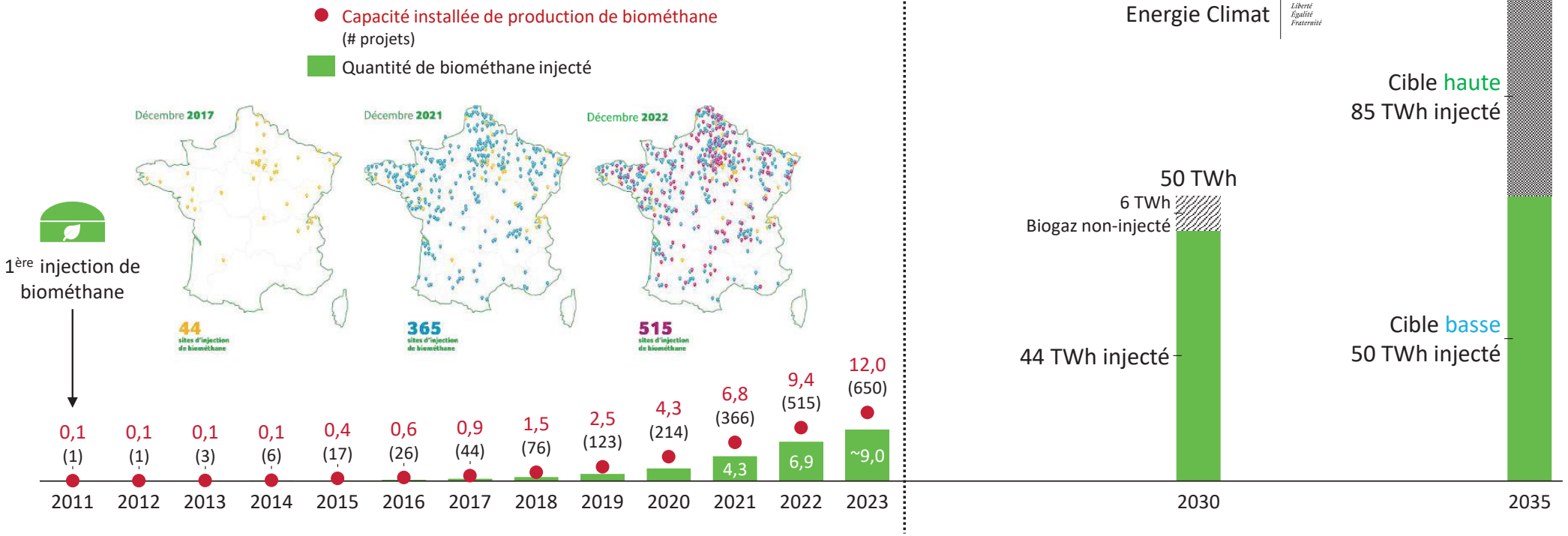
2 102 GWh/an

Capacités totales installées au **16/05/2024**

Potentiels de développement des nouvelles filières de gaz verts

Les objectifs nationaux en discussion dans le cadre de la Stratégie Française Energie Climat (SFEC) ciblent uniquement la méthanisation, les nouvelles filières pourraient compléter le potentiel de production à ces horizons

Production annuelle de biométhane par méthanisation en France et objectifs à horizon 2030-2035 (TWh PCS/an)
Novembre 2023

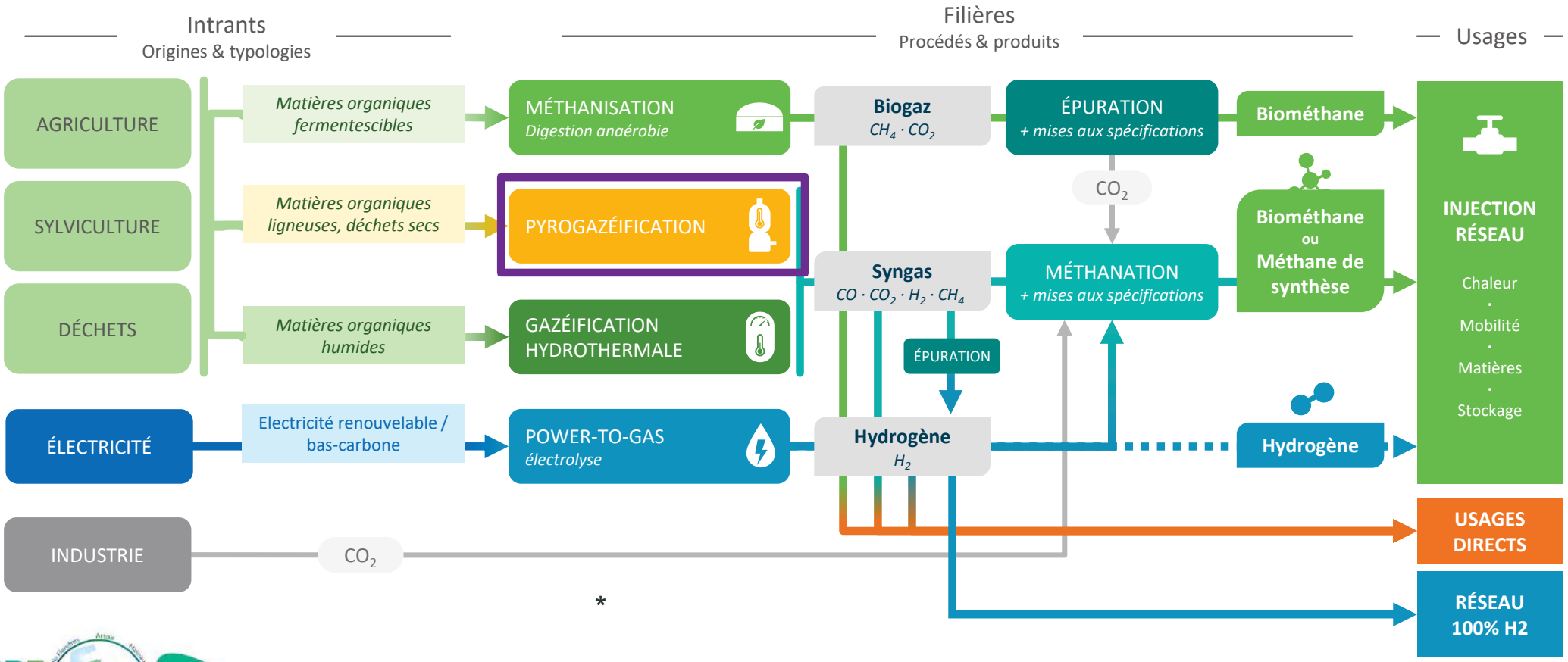


Gaz Renouvelables : Moyens technologiques & économiques

La Pyrogazéification pour injection dans les réseaux de gaz

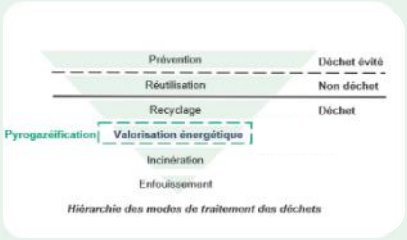
Gaz renouvelable et bas carbone : 4 filières complémentaires

La France dispose d'un potentiel de déchets suffisants pour décarboner le mix gazier d'ici 2050



Analyse GRTgaz / GRDF / FGR / ATEE / GT Gazéification Hydrothermale basée sur les études disponibles (Ademe, Solagro, France Stratégie, Enea).

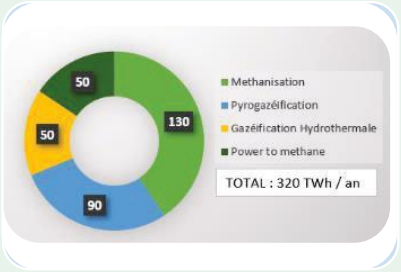
La pyrogazéification pour injection, une solution gaz renouvelable et bas carbone qui apporte une réponse aux enjeux des territoires et des industriels



Hiérarchie des modes de traitement des déchets

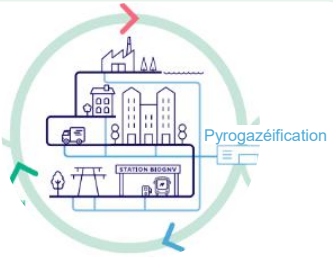
En France, une réponse aux objectifs de valorisation des déchets

- Aujourd'hui les déchets non recyclés sont incinérés, enfouis ou exportés
  - **Réduction de 50% des déchets enfouis** entre 2010 et 2025 [1]
  - Objectifs d'assurer **la valorisation énergétique d'au moins 70 %** des déchets ne pouvant faire l'objet d'une valorisation matière d'ici 2025[2]
- Le secteur du traitement des déchets recherche de **nouvelles voies de valorisation**, en plus du recyclage



Un pilier de la décarbonation du mix énergétique en France

- La France a fixé des objectifs ambitieux pour la transition énergétique, en ligne avec les objectifs de l'UE
  - **10% : part de gaz renouvelable** dans la consommation totale de gaz en **2030** fixée par la LTECV (août 2015)
  - **100%** : L'objectif de **neutralité carbone inscrit dans la loi Energie-Climat à 2050** (novembre 2019)
- La SNBC (Stratégie Nationale Bas-Carbone) vise pour le secteur industriel un objectif de décarbonation de **- 35% CO_2 à l'horizon 2030 et de - 81% à l'horizon 2050 (**par rapport à l'année de référence 2015**)**



Une alternative de la production locale d'énergie, tout en stimulant une économie circulaire

- Traitement local des déchets pour production d'énergie décarbonée
- Décarbonation des usages gaz sans modification des installations existantes

[1] (Loi de Transition Énergétique pour la croissance verte, août 2015
[2] Loi AGEC, 2019

La Pyrogazéification : une solution de traitement des résidus solides peu ou mal valorisés

- **La pyrogazéification s'adresse à des intrants non valorisés en matière s'inscrivant ainsi dans la hiérarchie de traitement des déchets**

Biomasses

Valorisation de biomasses sèches

Bois emballages en fin de vie

Bois forestier et connexes

Sarments et ceps de vigne

Biométhane

Déchets

Issus de biomasse

Bois faiblement traités : déchets de bâtiment

Déchets d'éléments d'ameublement (DEA)

Résidus de papeterie

Biométhane

Non renouvelables

Déchets plastiques de refus de tri

Combustibles solides de Récupération (CSR)

Pneumatiques usagés

Gaz renouvelable, bas-carbone, ou de récupération

Tous les résidus carbonés solides sont adressables par pyrogazéification

La Pyrogazéification pour injection permet de valoriser des résidus solides en gaz injectable dans les réseaux

Des technologies matures (TRL 8-9) existent sur chaque brique de la chaîne

RÉSIDUS SOLIDES

Renouvelables ou non renouvelables

PYROGAZÉIFICATION
T°C : 700 à 1 500 °C

SYNGAS

CH_4, H_2, CO, CO_2

Co produits :
(Bio)char
(Bio)huiles

EPURATION ET MÉTHANATION (sans apport externe d'H2 ou de CO2)

Co produits :
Chaleur
(Bio)CO_2

METHANE INJECTABLE

Injection dans les réseaux de gaz

Projet GoBiGas à Göteborg (Suède)

Projet à Güssing (Autriche)

Projet GAYA à Saint Fons (69, France) : ENGIE

Projet Swindon (Angleterre) : ABSL

L'enjeu technique est de trouver le **meilleur assemblage de technologies** pour **optimiser la production de méthane**

Des projets de pyrogazéification au cœur d'une économie circulaire des territoires

Les objectifs de l'AMI filière « Pyrogazéification pour injection » organisé en 2022 par le **CSF NSE** et piloté par **GRTgaz**

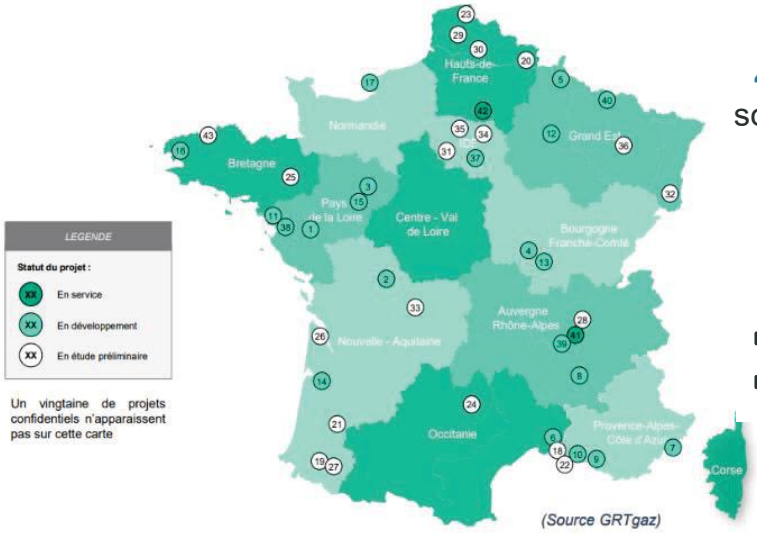
- Dresser un état des lieux de la filière / recenser les projets dans la perspective de la mise en place des contrats d'expérimentation.
- Accompagner les projets : structuration de leur dossier, conditions d'accès au réseau, qualité gaz.

La production de méthane de synthèse :

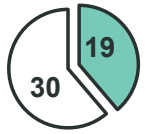
- Taille moyenne d'un projet : 10 MW_{CH4} - injection de méthane de 200 à 2000 m3/h → taille des territoires
- Capacité cumulée de production des projets recensés : 4,1 TWh_{PCS} /an permettant le chauffage de 360 000 foyers.

Une solution de traitement des déchets peu ou mal valorisés :

- Une capacité de résidus à traiter de ~10 à 70 kT/an par installation
- Jusqu'à 1,3 Mt de déchets résiduels traités par an



49 projets se sont manifestés.



En développement

En étude préliminaire

Cartographie ODRé des projets sur internet via ce lien

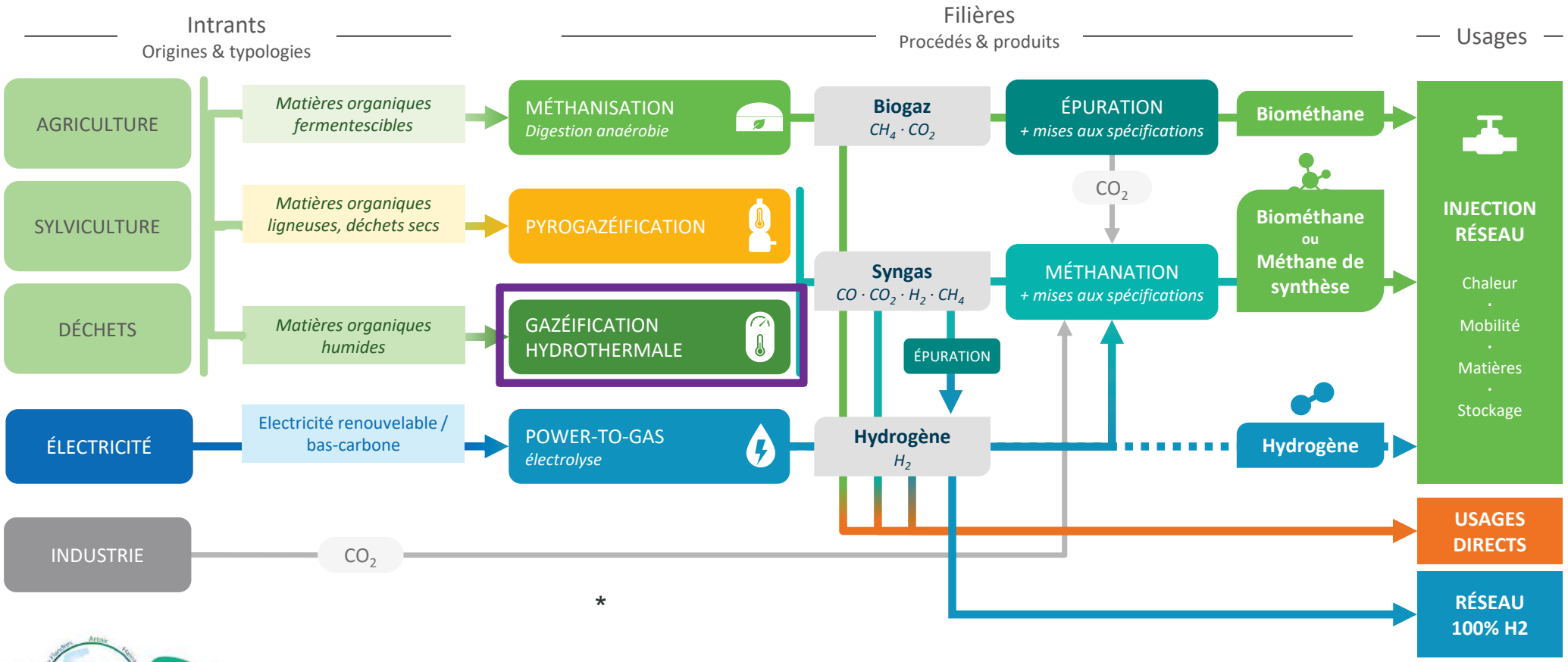
Des projets industriels identifiés dans tout le territoire, ils sont en attente d'un dispositif de soutien pour être lancés

LA FILIÈRE GAZÉIFICATION HYDROTHERMALE

Une technologie émergente pour traiter les effluents liquides

Gaz renouvelable et bas carbone : 4 filières complémentaires

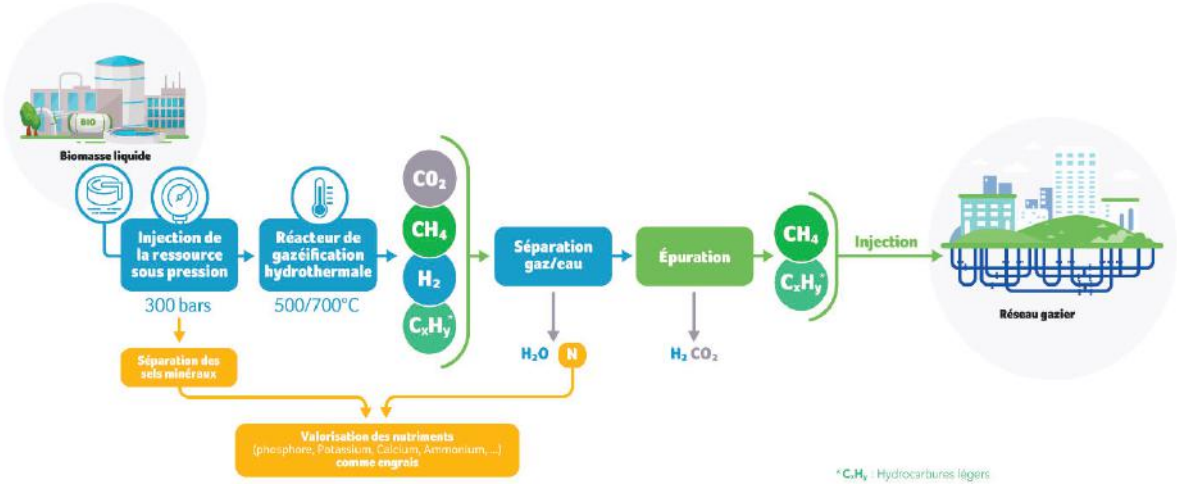
La France dispose d'un potentiel de déchets suffisants pour décarboner le mix gazier d'ici 2050



*Analyse GRTgaz / GRDF / FGR / ATEE / GT Gazéification Hydrothermale basée sur les études disponibles (Ademe, Solagro, France Stratégie, Enea).

Définition de la gazéification hydrothermale

La gazéification hydrothermale permet de valoriser des déchets liquides riches en matières organiques sous forme de gaz renouvelables (CH_4 ou H_2)



Principe de fonctionnement

- Procédé de **conversion thermochimique** d'intrants organiques humides, en gaz
- Utilisation des propriétés de l'eau **supercritique**
- Deux technologies : **catalytique** ou **haute température**
- Obtention d'un gaz riche en **méthane** et en **dihydrogène**

Technologie	Haute température *600-700°C*	Catalytique *400-500°C*
CH_4	20-40%	50-70%
C_xH_y	0-10%	-
H_2	20-50%	0-10%
CO_2	20-30%	20-35%

Efficacité & performances

Conversion rapide (<30 min) et continue

Conversion élevée du carbone (>90%)

Haut rendement énergétique global (>60%)

Réacteur compact et modulaire (~250m² pour 3t/h)

Impacts environnementaux réduits

Faible consommation d'eau

Elimination des microplastiques

Qualité de l'air préservée
Pas d'émissions de polluants atmosphériques

Elimination des bactéries, virus et pathogènes

Valorisation économique

Production de (bio)gaz injectable

Récupération de sels minéraux valorisables

Coûts évités VS enfouissement ou incinération de déchets

Source de (bio)CO_2 pur et valorisable

Fonctionnement simplifié de Gazéification hydrothermale

	Intrants	Conditions opératoires		Produits bruts (avant traitement/épuration)
Gazéification hydrothermale	Matière organique humide (~80% d'eau)	Haute température (500-700°C)	Haute pression (300 bars)	≈ Cocotte-minute → Syngas (~20%) : CO_2: 25-35%, CH_4: 25-40 %, H_2: 20-50%, C_xH_y: 10% ; Eau usée (~75%) ; Sels et minéraux (~5%)

Les intrants de la gazéification hydrothermale

La gazéification hydrothermale valorise des déchets organiques humides difficilement ou mal valorisables par les filières existantes

Boues de station d'épuration

Digestats non-épandables issus de méthaniseurs

Boues/graisses industrielles (chimie, pharmaceutique…)

Sédiments de dragage

Liqueur noire (industrie papetière)

Résidus liquides de l'IAA

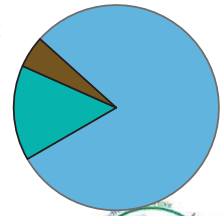
50 TWh_{PCS} de potentiel de gaz vert en 2050 avec une mobilisation raisonnée des gisements

- Taux de **Matières Sèches** (MS) ou siccité entre **15% et 25%** (doit être **pompable**)
- MS riche en **matière organique** (%carbone ≥ **50%**)
- Si biomasse, le gaz produit est considéré comme du **biométhane**
- Possibilité de traiter des déchets non biogéniques (ex : plastiques)

Matière sèche (MS) ~20%

Matière inorganique (dont sels minéraux) ~5%

Matière organique ~15%



Panorama des acteurs de la gazéification hydrothermale – Europe

Les Pays-Bas sont en tête du développement de la filière, et peu d'acteurs sont présents en France pour le moment

Pays-Bas

- **SCW Systems**
  Démonstrateur (Alkmaar, 2018) : 2t/h (2 MW_{th})
  1ère unité industrielle au monde (2024): 16t/h (18MWth)
- **Bright Circular**
  Pilote (2018) : 150 kg/h
- **ProBiomass**
  Pilote SUPERSLUDGE (2018) : 150 kg/h

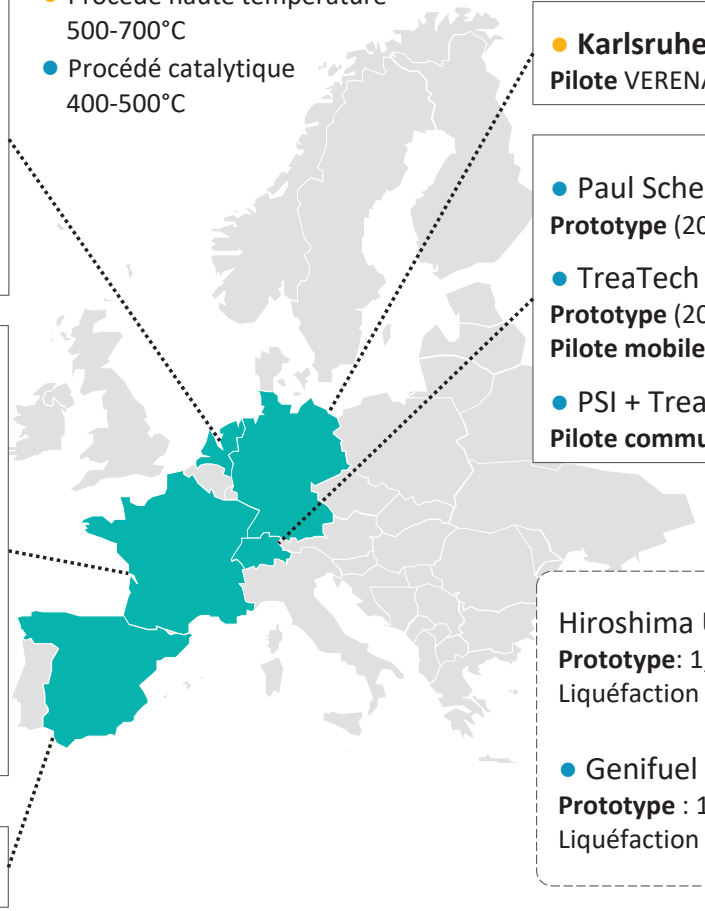
France

- **CEA**
  Prototype (2015) : 10 kg/h
  Réacteurs **batch** et **continu (seul en France)**
- **IMT Mines Albi-Carmaux**
  Prototype (0,5L en batch)
- **Leroux & Lotz**
  Pilote en développement : 10kg/h
  Démonstrateur GHAMa (Saint-Nazaire, 2026) : 2t/h (2MW_{th})
- **VINCI Environnement**
  Développeur **en partenariat avec Genifuel**

Espagne

- **Cade**
  Pilotes (2018) : 40 kg/h / (2024) : 100kg/h

- Procédé haute température 500-700°C
- Procédé catalytique 400-500°C



Allemagne

- **Karlsruhe Institut of Technology (KIT)**
  Pilote VERENA (2004): 100 kg/h

Suisse

- Paul Scherrer Institut (PSI)
  Prototype (2014) : 1 kg/h
- TreaTech
  Prototype (2018) : 1 kg/h
  Pilote mobile VISTA (2024) : 200kg/h
- PSI + TreaTech
  Pilote commun (2020) : 110 kg/h

International (hors Europe)

Hiroshima University – Japon
Prototype: 1,5 kg/h
Liquéfaction et gazéification hydrothermale

- Genifuel – USA
  Prototype : 1,5 kg/h
  Liquéfaction puis gazéification hydrothermale Chauffage solaire

La gazéification hydrothermale en France

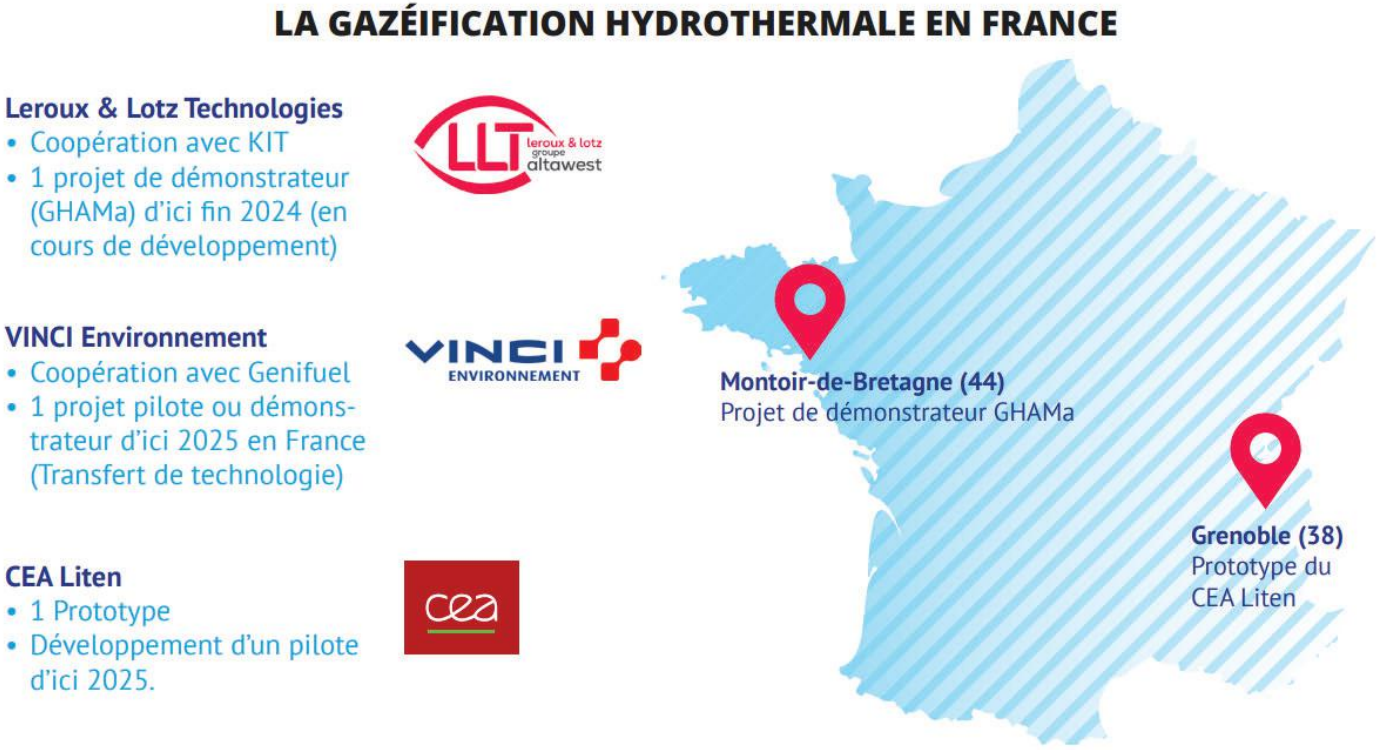


Figure 11 : Carte des développeurs actuels en Europe et dans le monde (situation à mi-2022) (Source Cerema & GRTgaz).

Accompagnement de projets :

SIAAP Paris

SARUS Paris

SMAAG Granville

SYDETIL 66 Perpignan

Panorama des acteurs de la gazéification hydrothermale – France

Le développement de la filière française s'organise notamment autour GT Gazéification Hydrothermale piloté par GRTgaz

@ Lien du Livre blanc de la gazéification hydrothermale

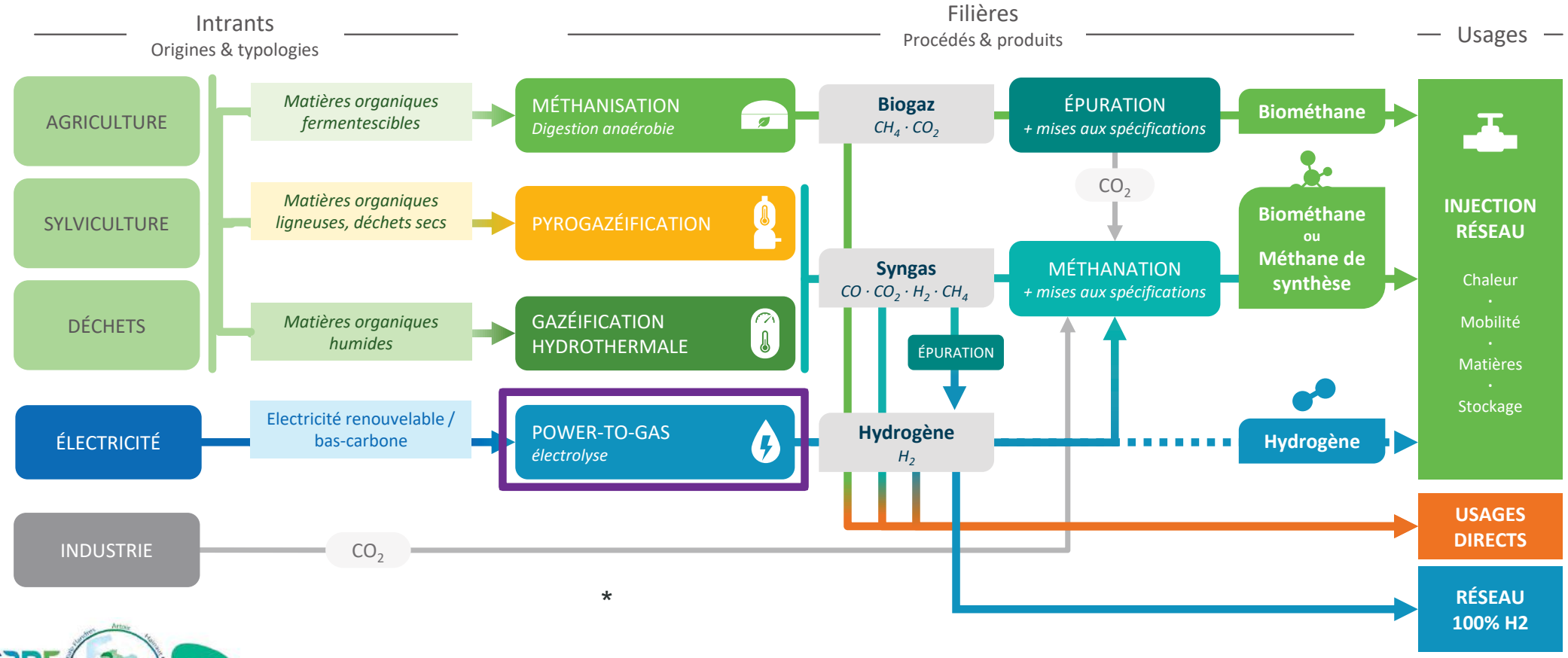
Liste non exhaustive, à date du 01/01/2024

Gaz Renouvelables : Moyens technologiques & économiques

H2 / CO2

Gaz renouvelable et bas carbone : 4 filières complémentaires

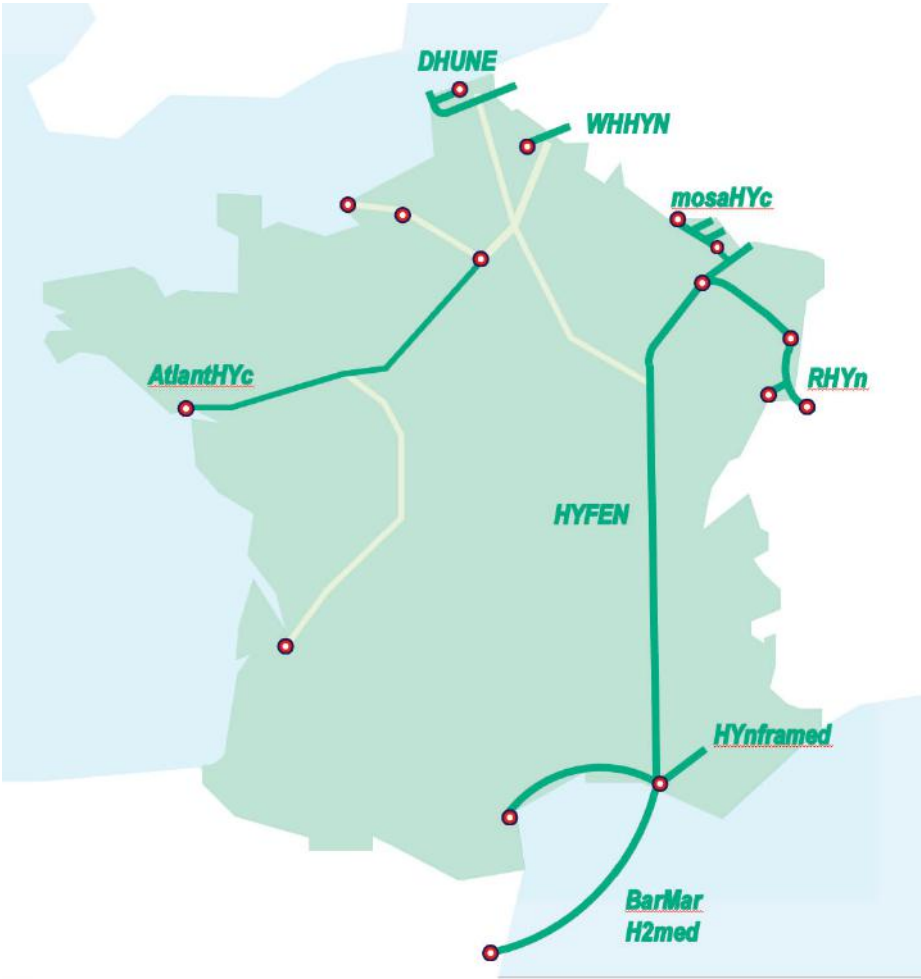
La France dispose d'un potentiel de déchets suffisants pour décarboner le mix gazier d'ici 2050



Analyse GRTgaz / GRDF / FGR / ATEE / GT Gazéification Hydrothermale basée sur les études disponibles (Ademe, Solagro, France Stratégie, Enea).

Un plan de développement d'un réseau de transport hydrogène européen qui s'appuie sur des écosystèmes territoriaux

- Nouvelle stratégie hydrogène française : **le développement de réseaux d'hydrogène inscrit comme une priorité**
  - **Au moins 500 km** à horizon 2030 pour raccorder les bassins entre eux et aux stockages souterrains
  - Des besoins d'imports identifiés
- GRTgaz développe des projets au sein des principaux bassins industriels co-construits avec les industriels. **Forte dynamique des projets en 2023** :
- Préparation de la connexion progressive de ces infrastructures de bassin entre elles, avec les stockages et à terme avec le transit européen avec les **projets BarMar et HY-FEN** : lancement de **l'étude de faisabilité du projet BarMar dont réalisation des premières campagnes en mer en 2024**
- **Tous les projets transfrontaliers de GRTgaz retenus pour le statut de Projet d'Intérêt Commun** par la Commission Européenne



Lancement d'un projet d'infrastructure de transport d'hydrogène sur le Port de Dunkerque, aligné avec la stratégie française sur l'hydrogène

Caractéristiques du projet DHUNE

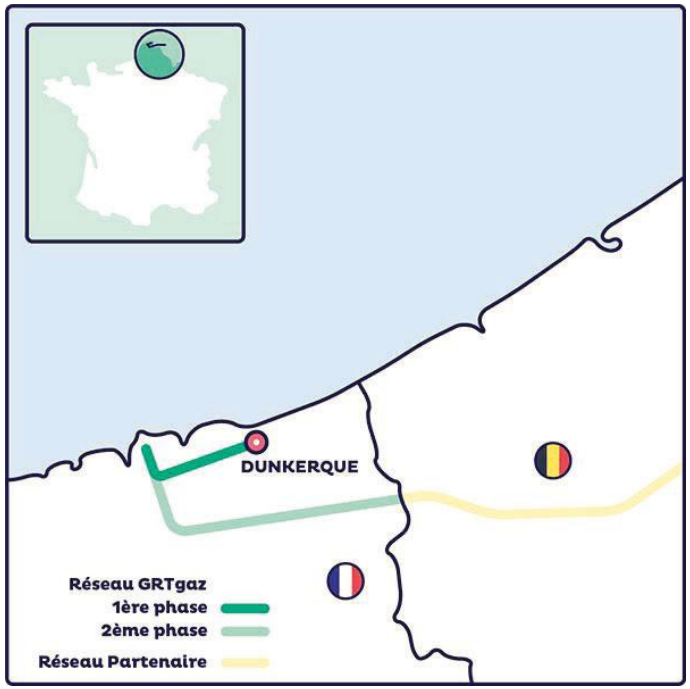
- Projet de réseau de transport d'hydrogène sur le Port de Dunkerque
- Environ 10 km dans la 1e phase
- Extensions envisagées pour raccorder des futurs clients sur le Port et son hinterland
- Interconnexion à moyen terme avec la Belgique

Macro-principes d'accès à l'infrastructure

- GRTgaz développe, investit, construit et exploite l'infrastructure en France
- Réseau « ouvert » : Accès des tiers transparent et non-discriminatoire au réseau

Ambitions du projet

- En ligne avec la stratégie française révisée sur l'H2 : *« La priorité française en matière de développement du réseau hydrogène reste donc l'accélération du déploiement de ces infrastructures au sein de hubs hydrogène. »*



Décarbonation activités industrielles

Attractivité économique du territoire

Décarbonation mobilité lourde

Sécurité d'approvisionnement énergétique

Processus de développement du projet : basé sur des besoins clients

Appel à intérêt du marché pour un réseau de transport d'hydrogène sur le Port de Dunkerque réalisé du 19 septembre au 18 novembre 2022

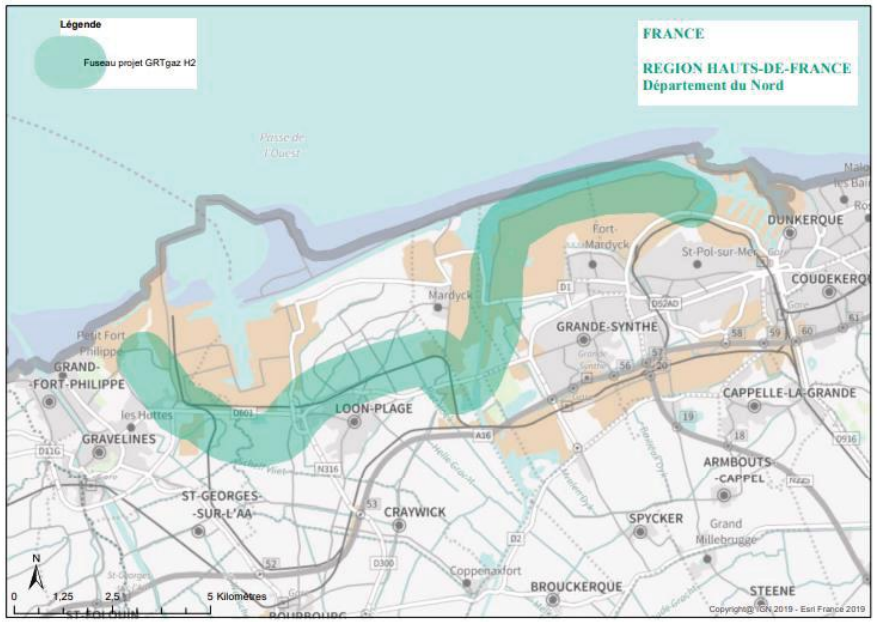
Confirmation de l'intérêt du marché pour le projet d'infrastructure et la réalisation d'une étude de faisabilité technique

4 industriels s'engagent avec GRTgaz dans une convention d'étude et contribuent financièrement à l'étude de faisabilité dont **ArcelorMittal, H2V, Imerys + signature convention ZIBAC**

Réalisation de l'étude de faisabilité technique en 2023

Lancement des études de base : janvier 2024
Mise en service cible : Fin 2027

Succès de l'appel à intérêt du marché



https://www.grtgaz.com/nos-actions/open-season-hydrogene-dunkerque

11 entreprises répondantes

1 000 MW de production cumulée par électrolyse

6 à 12 TWh de consommation d'H2 envisagée

WHHYN : Projet d'infrastructure de transport d'hydrogène dans la zone du Grand Hainaut

Caractéristiques du projet

- Projet de réseau de transport d'hydrogène dans le Hainaut autour de Valenciennes
- Environ 40 km en France dans la **1e phase**
- Infrastructure interconnectée avec le réseau belge, opéré par Fluxys

Macro-principes d'accès à l'infrastructure

- GRTgaz développe, investit, construit et exploite l'infrastructure en France
- Réseau « ouvert » : Accès des tiers transparent et non-discriminatoire au réseau

Ambition du projet

Décarbonation activités industrielles	Attractivité économique du territoire	Décarbonation mobilité lourde	Sécurité d'approvisionnement énergétique

WHHYN : Démarche d'Open Season

Appel à intérêt du marché pour un réseau de transport d'hydrogène dans la zone de Valenciennes, interconnecté avec un réseau en Belgique développé par Fluxys

Objectif : Confirmer l'intérêt du marché pour le projet d'infrastructure et la réalisation d'une étude de faisabilité technique

Démarche publique : Documents clés présentés et mis à disposition sur le site internet de GRTgaz

Appel à intérêt ouvert du 16 juin au 16 septembre 2022

https://www.grtgaz.com/nos-actions/open-season-hydrogene-valenciennes

Développement d'un réseau de transport de CO2 sur la ZIP de Dunkerque (Périmètre GRTgaz)

Appel à intérêt du marché pour un réseau de transport de CO2 sur le Port de Dunkerque réalisé du 7 février au 7 avril 2023

Confirmation de l'intérêt du marché pour le projet d'infrastructure et la réalisation d'une étude de faisabilité technique

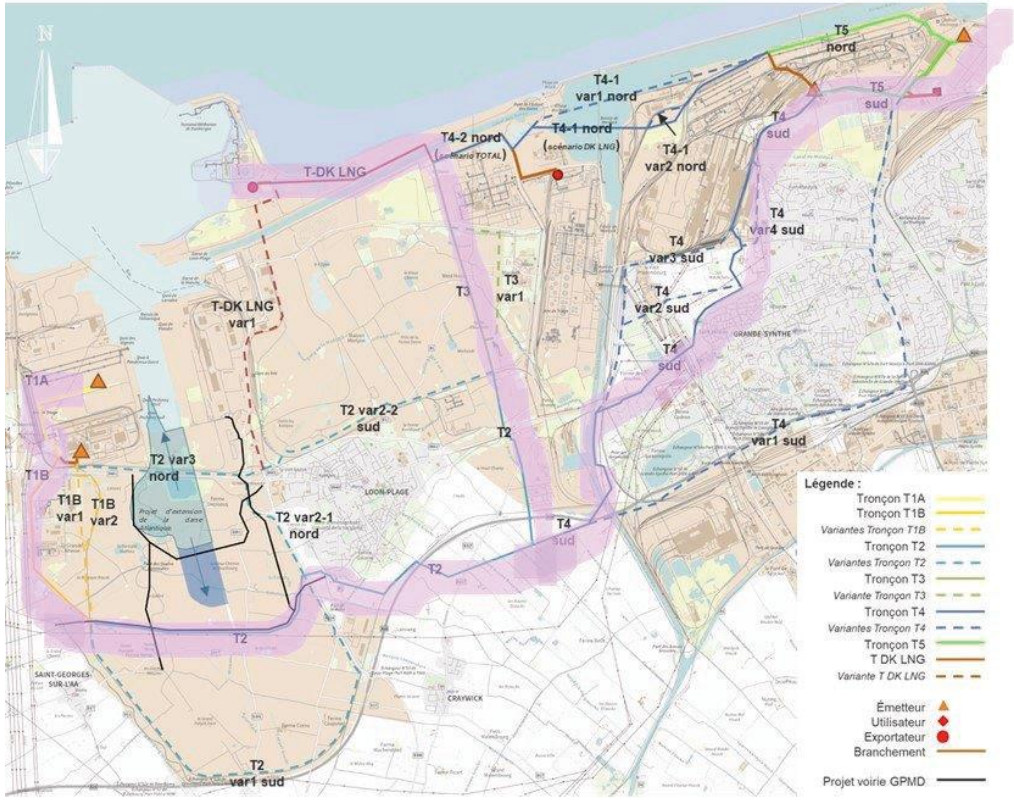
4 industriels (3 émetteurs + 1 CCU) s'engagent avec GRTgaz dans une convention d'étude et contribuent financièrement à l'étude de faisabilité **+ soutien ZIBAC**

Réalisation de l'étude de faisabilité technique en 2023
Lancement des études d'ingénierie de base en 2024

Mises en service cibles : 2028-2029

RESULTAT DE L'ETUDE DE FAISAIBILITE Janvier 2024

30 km	DN750 & DN500	35 bar

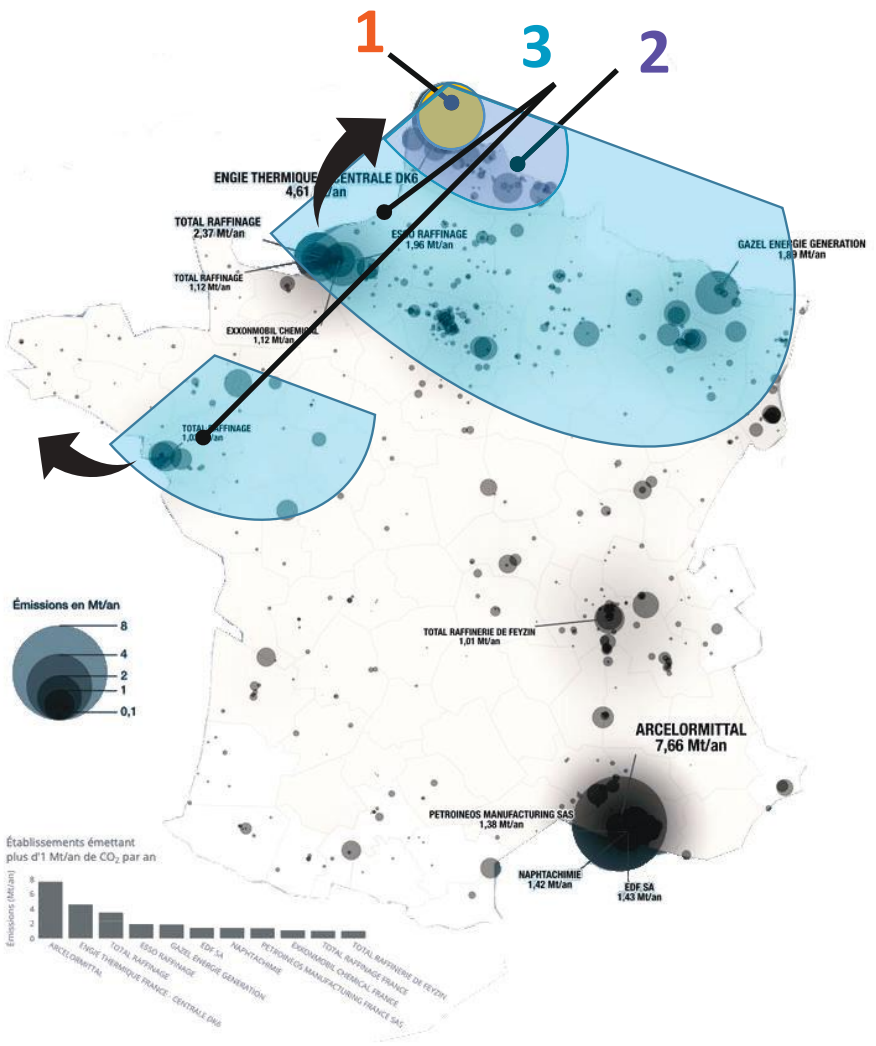


Tracé privilégié par le Sud du port
Interface avec une solution de pipe offshore non étudiée

Perspectives et potentiels de développement du Hub de Dunkerque

1 **3,75 à 4 Mt CO2/an :** volumes de la ZIP Dunkerque

2 Volumes additionnels de l'hinterland: prod. d'électricité, autres secteurs industriels

3 Volumes d'autres bassins pour certains pouvant être importés par bateau :

- Vallée de la Seine (1,2 MTPA à 3 Mt/an post 2030)
- Grand-Est (environ 3 Mt/an)
- + Montoir Saint-Nazaire ? (de 2,6 à 4 Mt/an)