



Gestion des Réseaux par l'injection d'Hydrogène pour Décarboner les énergies

Projet GRHYD

Isabelle ALLIAT (ENGIE Lab CRIGEN)





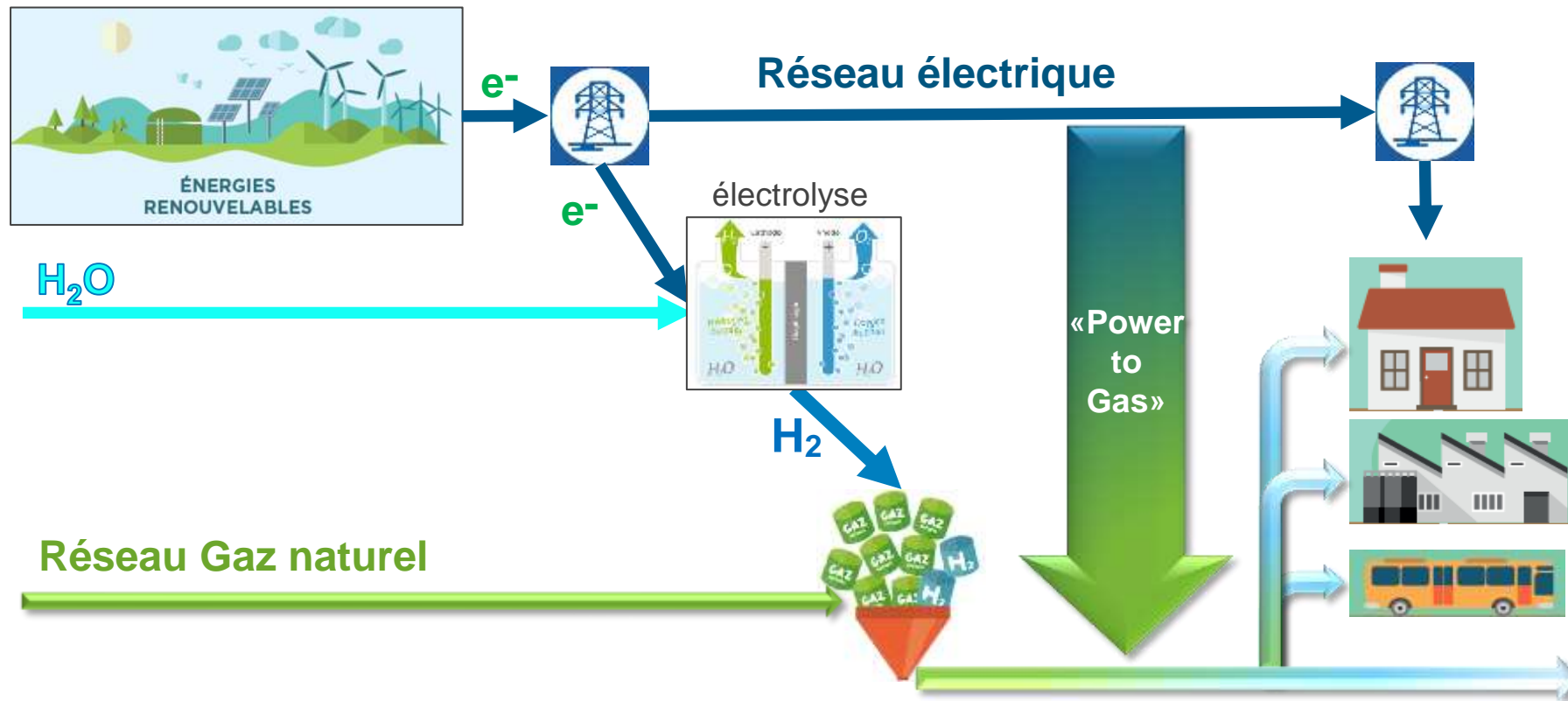
01

Contexte et finalités du projet GRHYD

ENGIE

Notre objectif: Valoriser les énergies renouvelables dans les réseaux de gaz existants grâce au vecteur hydrogène

Solution de flexibilité et d'arbitrage couplant la gestion des énergies électrique et gazière via le vecteur gaz hydrogène :



Développer une nouvelle filière énergétique pour la ville, basée sur la valorisation des énergies renouvelables

- ❑ **Il crée de nouveaux marchés pour les énergies renouvelables et bas carbone**, grâce à leur conversion en hydrogène
- ❑ Il explore de nouvelles options de stockage et valorisation de l'énergie:
 - l'injection variable d'hydrogène en réseau de gaz naturel,
 - **l'utilisation d'une nouvelle énergie Gaz Naturel/ Hydrogène dans les usages du gaz naturel en milieu urbain : chauffage, eau chaude sanitaire, cuisson, carburant véhicules, etc...**
- ❑ **avec comme avantages majeurs** (résultats du projet ALTHYTUDE (2004-2009) réalisé à Dunkerque sur l'usage carburant):
 - **Une meilleure efficacité énergétique** (+ 7% vs GN)
 - Une introduction de l'hydrogène dans le mix énergétique urbain à coût optimisé (même station et véhicules que GNV)
 - **Une diminution des GES et des polluants locaux** (- 10 %eqCO₂ vs GN)
 - **Une réduction de la consommation d'énergie fossile** (remplacée par l'hydrogène d'origine renouvelable)



Un changement de gaz !!!

sans changement...

- Un nouveau gaz = GNH2 (ou H2NG) **jusqu'à 20% H2 en volume**
 - compatible avec les installations existantes (chaudières, gazinières, réseau de distribution de gaz, ...)
 - qui réduit les émissions de CO2 et de polluants (NOx)
 - en valorisant les énergies renouvelables (éolien, solaire)

Programme des Investissements d'Avenir



- ❑ Projet sélectionné dans le cadre de l'Appel à Manifestation d'Intérêt
« **Programmes démonstrateurs et plates-formes technologiques en énergies renouvelables et décarbonées et chimie verte : partie Hydrogène et piles à combustible** » lancé par l'ADEME en 2011
- ❑ GRHYD fait partie des **investissements d'avenir**, dans le domaine des **filières hydrogène pour la ville durable**
- ❑ Il s'agit du premier démonstrateur français **Power-to-Gas**.





Projet GRHYD: les usages du gaz mis en scène et évalués via la démonstration



2 pilotes basé sur l'hydrogène pour évaluer la pertinence d'une filière GN-H2 pour la Ville Durable

Objectif : produire de l'hydrogène à base d'électricité renouvelable, le distribuer et l'utiliser localement, avec le gaz naturel : *chauffage, eau chaude, cuisson et carburant*



Un nouveau gaz domestique: H2NG

Un nouveau quartier d'environ 100 logements et une chaufferie sont alimentés par un nouveau gaz H2-gaz naturel, avec des proportions d'H2 variables, de 0 % à 20 %vol.

De la faisabilité (démonstration) à la commercialisation

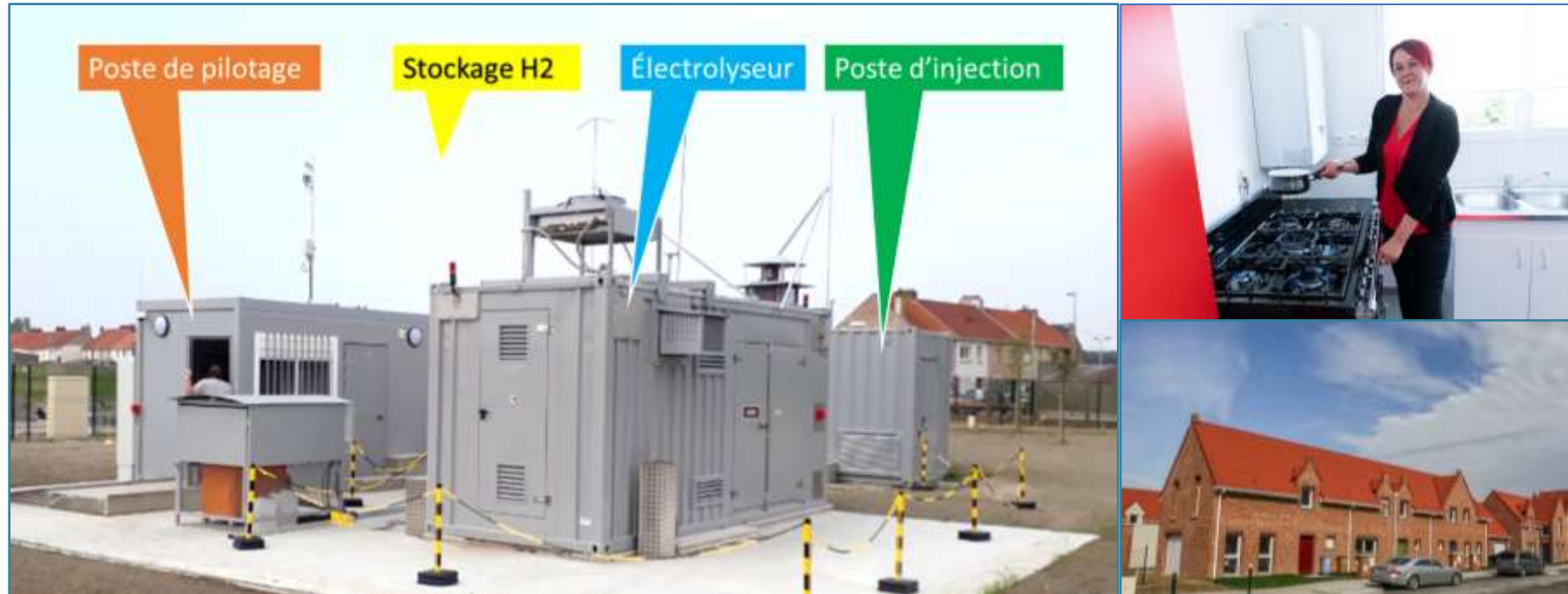
Un nouveau carburant pour bus

Démonstration pré-commerciale : la station GNV et 30 bus urbains seront adaptés au carburant Hythane® (5 % et 20 %vol. H2)

**GRHYD : une démonstration
réussie**
Les enseignements

1^{er} démonstrateur Power-to-Gas H2 : Mission accomplie !

- Mise en place avec succès du pilote de R&D :



- ✓ Évaluer sur le terrain les aspects techniques, environnementaux, réglementaires, sociétaux d'une filière utilisant une nouvelle énergie gaz naturel hydrogène pour un usage dans l'habitat et les transports

Pilote R&D : des technologies innovantes sont évaluées en situation réelle

- Mise en place avec succès du pilote intégrant : électrolyse PEM, stockage hydrure, poste d'injection H2 et logiciel de pilotage dédié



AREVA H2Gen
Électrolyseur PEM
10 Nm³ H2/h

McPhy Energy
Stockage H2 solide
(hydrures métalliques)
5 kg H2



GRDF
Poste d'injection H2
50 Nm³ H2NG /h
< 20 %vol. H2



**Les principaux enseignements
de la démonstration
« injection et distribution de
gaz H2NG »**

Une adaptabilité confirmée des équipements, des installations réseaux et aval compteur, au gaz hydrogène/gaz naturel

Chaîne technique complexe mise en œuvre avec succès

Test laboratoires confirmés par l'expérimentation terrain :

- Fragilisation des matériaux ✓
- Etanchéité des équipements ✓
- Perméation / fuites ✓
- Odorisation ✓
- Compatibilité compteurs ✓
- Non-séparation (surconcentration H2) ✓

Test d'équipements innovants :

- Poste d'injection avec mélangeur H2/GN
- Analyseur gaz

Installations intérieures

Test laboratoires confirmés par l'expérimentation terrain :

- Fragilisation des matériaux (cuivre) ✓
- Etanchéité des équipements ✓

Équipements gaz naturel

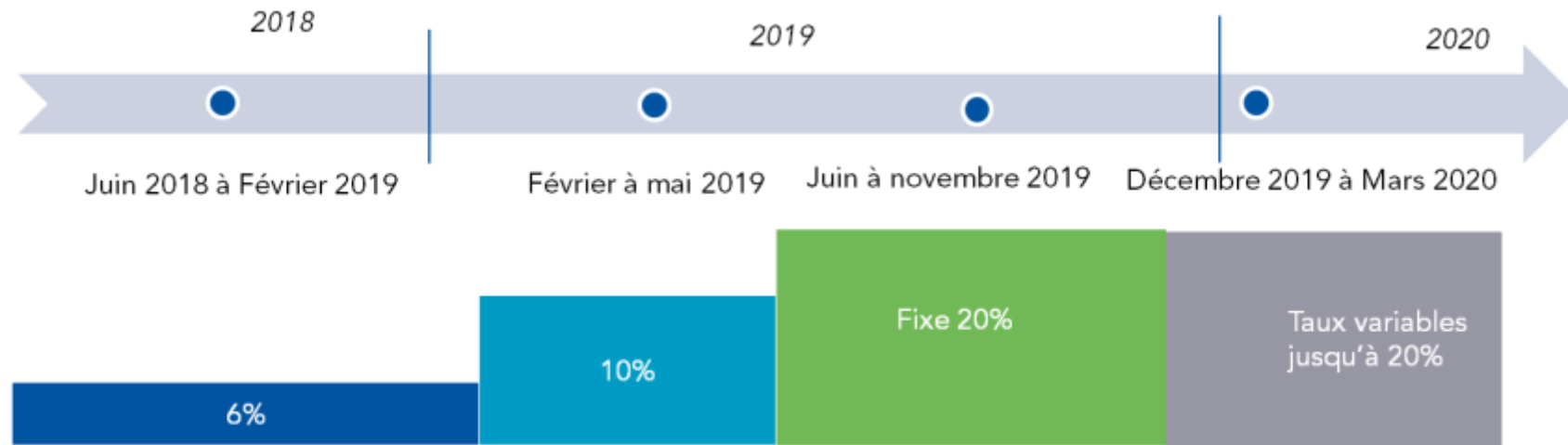
Test laboratoires confirmés par l'expérimentation terrain :

- Chaudières neuves individuelles (Saunier-Duval, à condensation) ✓
- Chaudières neuve et existante des chaufferies du centre de soin ✓

Test laboratoires uniquement :

- Chaudières individuelles et plaques de cuisson existantes ✓
- Plaques de cuisson neuves ✓

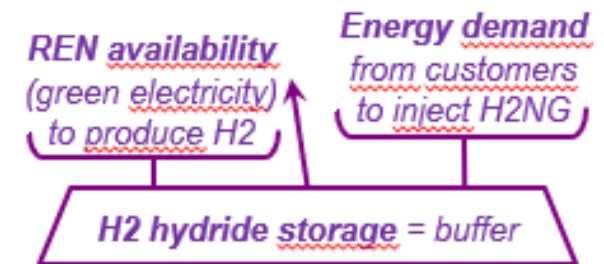
Une phase de test terrain de 21 mois avec augmentation des taux d'H2 par palier pour atteindre 20% en variable sur décembre 2019-mars 2020



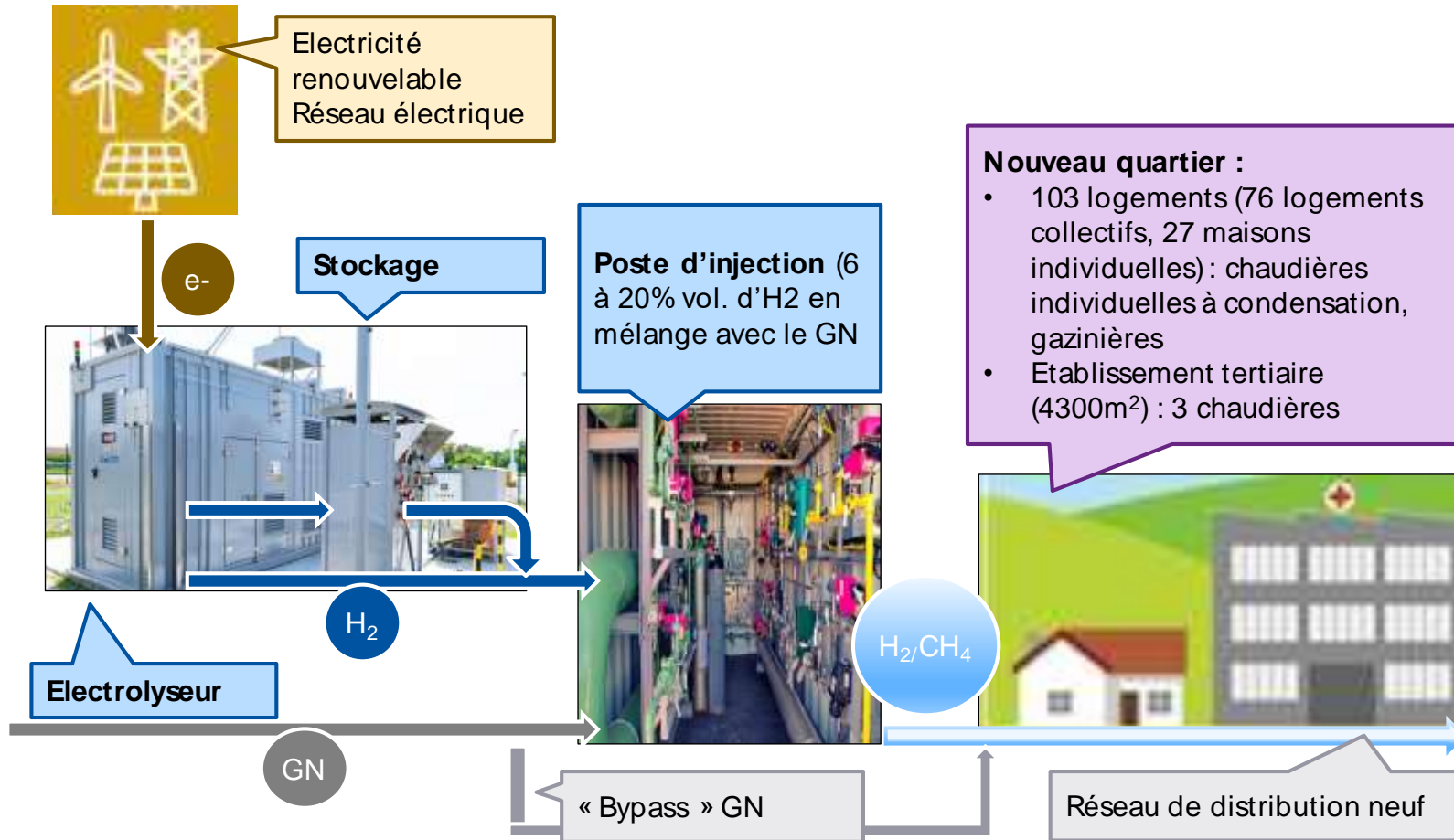
Checking process:

- Grid exploitation & safety procedures
- H2 electrolyser, storage, injection: exploitation
- Societal acceptance: habitants enquiries
- Domestic boilers, cookers: efficiency, combustion
- Central heating boilers: efficiency, combustion

Strategy for driving H2 equipments:



Une chaîne technique complexe mise en œuvre avec succès



- Consommations de gaz: ~8 m³(n)/h en été et 40 m³(n)/h en hiver (débit moyen)
- Capacité de production: 12 m³(n)/h H2
- Capacité de stockage: 50 m³(n) H2
- Production d'environ 13 000 m³(n) H2 à partir de 112 GWh d'électricité d'origine renouvelable et 14,4 m³ d'eau pure
- Production de ~ 6 500 m³(n) O2, émis à l'atmosphère

Un succès du démonstrateur « injection H2 » qui conforte la faisabilité technique de la nouvelle filière

Succès technique de la mise en place d'une filière Power-to-Gas complexe (production d'hydrogène par électrolyse – stockage H₂ – injection d'H₂ en mélange jusqu'à 20% en vol. avec des taux variables): **21 mois** de démonstration terrain, conception & test d'équipements innovants (électrolyseur PEM, stockage H₂ sous forme solide, poste d'injection, analyseur gaz)

Un réseau de distribution de gaz neuf et des usages gaz naturel résidentiel – tertiaire fonctionnant bien avec le mélange H2/gaz naturel, dans des conditions de sécurité industrielle équivalentes à celle du gaz naturel

Une bonne acceptabilité sociale chez les usagers, leur principale préoccupation portant sur la maîtrise de la facture d'énergie

Un dialogue technique constructif avec l'administration

Un bénéfice environnemental confirmé de l'injection d'hydrogène: -8% CO_{2eq} vs gaz naturel soit 32 tonnes de CO_{2eq} évitées sur le quartier par an, **réduction des émissions de CO (-63%) et NOx (-42%)** à la cheminée des chaudières domestiques

Une bonne acceptabilité sociale chez les habitants usagers

- Une zone d'expérimentation favorable a priori : une population accoutumée à un environnement industriel
- Un dispositif d'information combinant réunions publiques auprès des futurs habitants du quartier, communications ciblées, affichage dans les bâtiments des logements

Retour des études sociologiques réalisées auprès des habitants (focus group, entretiens) :

- Confiance dans les partenaires du projet pour gérer la problématique de la sécurité industrielle
- Préoccupation principale : impact sur la facture énergétique (neutre dans le cadre du projet)





Les infrastructures de distribution de gaz

Le REX technique permet de valider la faisabilité de l'injection de 20 %vol. d'H2 dans un réseau de distribution de gaz neuf, alimentant des logements neufs

PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE REX SUR LE RÉSEAU DE DISTRIBUTION :

- ✓ **Aucun incident de sécurité** y compris pendant les périodes de réglage des équipements du démonstrateur
- ✓ **Aucun incident recensé lors des interventions d'exploitation du réseau** à fréquence renforcée (recherche systématique de fuites, inspection des robinets, inspection des conduites intérieures et conduites montantes)
- ✓ **Une qualité de l'hydrogène produit très bonne** : < 5 ppm H₂O et < 5 ppm O₂ => respect des prescriptions techniques pour le gaz distribué
- ✓ **Des dérogations** par rapport aux seuils réglementaires ont été données pour la teneur en H₂, le PCS et l'indice de Wobbe

CONCERNANT L'AVAL COMPTEUR :

- Des campagnes sur les appareils à gaz (chez des habitants volontaires) et sur les chaudières (chaufferies du centre de soin) qui confirment les tendances observées lors des tests dans les laboratoires du CETIAT :
 - ✓ Rendement utile amélioré des chaudières domestiques (évalué à +4% en laboratoire)
 - ✓ Réduction des émissions de CO₂, CO, NOx (à la cheminée)

Qualité du gaz GNH2 injecté

- Du fait de la grande pureté de l'hydrogène (< 5 ppm O₂ et < 5 ppm H₂O), respect des prescriptions techniques sur l'ensemble des paramètres (notamment point de rosée eau et O₂) - sauf teneur en H₂, PCS et indice de Wobbe

- Gaz qui reste correctement odorisé, avec une teneur en THT qui reste toujours dans la plage [15 – 40 mg/m³(n)] en THT

(Rappel de l'exigence réglementaire: le gaz doit être odorisé de sorte qu'un nez moyen puisse le détecter lorsque la concentration de gaz dans l'air atteint 20% de la LIE (soit 1% de gaz dans l'air)).

Rappel des Prescriptions Techniques GRDF

Caractéristique	Spécification
Pouvoir Calorifique Supérieur (conditions de combustion 0 °C et 1,01325 bar)	Gaz de type H ¹ : 10,7 à 12,8 kWh/ m ³ (n) (combustion 25°C : 10,67 à 12,77) Gaz de type B ¹ : 9,5 à 10,5 kWh/ m ³ (n) (combustion 25°C : 9,48 à 10,47)
Indice de Wobbe (conditions de combustion 0 °C et 1,01325 bar) ⁵	Gaz de type H : 13,64 à 15,70 kWh/ m ³ (n) (combustion 25°C:13,6 à 15,66) Gaz de type B : 12.01 à 13,06 kWh/ m ³ (n) (combustion 25°C : 11,97 à 13,03) Gaz de type B pour les secteurs géographiques en cours de conversion gaz B / gaz H6 : 12.50 à 13.06 kWh/ m ³ (n) (combustion 25°C : 12.47 à 13.03)
Densité	Comprise entre 0,555 et 0,70
Point de rosée eau	Inférieur à -5°C à la Pression Maximale de Service du réseau en aval du Raccordement ⁷
Point de rosée hydrocarbures ⁸	Inférieur à -2°C de 1 à 70 bar
Teneur en soufre total	Inférieure à 30 mgS/ m ³ (n)
Teneur en soufre mercaptique	Inférieure à 6 mgS/ m ³ (n)
Teneur en soufre de H ₂ S + COS	Inférieure à 5 mgS/ m ³ (n)
Teneur en CO ₂	Inférieure à 2,5 % (molaire) Par exception, sur autorisation du Distributeur après étude au cas par cas, une limite en CO ₂ jusqu'à 3,5% ⁹ est tolérée.
Teneur en Tétrahydrothiophène (produit odorisant THT)	Comprise entre 15 et 40 mg/m ³ (n)
Teneur en O ₂	Inférieure à 100 ppmv Par exception, sur autorisation du Distributeur, après étude au cas par cas, une limite en O ₂ jusqu'à 0,75% ¹⁰ est tolérée.
Impuretés	Gaz pouvant être transporté, stocké et commercialisé sans subir de traitement supplémentaire
Hg	Inférieur à 1 µg/m ³ (n)
Cl	Inférieur à 1 mg/m ³ (n)
F	Inférieur à 10 mg/m ³ (n)
H ₂	Inférieur à 6 %
NH ₃	Inférieur à 3 mg/m ³ (n)
CO	Inférieur à 2 %



Résultats des essais sur les chaudières domestiques



Appareils testés

	Labo (Cetiat)	Site (résidents)
Chaudières	2 chaudières neuves (<i>Saunier et Chappée</i>) 3 anciennes chaudières (<i>Frisquet, Chaffoteaux et Saunier</i>) 0, 10, 15, 20, 25 et 30 %vol. H2	3 chaudières neuves (<i>Saunier</i>) 6, 10 et 20 %vol. H2
Appareils de cuisson	1 neuf 1 ancien 0, 10, 15 et 25 %vol. H2	1 ancien (6 et 10 %vol. H2) 1 neuf (6 et 10 %vol. H2) 1 neuf à 20 %vol. H2



Essais laboratoire



Essais site

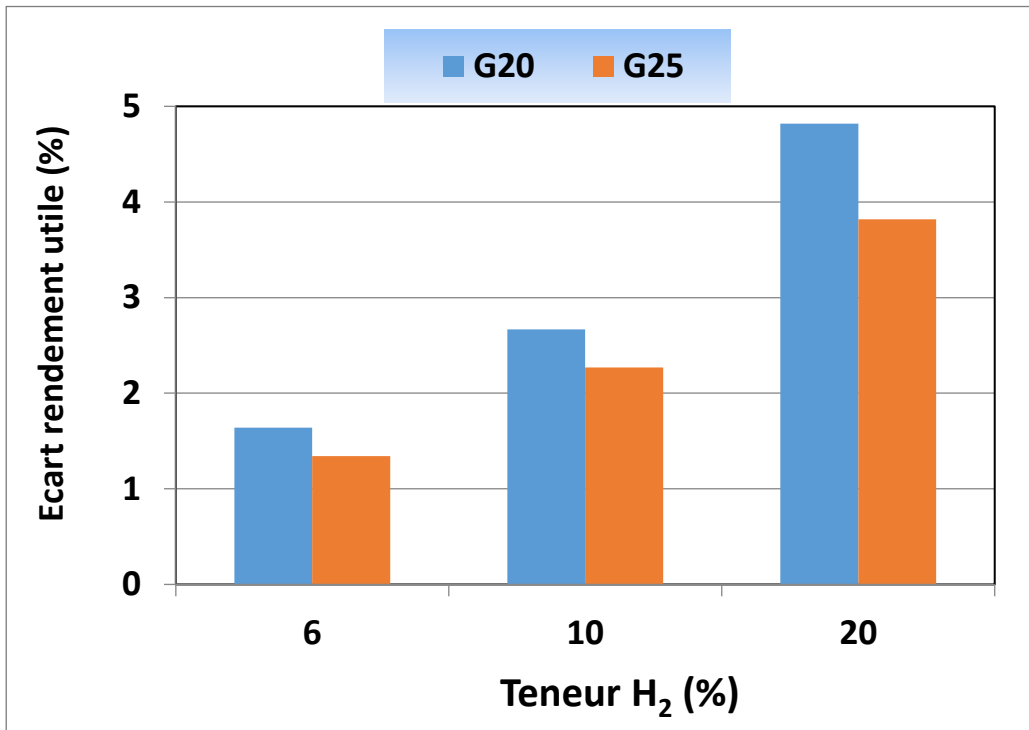


Paramètres mesurés et gaz utilisés

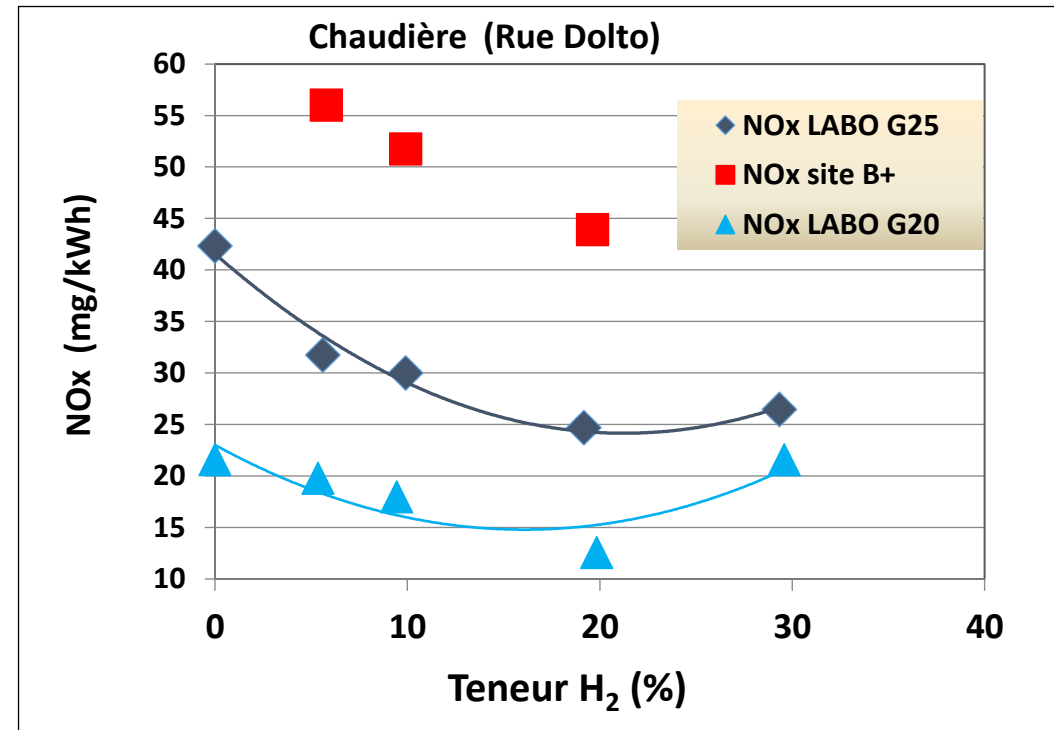
- ✓ Rendements
 - ✓ Utile et de combustion
 - ✓ % sur PCI pour les chaudières
 - ✓ % sur PCS pour les appareils de cuisson
- ✓ Émissions de CO, CO₂ et NO_x dans les produits de combustion neutres (0% O₂) et secs, exprimées en
 - ✓ ppm (parties par million) pour le CO
 - ✓ pourcent (%) CO₂
 - ✓ mg/kWh (milligrammes par kilowattheure) pour NO_x
- ✓ Mélange de gaz de référence (G20, G25) et d'hydrogène au labo et mélange de gaz naturel B+ et d'hydrogène sur site

Résultats labo et site (chaudière Saunier)

- ✓ Rendement utile augmente avec la teneur en H₂
 - ✓ Valeurs plus élevées pour le G20



- ✓ Réduction des émissions de NO_x (labo et site)
 - ✓ Valeurs élevées pour le B+ sur site



Conclusions des essais sur les chaudières domestiques

- ✓ Chaudières : les résultats sont spécifiques aux chaudières testées, ils confirment la littérature, mais ils ne sont pas directement extrapolables à d'autres modèles
 - ✓ Réduction de la puissance utile et du débit calorifique
 - ✓ Maintien du rendement combustion et **augmentation du rendement utile**
 - ✓ **Réduction des émissions de CO₂, CO et NO_x**
 - ✓ Pas de problèmes relatifs à la sécurité, bruit, arrêt, mise en sécurité, déclarés lors des contrôles techniques sur site

En vue d'un déploiement futur

- ✓ Les chaudières anciennes (modèles de 1995 et 2010) testées au laboratoire suivent les mêmes tendances que les chaudières neuves installées sur site
 - ✓ L'éventuel risque à la condensation dans la chaudière et sur le conduit d'évacuation n'est pas géré par les anciennes chaudières
- ✓ D'autres modèles de chaudières neuves testées dans d'autres projets suivent à priori les mêmes tendances
- ✓ Impact de l'hydrogène à long terme (vieillesse, endurance) est à vérifier dans de prochains projets
- ✓ Besoin de campagnes d'essais d'envergure pour adapter les normes au nouveau gaz GNH2



Mesures sur les chaudières tertiaires du centre de soin



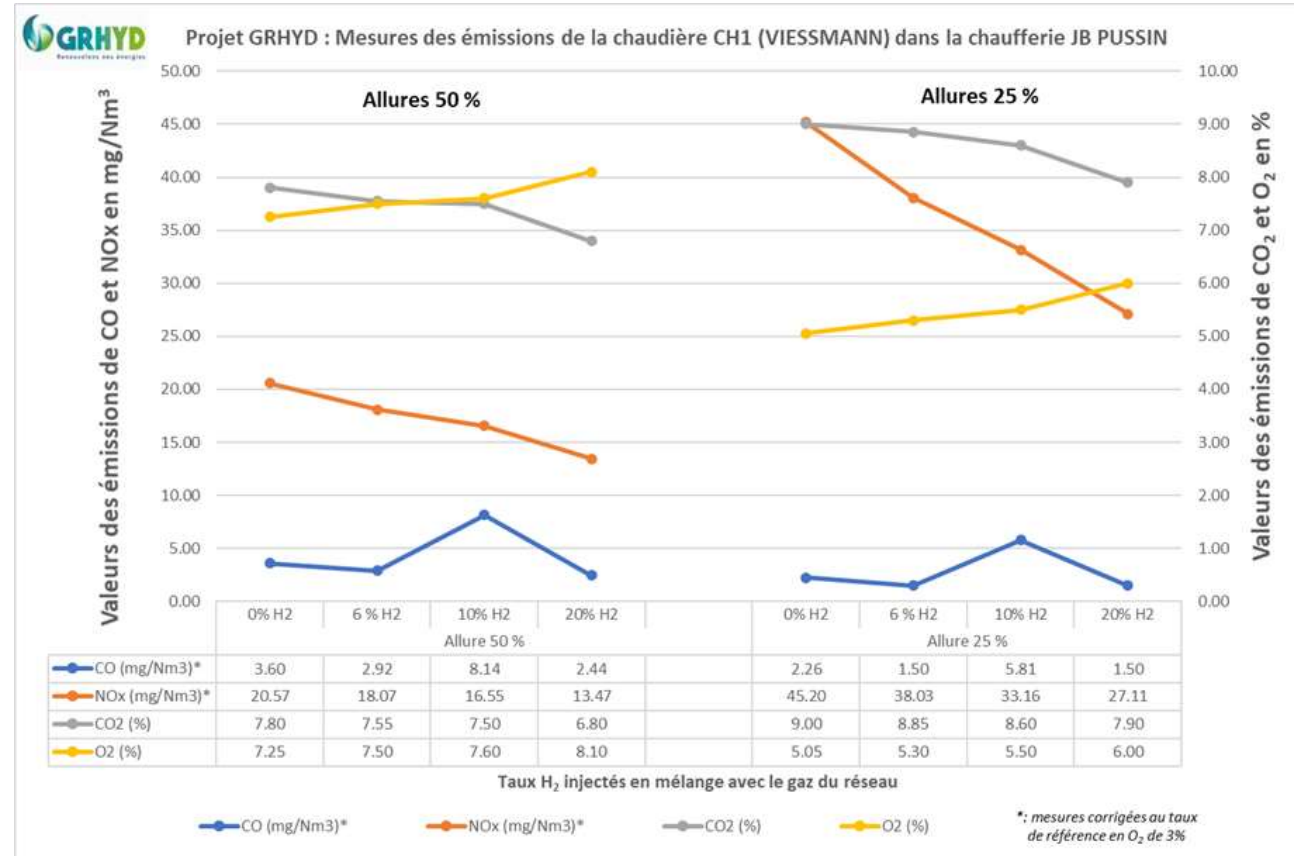
LES CHAUDIÈRES TERTIAIRES TESTÉES

- Le centre de soin (EPSM des Flandres) dispose de 2 chaufferies, équipées de :
 - une ancienne chaudière Guillot
 - 2 chaudières récentes Viessmann
- Les paramètres intéressants à mesurer sont :
 - Les émissions polluantes
 - Le rendement utile
 - mais il n'a pas été possible de le mesurer
 - Le rendement de combustion



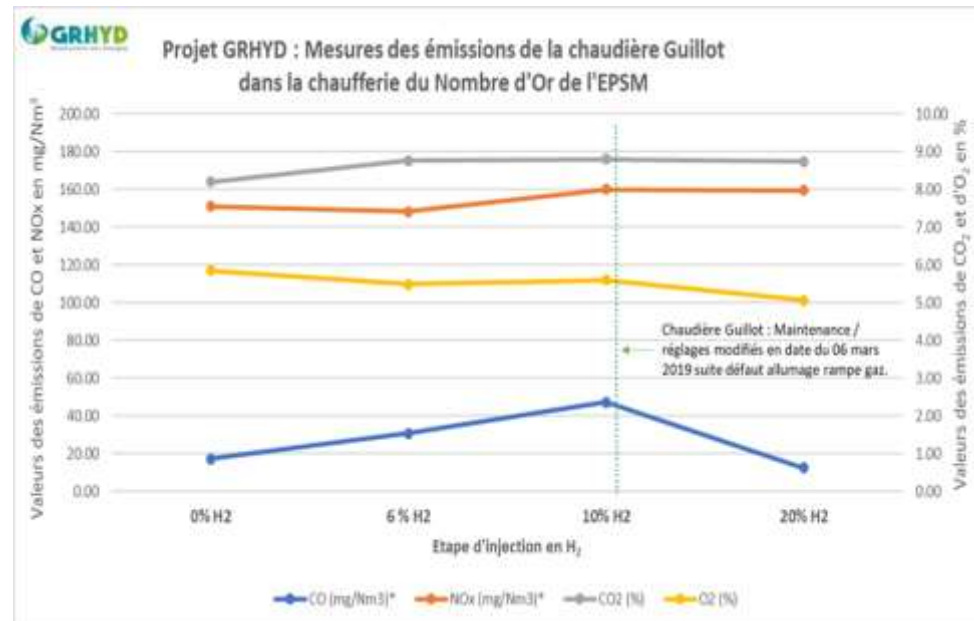
LES CHAUDIÈRES VIESSMANN MONTRENT DE MEILLEURES PERFORMANCES

- Le fonctionnement avec de l'H2 respecte la réglementation actuelle
- Aucun dysfonctionnement a été observé
- La présence d'H2 à 20 %vol. dans le gaz naturel diminue :
 - les émissions de CO2 de 12%
 - les émissions de NOx de 57%
 - les émissions de CO de 20%
- Rendements de combustion:
 - Légère augmentation avec 6% et 10% H2



PAS D'INCIDENCE NÉGATIVE SUR L'ANCIENNE CHAUDIÈRE GUILLOT

- La chaudière Guillot est un ancien modèle sans possibilité de régulation (fonctionnement en mode «Tout ou Rien»)
- En conséquence, il n'a pas été possible de réaliser des mesures pertinentes du rendement
- Les émissions mesurées aux différents taux d'H2 dans le gaz respectent la réglementation actuelle





Conclusion Perspectives de l'après-GRHYD

Contexte de belles synergies entre H2 et gaz naturel: Un projet cohérent avec la stratégie des acteurs gaziers européens et qui contribue à en construire le socle technique

- Selon l'étude ADEME « un mix de gaz 100% renouvelables en 2050? », l'H2 renouvelable fait partie des filières pour décarboner le mix gazier
- Les infrastructures gazières disposent d'un rôle clé pour démontrer la valeur systémique de l'H2:
 - Selon Hydrogen Europe: 7% d'H2 pourrait être injecté en réseau en 2030, 32% en 2040 et 50% en 2050 (soit 270 TWh)
 - En France, les opérateurs d'infrastructures de gaz naturel considèrent la voie injection H2 en mélange parmi les solutions à promouvoir pour faciliter l'intégration d'H2 dans les réseaux et estiment :
 - un volume en mélange de 6% d'injection possible d'H₂ à court terme dans la plupart des ouvrages gaz (sauf sensibles)
 - 10 %vol. d'H₂ en 2030 comme cible atteignable avec une anticipation des adaptations et des évolutions du prescrit



Un démonstrateur qui oriente les prochains travaux

- **Poursuivre l'optimisation de la chaîne Power-to-Gas** en s'appuyant sur des solutions améliorées de conduite et de pilotage des équipements
- **Travailler sur la réglementation, normalisation & certification européenne avec une prise en compte de l'hydrogène dans les infrastructures et les usages du gaz** pour préparer un déploiement industriel (équipements des réseaux, analyseur et compteur de gaz, équipements et installations en aval compteurs, ...)
- **Développer des équipements et des procédures d'exploitation-maintenance** adaptés à la nouvelle composition du gaz acheminé (méthode et fréquence d'inspection, détecteurs de fuites adaptés au mélange, etc.)
- **Etendre l'analyse de compatibilité** de la chaîne gaz naturel en réalisant **des tests sur l'existant** (réseau de distribution, installations intérieures, équipements aval compteur, dans les secteurs du résidentiel, tertiaire, et de l'industrie)
- Poursuivre les travaux de R&D sur les **solutions de protection des installations réseaux ou clients sensibles** (ex. membranes séparant l'H₂ du gaz naturel)

En conclusion

- **En France, des Collectivités territoriales portent un intérêt pour ce nouveau gaz vert**
- **Le projet GRHYD prépare le terrain vers la pré-industrialisation et le déploiement du nouveau gaz GN-H₂: le prochain projet montera en taille !**

OPÉRATION RÉALISÉE AVEC LE CONCOURS DES INVESTISSEMENTS D'AVENIR ET DE L'ÉTAT CONFISÉS À L'ADEME



En partenariat avec :



Ville pilote :



**MERCI DE VOTRE
ATTENTION**

