



Le Power-to-Gas

Outil de flexibilité pour accompagner la transformation du système énergétique

Solution de stockage de l'électricité renouvelable

La France dispose de nombreux atouts et des leaders reconnus sur la scène internationale

Mai 2018

SIAPpartners

Sommaire

-  0 Executive Summary
-  1 Contexte et enjeux du Power-to-Gas
-  2 Cartographie des acteurs de la filière PtG
-  3 Cartographie des projets PtG européens
-  4 Synthèse, constats et tendances



Executive summary

Executive summary

Dans un contexte de transition énergétique, les marchés de l'électricité et du gaz sont en pleine mutation. La France a pris des **engagements aux niveaux mondial, européen et national** (Accord de Paris, Programmation Pluriannuelle de l'Energie, Plan Climat, etc) pour réduire ses émissions de gaz à effet de serre et investir massivement dans les énergies renouvelables. Certains objectifs semblent être ambitieux et soulèvent de nombreuses interrogations notamment sur la **gestion de l'intermittence de la production électrique, des pointes de consommation et la problématique du stockage de l'électricité**. Plusieurs solutions sont aujourd'hui à l'étude pour y répondre. Le Power-to-Gas (P2G ou encore PtG) est l'une d'entre elles. Ce procédé permet en effet de **transformer les surplus de production d'électricité d'origine renouvelable en gaz (hydrogène ou méthane de synthèse)**, et ainsi **créer des synergies entre les réseaux électriques et gaziers** afin d'équilibrer la production et la demande d'électricité.

Depuis quelques années, **de nombreux acteurs** s'activent pour **démontrer la faisabilité technique et économique du Power-to-Gas (P2G)**, et l'intérêt de ce procédé pour soutenir l'intégration des énergies renouvelables dans le mix énergétique. La filière Power-to-Gas fait donc intervenir une palette d'acteurs variée et dont les expertises sont complémentaires : **énergéticiens, PME spécialisées et organismes de recherche**. A ces acteurs, viennent ensuite s'ajouter les entreprises spécialisées dans **les énergies renouvelables** ou dans des **domaines d'activité consommateurs d'hydrogène et de gaz**. Les projets démonstrateurs et projets de R&D sont soutenus financièrement par **les agences nationales et européennes**. Enfin, les associations, plateformes et institutions politiques contribuent à construire un cadre réglementaire et économique favorable au développement de la filière.

Aujourd'hui, **plus de 70 projets ont vu le jour en Europe dont près d'une dizaine pour la France**. Il peut s'agir **d'études de faisabilité, de projets de R&D** ou de **projets démonstrateurs/pilotes**. Ces projets ont différentes applications : permettre le développement de la mobilité durable (voitures à hydrogène), fournir de l'hydrogène aux industriels, ou encore injecter de l'hydrogène et/ou du méthane dans les réseaux de gaz déjà existants. Aujourd'hui, plus d'une **dizaine de projets ont une puissance supérieure au mégawatt**. Certaines « briques » de ces projets sont d'ores et déjà en phase d'industrialisation (électrolyse alcaline) ou pré-industrialisation (électrolyse PEM).

Les nombreux appels à projets lancés en 2016 et 2018 marquent une réelle prise de conscience, mais des efforts doivent être faits pour mettre en place une vraie stratégie industrielle ainsi qu'une législation adaptée et incitative afin de combler les enjeux liés à la rentabilité de ces installations. La France dispose de nombreux atouts avec des leaders reconnus sur la scène internationale (Air Liquide, McPhy Energy, Areva, Engie, GRTgaz, TOTAL...).



Contexte et enjeux du Power-to-Gas

1 Éléments de contexte et enjeux du Power-to-Gas

La transition énergétique entamée depuis plusieurs années avec le développement massif des énergies renouvelables intermittentes génère de nouveaux besoins de flexibilité

- Plusieurs ressources sont à disposition du système électrique parmi lesquelles le stockage de l'électricité.
- A terme, des outils de flexibilité, comme le stockage, seront nécessaires à la fois sur de courtes et de longues durées.
- **Le Power-to-Gas est aujourd'hui une solution qui permet de stocker d'importants surplus d'électricité sur de longues durées.**

Une filière au carrefour de plusieurs métiers (électricité, gaz, transports, industrie ...)

- Un **nouveau pilier du développement des énergies renouvelables** mais aussi des réseaux énergétiques intelligents.
- Un **catalyseur de la mobilité durable** et réciproquement.
- Un **maillon d'une filière hydrogène en plein essor.**

Plusieurs technologies sont en jeu et même parfois en concurrence

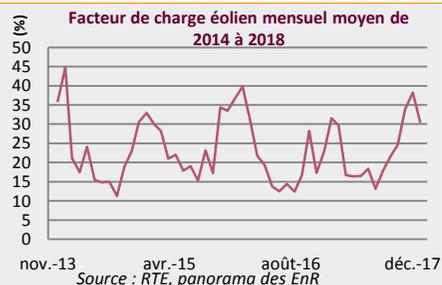
- **Trois technologies** sont aujourd'hui disponibles pour **réaliser l'électrolyse de l'eau** au cœur du procédé. Deux d'entre elles, l'électrolyse alcaline et l'électrolyse PEM, sont actuellement mises au service de projets européens afin de tester leur efficacité et leur rentabilité.
- **La seconde étape du procédé, facultative**, qui consiste à transformer l'hydrogène en méthane de synthèse peut être réalisée par **deux technologies** : la méthanation catalytique et la méthanation biologique.
- Le **CO₂ nécessaire** pour la réaction de méthanation peut provenir de **sites de méthanisation ou de fumées industrielles.**

1 Éléments de contexte et enjeux du Power-to-Gas

La transformation du système énergétique génère de nouveaux défis

Le système électrique a besoin de flexibilité

La gestion de l'intermittence de la production d'énergies renouvelables...



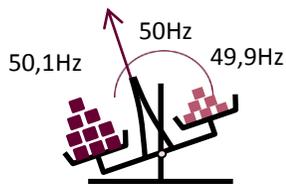
A

... accompagnée de l'évolution des usages et de la variabilité de la demande ...



600 stations et 800 000 véhicules sont attendus en France en 2030*

... génèrent de l'instabilité sur les réseaux d'électricité et la saturation de lignes électriques



Production Consommation

La transformation du système énergétique

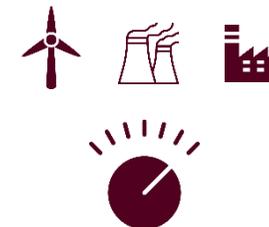
Plusieurs ressources sont à sa disposition

Des solutions de stockage pour différer la production aux périodes de forte demande

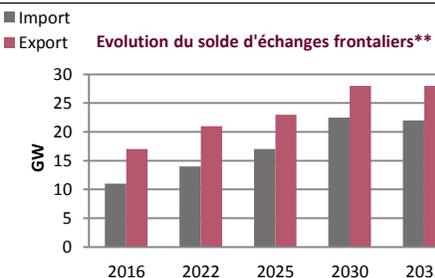


B

La Maîtrise de la Demande de l'Énergie (MDE) avec un pilotage intelligent et décentralisé pour gérer le système de manière réactive



Des investissements dans les réseaux et interconnexions (imports / exports)



L'intégration massive des énergies renouvelables et l'évolution des usages contraignent la gestion des réseaux d'électricité et génèrent un besoin grandissant en solutions de stockage de courtes et de longues durées.

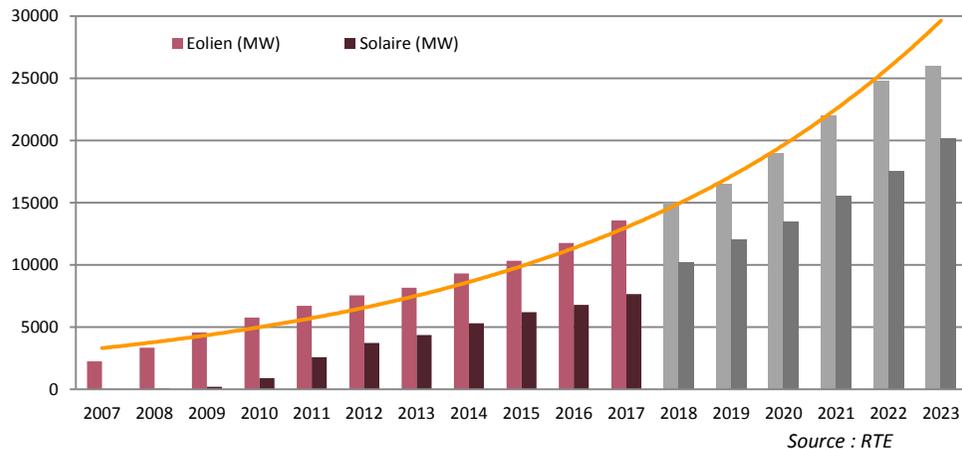
* Selon une étude « mobilité hydrogène France » de l'AFHYPAC, 2016

**Source : Bilan prévisionnel de l'équilibre offre-demande de l'électricité en France, RTE, 2017

1 Éléments de contexte et enjeux du Power-to-Gas

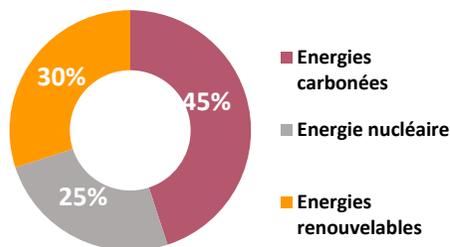
A Les challenges générés par la transformation du système énergétique européen

La part d'énergies renouvelables dans la consommation énergétique connaît une croissance exponentielle depuis plus de 10 ans en France

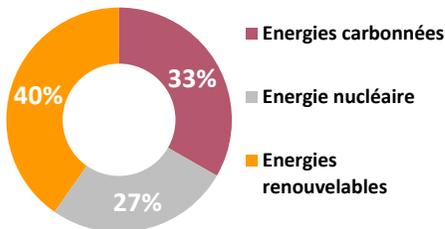


Des dispositifs de soutien ont permis une percée de la part de l'éolien et du solaire dans les mix électriques européens

Mix électrique européen 2017



Mix électrique européen « Energy roadmap 2050 »



Des conséquences sur la gestion du système électrique

Des déséquilibres de plus en plus fréquents entre l'offre et la demande

Une multiplication et une décentralisation des centres de production électrique

De grandes quantités de surplus de production sur des périodes pouvant atteindre plusieurs jours

De l'instabilité et de la saturation des réseaux électriques qui se doivent d'être plus flexibles

L'apparition de prix négatifs de l'électricité

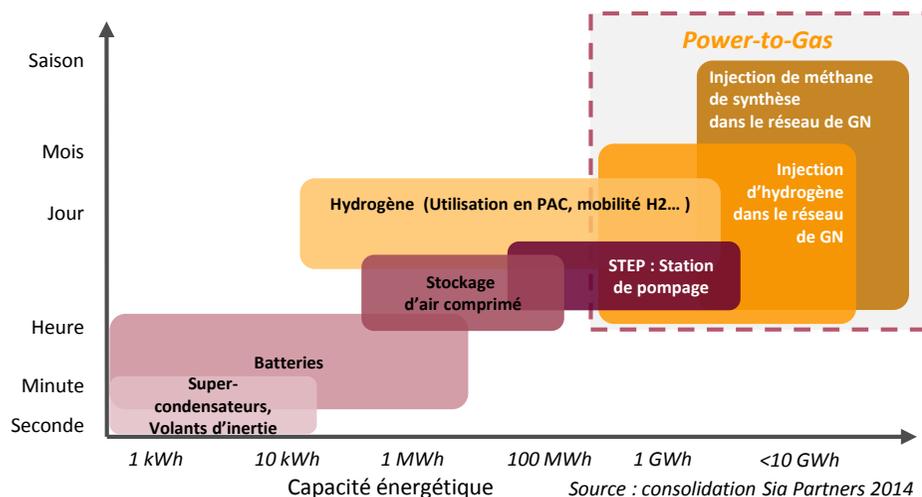
Une plus grande imprévisibilité de la production et de la consommation d'électricité

L'évolution du mix électrique implique une modification de la structure, de la planification et de l'exploitation du système électrique accompagné d'un développement de nouveaux outils de flexibilité.

1 Éléments de contexte et enjeux du Power-to-Gas

B Le Power-to-Gas est une solution à part entière pour relever les défis de la transition énergétique

Le stockage de l'électricité pour différer la production aux périodes de forte demande



La complémentarité des outils de flexibilité

Dans chaque pays, la répartition des outils de flexibilité sera différente en fonction :

- du mix énergétique,
- de la situation géographique,
- de la robustesse du système électrique.

Il sera néanmoins nécessaire de combiner les différentes solutions à disposition pour assurer la sécurité, l'équilibre et la stabilité du système :

- Le renforcement des réseaux électriques,
- Le développement des solutions de stockage,
- La maîtrise de l'énergie et des systèmes intelligents (smart energy).

Des avantages de la solution Power-to-Gas

Un moyen de verdir le contenu des réseaux de gaz et des usages

Une capacité de stockage considérable dans une infrastructure existante, en partie amortie et couvrant l'ensemble du territoire

Permet de profiter des avantages du réseau gaz (coût et rendement du transport etc.)

Seule solution de stockage de longue durée

Une solution pour réduire la dépendance énergétique en produisant du gaz localement

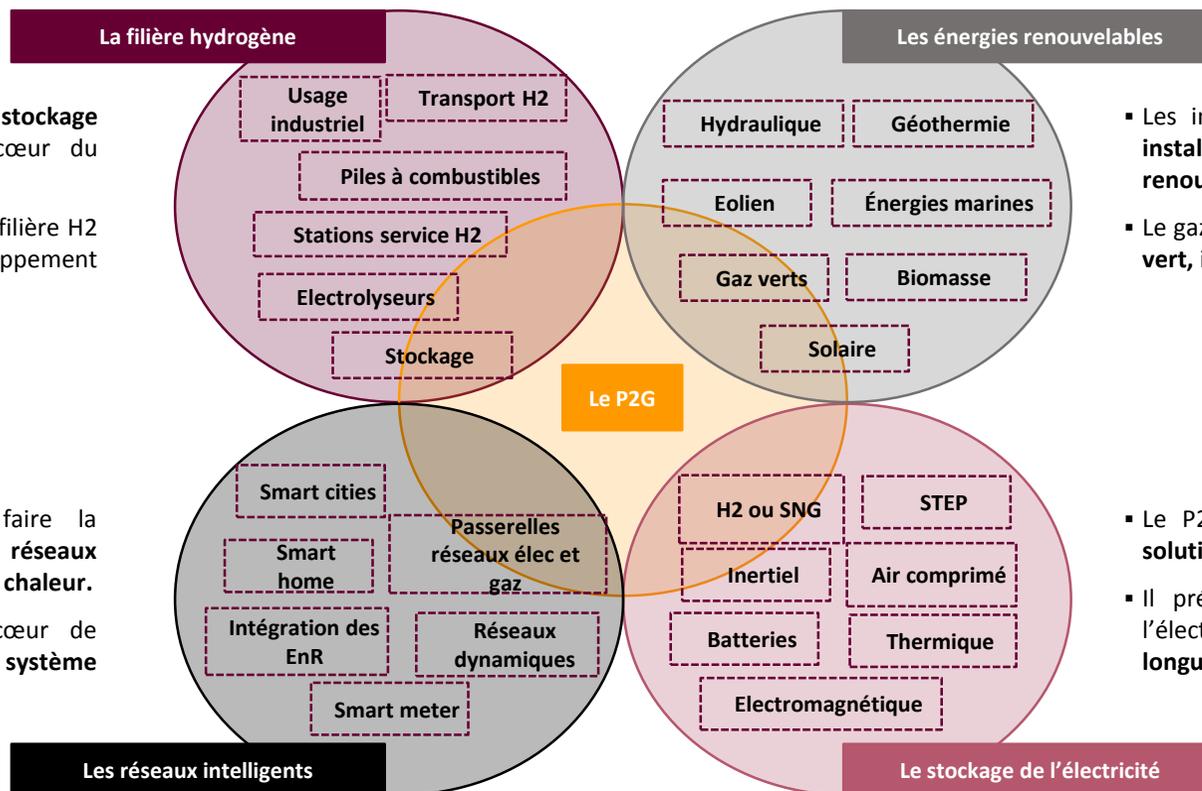
En complément des autres solutions de flexibilité, le Power-to-Gas apporte une solution de stockage pour la gestion des surplus de production d'électricité de grandes quantités et pour de longues périodes.

1 Éléments de contexte et enjeux du Power-to-Gas

Le Power-to-Gas est une solution à la croisée des chemins de différentes filières en pleine évolution

- La **production** et le **stockage** d'hydrogène sont au cœur du procédé P2G.
- Le développement de la filière H2 impacte donc le développement du P2G.

- Le P2G permet de faire la **passerelle** entre **réseaux électriques, gaziers et de chaleur**.
- Il se situe ainsi au cœur de l'évolution vers un **système énergétique intelligent**.



- Les installations P2G peuvent intégrer une **installation de production électrique renouvelable**.

- Le gaz produit est aussi considéré comme **gaz vert**, il est neutre en carbone.

- Le P2G est **en concurrence** avec **d'autres solutions de stockage** de l'électricité.

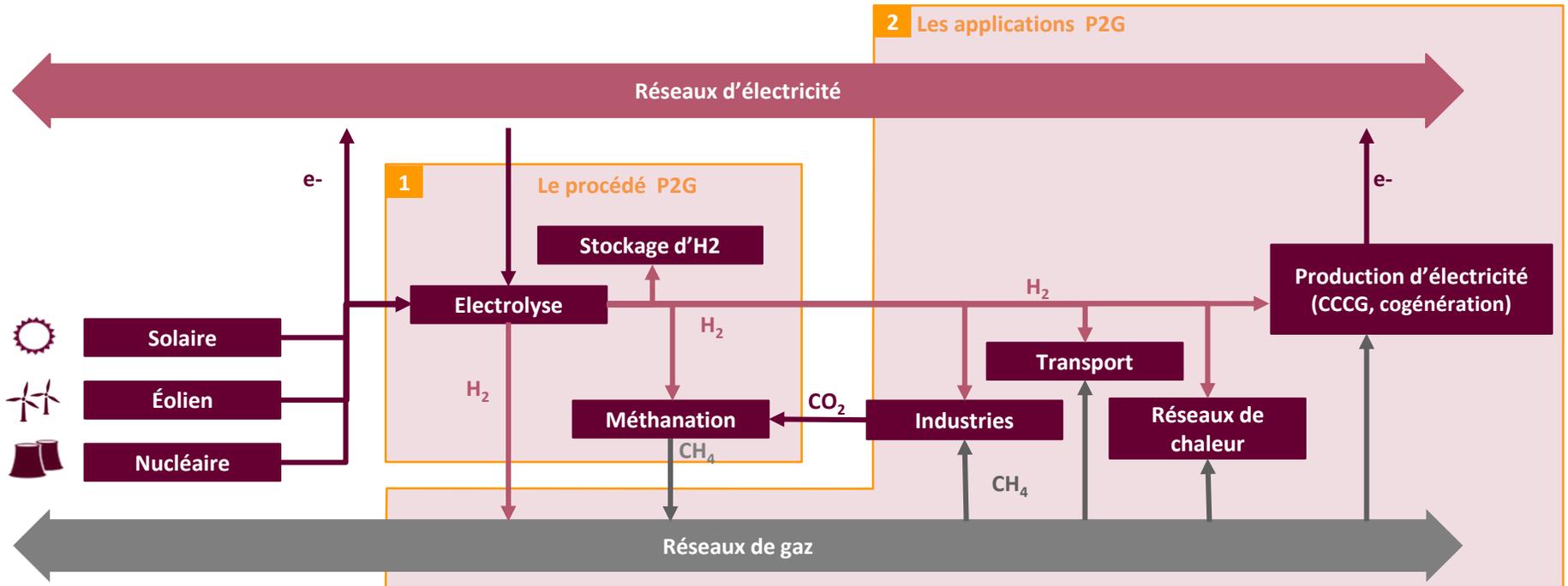
- Il présente l'avantage de pouvoir stocker l'électricité en **grande quantité** et sur de **longues durées**.

Source : Sia Partners

Toutes ces filières connaissent aujourd'hui une forte dynamique de croissance (projets de R&D, démonstrateurs) et vont largement contribuer à l'émergence du Power-to-Gas.

1 Éléments de contexte et enjeux du Power-to-Gas

Synoptique du Power-to-Gas : de la production de l'électricité aux usages du gaz



1 Le procédé : le Power-to-Gas consiste à **produire de l'hydrogène par électrolyse** en utilisant de l'électricité souvent d'origine renouvelable. L'objectif est de produire en période de faible demande et de surplus de production pour profiter d'un prix faible de l'électricité et rendre service au réseau électrique en réduisant le déséquilibre offre/demande.

2 Les applications : l'hydrogène ainsi produit peut être **injecté dans les réseaux de distribution et de transport de gaz** soit directement, en quantités restreintes (en dessous de 6% en France aujourd'hui bien que des recherches soient en cours pour injecter jusqu'à 20%) soit après méthanation. Le méthane de synthèse est alors obtenu par la combinaison d'hydrogène et de dioxyde de carbone et peut être injecté, sans limite de quantité, dans le réseau. L'hydrogène peut en outre être **utilisé directement dans l'industrie** ou comme **carburant pour de la mobilité verte**. Enfin, si la production d'électricité n'est plus suffisante, le gaz peut être **reconverti en électricité, injectée par la suite dans les réseaux**.

1 Éléments de contexte et enjeux du Power-to-Gas

Les 3 principales technologies d'électrolyse

	Alcaline (KOH)	PEM : Proton Exchange Membrane (Polymère)	SOE : Solid Oxide Electrolyse (Haute température)
Description	Il s'agit de la technologie d'électrolyse la plus utilisée aujourd'hui : plus de 90% de la capacité de production des électrolyseurs installés. L'électrolyte utilisé est liquide et la pression de sortie est relativement faible, proche de celle de la pression atmosphérique.	Ces électrolyseurs utilisent des membranes solides conductrices de protons. La conductivité protonique élevée de la membrane permet de fonctionner à des courants plus élevés que la technologie alcaline .	Technologie qui permet de produire de l'hydrogène à des températures entre 700 et 1 000°C.
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Maturité ▪ Faibles coûts (catalyseurs à base de nickel) ▪ Durée de vie : 90 000 h (pour grosses installations fonctionnant en continu sinon 60 000h) ▪ Grande capacité disponible 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Flexibilité (temps de réponse faible au démarrage) ▪ Débit de production important ▪ Modularité et compacité. ▪ Pureté H2 ~ 100% (bonne séparation des gaz) ▪ Possibilité de fonctionner sous pression (>50 bars). ▪ Rendement : aujourd'hui de l'ordre de 70% et devrait atteindre 90% en 2020. ▪ Limitation des problèmes de corrosion (électrolyte solide) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rendement élevé (proche de 100% si l'on ne prend pas en compte l'énergie de chauffe) ▪ Gaz de haute pureté ▪ Technologie qui peut être couplée à un procédé de méthanation pour produire du méthane synthétique et optimiser le rendement global. Le projet européen HELMET étudie cette technologie et laisse entrevoir un espoir d'atteindre un rendement de 80% à l'échelle industrielle.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Peu de flexibilité, requise pour le stockage d'énergies intermittentes (taux de réponse long + difficultés à démarrer à froid rapidement) ▪ Gaz produits contiennent des impuretés (traces de KOH), il faut donc les traiter (coûts supplémentaires) ▪ Pression de sortie faible or l'hydrogène doit être comprimé pour être stocké (coûts supplémentaires) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Durée de vie incertaine : inférieure à 40 000 h (C'est-à-dire 5 ans si fonctionnement h24) mais qui devrait atteindre 60 000 h en 2020. ▪ Membrane polymère et électrodes poreuses onéreuses. Les coûts d'investissement sont plus importants que la technologie alcaline 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Faible maturité ▪ Temps de réponse assez important dû aux températures élevées (utile dans le cas de production d'électricité décentralisée) ▪ Important apport de chaleur nécessaire ▪ Dégradation des performances plus rapide ▪ Durée de vie limitée des céramiques
Exemples d'acteurs			
Maturité	Commerciale	Pré-commerciale ⁽¹⁾	R&D / prototype

Décomposition de l'eau en hydrogène et dioxygène par application d'un courant électrique : $2 \text{H}_2\text{O} + \text{électricité} = 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$

1 Éléments de contexte et enjeux du Power-to-Gas

Les 2 principales technologies de méthanation

	Méthanation chimique	Méthanation biologique	Captage de CO2
Description	<ul style="list-style-type: none"> Technologie mature et déjà disponible sur le marché, elle est largement utilisée dans l'industrie. Son champ d'intérêt s'élargit notamment avec le développement des énergies éolienne et solaire qui nécessite de pouvoir stocker l'électricité produite en surplus Elle utilise généralement du Nickel comme catalyseur (moins onéreux que d'autres métaux précieux). Une limite actuelle de la méthanation du CO2 est le vieillissement des catalyseurs, principalement du à l'absorption d'eau au cours du procédé. L'utilisation d'un « plasma catalytique » est en cours de développement et permettrait d'atteindre une sélectivité de proche de 100%. 	<ul style="list-style-type: none"> Alternative à la méthanation chimique, cette réaction permet de convertir l'hydrogène et le CO2 en méthane à partir de bactéries et archaea (micro-organismes) à faible température (entre 20 et 60 °C). Le temps de réponse est meilleur que celui de la méthanation chimique. Challenges : développer d'autres systèmes à l'échelle du MW. Seul un projet a été lancé à l'échelle commerciale d'une puissance d'1 MW (projet Biocat au Danemark). D'autres projets sont en cours d'étude comme celui lancé par le laboratoire de recherche de l'INSA Toulouse. 	<p>Il est nécessaire de disposer de CO2 pour alimenter la réaction de méthanation.</p> <ul style="list-style-type: none"> Ce CO2 peut être capté sur un site émetteur de fumée et ainsi recyclé pour produire le méthane de synthèse. Généralement, le captage est réalisé par absorption chimique. Plusieurs absorbants peuvent être utilisés tels que les amines ou le méthanol. Les sources de CO2 : <ul style="list-style-type: none"> CO2 issu de fumées industrielles (industries chimiques, chaudières, centrale à charbon). CO2 issu d'un site de méthanisation.
Avantages	Les rendements énergétiques sont de l'ordre de 70 à 85%, le reste étant perdu sous forme de chaleur (celle-ci peut cependant être valorisée).	Temps de réponse faible, haut rendement, ne nécessite pas de métaux précieux, moins onéreuse que la méthanation chimique.	Valorisation du CO2 pour une application énergétique.
Inconvénients	Le procédé est maîtrisé mais le retour d'expérience pour une application Power-to-Gas est encore limité.	Il est nécessaire de maintenir la température entre 20 et 60 °C en permanence (environ 5% de l'énergie totale nécessaire).	Les installations de méthanation devront être localisées à proximité d'une source de CO2.
Exemples d'acteurs			
Maturité	Commerciale	Pré commerciale - Commerciale	R&D

Conversion catalytique de l'hydrogène et du dioxyde de carbone en méthane de synthèse :





Cartographie des acteurs de la filière PtG

2 Cartographie des acteurs de la filière Power-to-Gas

La filière P2G est apparue dans les années 2014-2015 et connaît depuis, un véritable engouement sous l'impulsion notamment des énergéticiens

- Les énergéticiens sont aujourd'hui de réels moteurs pour développer le marché du Power-to-Gas.
- De nombreuses PME se créent et se spécialisent sur les technologies P2G (électrolyse, méthanation, stockage d'hydrogène).
- Les industriels sont prêts et dans l'attente d'un cadre national, économique et juridique, plus favorable.

La multiplication des projets et l'engouement des industriels ont éveillé l'intérêt de la sphère politique et des acteurs publics

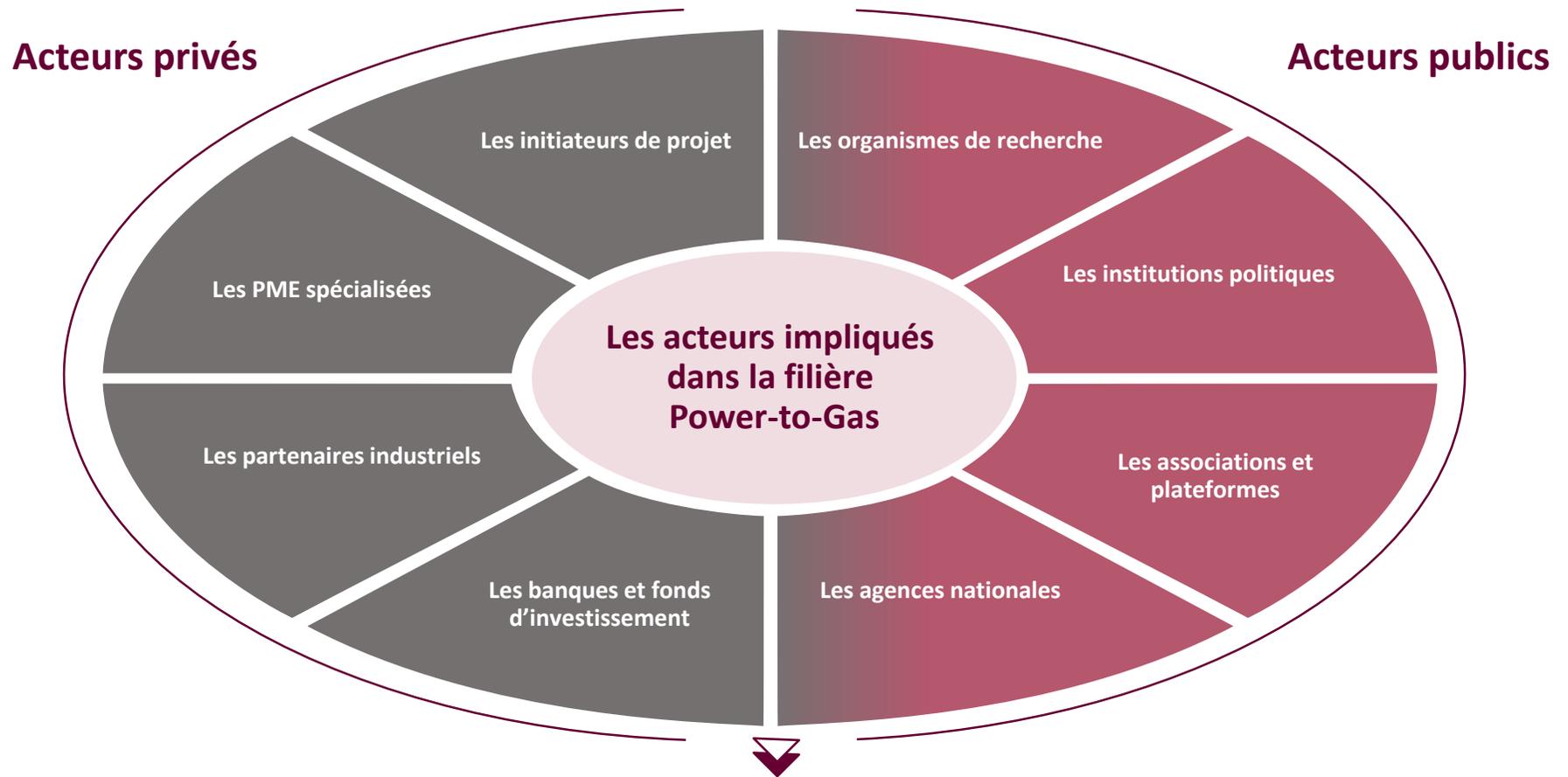
- Les décisions et orientations stratégiques qui seront prises par les politiques, les agences nationales et européennes vont avoir un impact décisif sur l'avenir de la filière Power-to-Gas.
- **Des PME et entreprises françaises sont bien positionnées sur le secteur et investissent notamment sur des projets européens.**

Le succès du P2G en France et en Europe dépendra de la capacité des parties prenantes (publiques et privées) à mutualiser leurs moyens et expertises pour faire face à la concurrence d'autres régions du monde

- Des initiatives sont déjà en cours (plateformes P2G dans certaines régions en Europe, lancement de nombreux appels à projets...).
- **En France, de réels atouts en matière de recherche & développement existent et de nombreuses entreprises sont fortement impliquées dans la filière hydrogène et sur des projets de Power-to-Gas (Air Liquide, McPhy Energy, Areva, Engie, TOTAL...).**

2 Cartographie des acteurs de la filière Power-to-Gas

Un mix d'acteurs publics et privés



La filière Power-to-Gas fait intervenir une palette d'acteurs variée aux expertises complémentaires pour le développement du P2G, financer la R&D, valoriser les services rendus et le gaz produit ou pour faire évoluer le cadre législatif et économique.

2 Cartographie des acteurs de la filière Power-to-Gas

Les acteurs privés : initiateurs de projets, spécialistes et les partenaires industriels



Les initiateurs de projet

Description

Principalement des énergéticiens ou filiales de grands groupes.

Rôle

Initier et piloter des projets P2G.

Activités

- Pilotage de projet.
- Recherche industrielle.
- Expertise interne concernant :
 - les activités de production d'électricité d'origine renouvelable.
 - les problématiques liées aux réseaux de gaz et d'électricité (injection, transport...).

Les spécialistes du P2G

Description

Les spécialistes P2G sont principalement des PME et dans certains cas des filiales de groupes énergétiques. Certaines PME se sont créées autour de technologies innovantes développées dans des laboratoires et instituts de recherche.

Rôle

Fournir les équipements et apporter une expertise et des moyens complémentaires.

Activités

- Conception, production et commercialisation de solutions de production ou de stockage d'hydrogène et de méthane de synthèse.
- Connaissance des différentes technologies (électrolyse, méthanation, PAC...).

Les partenaires industriels

Description

Industriels intéressés par le stockage de l'électricité ou par les applications du P2G (EnR, électricité, gaz, transports, industrie).

Rôle

Apporter une expertise et des moyens complémentaires.

Activités

- Connaissances sur la production d'électricité (solaire, éolien, ...).
- Connaissances sur les applications du Power-to-Gas (transport, injection réseau, utilisation industrielle du gaz).
- Experts sur le raccordement, l'injection et la gestion des réseaux⁽¹⁾
- Connaissances sur l'hydrogène et les biocarburants.
- Experts sur l'évaluation des risques et de la sécurité.

2 Cartographie des acteurs de la filière Power-to-Gas

Focus sur les spécialistes du Power-to-Gas

Spécialistes P2G	Pays	Méthanation	Electrolyse	Stockage	Commentaires
 ETOGAS smart energy conversion		✓	✓		ETOGAS développe, fabrique et vend des systèmes de production de méthane et d'hydrogène à partir d'électricité (électrolyse alcaline). L'entreprise propose des installations P2G « clé-en-main ».
		✓	✓		Sunfire développe des électrolyseurs à haute température, (pour des applications de l'ordre du MW) et réversibles et une technologie de méthanation. En 2017, le Groupe a livré le module d'électrolyse à vapeur le plus efficace sur le marché (rendement de 80%).
 VISSMANN (microenergy)		✓			Microenergy GmbH, filiale de Viessmann développe une technologie de méthanation biologique. Le projet à Allendorf, a permis d'injecter du biogaz dans le réseau produit à partir de méthanation biologique. (2015)
			✓		Siemens a développé un électrolyseur PEM de forte puissance : le Silyzer 200. Cette technologie a l'avantage de supporter les variations de charges régulières et a un temps de réponse relativement faible.
			✓	✓	Unique fabricant français d'électrolyseurs, AREVA H2Gen fournit des solutions performantes pour le stockage d'énergie, utilisant la technologie des électrolyseurs PEM et pour différentes applications (mobilité hydrogène, stockage, alimentation de sites isolés).
 ATMOSTAT ALCEN		✓			Atmostat, en association avec le CEA, a développé le réacteur de méthanation METHAMOD, élément clé du système de méthanation de JUPITER 1000. Sa conception lui confère des qualités remarquables comme sa compacité (1/10 des réacteurs standards), son efficacité et sa longévité.
			✓	✓	McPhy possède la gamme d'électrolyseurs alcalins la plus étendue du marché : de 0,4 à 400 Mm3/h, pour des pressions de 1 à 30 bar, pour des applications légères jusqu'aux conceptions multi MW pour le Power-to-Gas.
		✓		✓	Hydrogen Valley initie et met en œuvre des projets pour identifier comment l'hydrogène et le biogaz peuvent promouvoir la transformation verte du système énergétique à partir d'EnR.
 Electrochaea Renewable Natural Gas		✓			Electrochaea développe une technologie de méthanation biologique. Elle est à l'origine du projet BioCat, démonstrateur d'1MW, qui permet d'injecter du méthane dans le réseau jusqu'à 4 bar.
 HYDROGENICS SHIFT POWER ENERGIZE YOUR WORLD			✓		Hydrogenics conçoit, construit et installe des électrolyseurs d'hydrogène de qualités industrielles et commerciales. Elle fait partie d'un consortium qui développe HyBalance, projet de PtG au Danemark de 1,2 MW.
 Bright Green Hydrogen				✓	Bright Green Hydrogen travaille sur comment stocker sous forme d'hydrogène l'excès d'EnR, notamment à travers le projet Levenmouth Community Energy.
 ITM POWER Energy Storage Clean Fuel			✓	✓	ITM Power développe des électrolyseurs PEM et propose des solutions « clés en main » pour la mobilité et le stockage. En 2017, elle a fourni la 1 ^{ère} station de ravitaillement en hydrogène du Royaume-Uni.

2 Cartographie des acteurs de la filière Power-to-Gas

Les acteurs publics : associations, organismes de recherche, agences publiques et institutions politiques



Les organismes de recherche

Rôle

Participer au développement des technologies P2G.

Activités

- Organisation d'ateliers autour du P2G.
- Définition des priorités de R&D.
- Contribution au développement de la stratégie nationale de recherche.
- Expertise technique et théorique sur les technologies.
- Labélisation de projets pour obtenir des financements et de la visibilité (pôles de compétitivité).

Les institutions politiques

Rôle

Définir les grands axes stratégiques de développement et faire des choix en matière de soutien de nouvelles filières industrielles.

Activités

- Définition d'un cadre stratégique et réglementaire pour soutenir le développement de la filière.
- Mise en place de dispositifs incitatifs.
- Financement de projets (FCH-JU, Investissements d'avenir, crédits d'impôts).

Les associations et plateformes

Rôle

Contribuer à créer des synergies et échanges au sein de la filière P2G.

Activités

- ATEE : association technique énergie et environnement.
- AFHYAC : association française pour l'hydrogène et piles à combustible.
- Plateformes P2G (méditerranée, mer du nord, Allemagne).
- Promotion des technologies H2 et PAC.
- Animation de la filière industrielle.
- Représentation auprès des pouvoirs publics.
- Communication aux médias, grand public, enseignement.
- Propositions d'évolutions réglementaires.
- Soutien technique et accompagnement des projets.
- Organisation de débats sur le stockage, l'hydrogène et le P2G.
- Réalisation d'études.

Les agences nationales

Rôle

Apporter une expertise, du conseil et des financements aux porteurs de projets.

Activités

- Participation à la mise en œuvre des politiques publiques.
- Aide au financement de projet et de la recherche.
- Lancement d'appels d'offres, et définition de la stratégie nationale en matière de recherche et de soutien financier.
- Définition de feuilles de route sur le stockage, l'hydrogène et le Power-to-Gas.



Cartographie des projets PtG européens

3 Les projets Power-to-Gas en Europe

Une soixantaine de projets pilotes en Europe pour trouver les leviers de la rentabilité du P2G

- La croissance des PME, poussée par le nombre croissant de projets pilotes en cours, illustre l'intérêt grandissant pour le sujet et l'augmentation des investissements associés.
- De nombreux projets pilotes sont arrivés en fin de contrat. Leur REX ont permis de construire des modèles d'affaire optimaux pour les projets pilotes suivants et d'orienter les activités de R&D.
- Début 2018, **FCH-JU** a lancé **un programme H2020**, d'un budget de 73,2 M€, comportant une vingtaine de projets en appels d'offres **pour amener les technologies de l'hydrogène à une phase de commercialisation avant 2020**. Ces projets « Hydrogène » vont **permettre de faciliter l'insertion de la technologie Power-to-Gas dans le paysage européen**.

La France, au vue du nombre de projets déployés sur son territoire, possède de réels atouts pour favoriser le développement de la filière

- L'Etat Français a lancé en 2016 un **appel à projet « Territoires hydrogènes » dont 29 ont été labélisés**. Ils visent à démontrer, à l'échelle d'un territoire, la faisabilité technico-économique et l'intérêt environnemental de l'hydrogène associé aux réseaux énergétiques et à des usages locaux. **Certains trouvent leur application dans la technologie du Power-to-Gas**.
- **Certaines régions françaises (notamment PACA, Bourgogne Franche Comté et Rhône-Alpes Auvergne) ont lancé de nombreuses initiatives en faveur du Power-to-Gas**.

Des projets de plus en plus nombreux et ambitieux

- Des projets de Power-to-Gaz de grandes envergures ont commencé ou sont prévus pour les prochaines années, à travers toute l'Europe. Aujourd'hui, **plus d'une dizaine de démonstrateurs dépassant le MW sont en service**.
- Le renouvellement des programmes de financement européens et nationaux pour la période 2014-2020 et la prise de conscience de l'importance du stockage favorisent les échanges autour du développement de la filière P2G pour les années à venir. **La France soutient son déploiement à travers le Plan Climat dressé en juillet 2017**.

3 Les projets Power-to-Gas en Europe

Des projets de plusieurs natures : études, projets de R&D et démonstrateurs

Il existe différents types d'installation Power-to-Gas en fonction de l'objectif visé : Power-to-Hydrogen, Power-to-Methan ou Power-to-Gas-to-Power. Les investissements, les rendements et les acteurs peuvent être très différents d'un projet à l'autre en fonction de la dimension du projet, des technologies concernées et des applications visées. Il est donc difficile de comparer tous les projets P2G entre eux.

Nous avons étudié une cinquantaine de projets de Power-to-Gas en opération ou en construction et 18 qui ne sont plus en fonctionnement aujourd'hui. Nous les avons classifiés par :

Méthodologie d'analyse

1 Pays, type et maturité du projet

					Pilote Construction d'installation grandeur réelle pour préparer l'industrialisation du P2G	programmé
Allemagne	France	Italie	Pays-Bas	Espagne		
					R&D Développement des technologies utilisées dans le P2G	En cours
Belgique	Danemark	Royaume-Uni	Hongrie	Autriche		
					Etudes Études technico-économique ou études de faisabilité du P2G	En opération

2 Source d'électricité renouvelable

	Solaire	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Certaines installations P2G sont installées à proximité de champs photovoltaïques et/ou de fermes éoliennes. ▪ D'autres projets incluent la construction de panneaux solaires et éoliennes dédiés au projet. ▪ D'autres projets n'incluent pas la production d'électricité et sont raccordés directement au réseau électrique.
	Eolien	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Le P2G peut aussi être utilisé à partir d'énergie nucléaire, ce qui peut permettre d'éviter de diminuer la puissance des centrales chaque nuit et ainsi de les utiliser en continu à pleine puissance.

3 Technologies

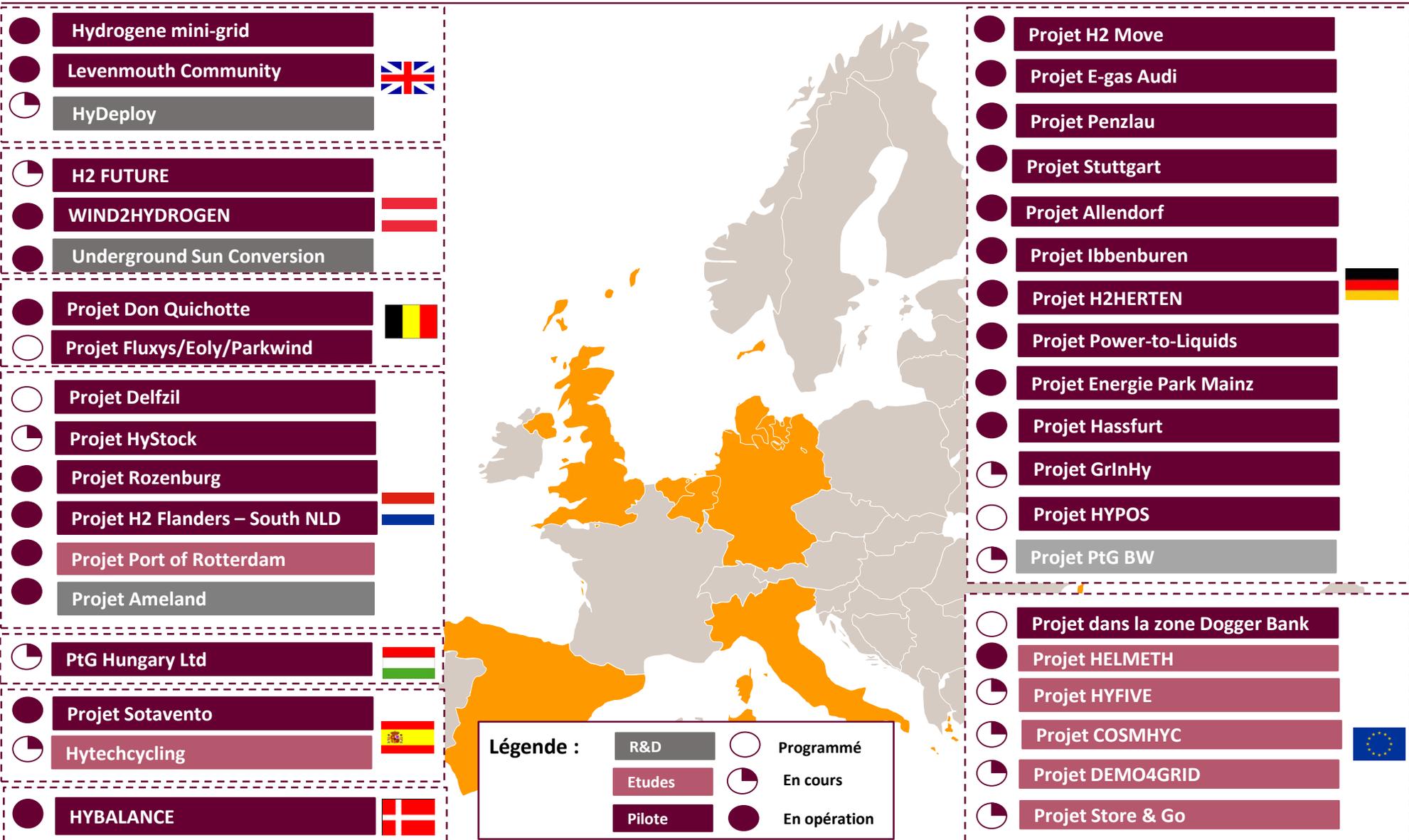
	Méthanation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Méthanation chimique ▪ Méthanation biologique 		Electrolyse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alcaline : Technologie mature, coût modéré, efficacité entre 60 et 85%, durée de vie intéressante ▪ PEM : Moins mature, coût plus élevé mais meilleurs rendements, meilleurs résistance aux variations de charge, pressions en sortie plus élevées et H2 en sortie plus pur ▪ Haute température : électrolyte solide. >700°C, contraintes d'installation et durée de vie moins bonne, mais gaz de haute pureté et rendement qui peut atteindre 100% 		Stockage	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sous forme gazeuse dans des réservoirs métalliques à haute pression. ▪ Sous forme solide via des hydrures.
--	--------------------	--	--	--------------------	--	--	-----------------	---

4 Applications

	Application transport	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alimenter des stations hydrogène pour véhicules équipés de PAC ▪ Alimenter des stations de rechargement de véhicules électriques ▪ Alimenter des stations de GNV 		Application industrielle	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Industrie chimique ▪ Industrie métallurgique ▪ Industrie agro-alimentaire ▪ ... 		Injection réseau	<p>Deux possibilités</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Injection d'hydrogène en quantité limitée (entre 0 et 20% selon les cas) ▪ Injection illimitée de méthane de synthèse 		Production d'électricité	<p>Utilisation stationnaire pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Les particuliers et logements collectifs ▪ Secours de l'alimentation de sites isolés ▪ Source d'appoint pour le réseau électrique en période de pointe
--	------------------------------	--	--	---------------------------------	--	--	-------------------------	---	--	---------------------------------	---

3 Les projets Power-to-Gas en Europe

Des projets de plusieurs natures : études, projets de R&D et démonstrateurs



3 Les projets Power-to-Gas en Europe



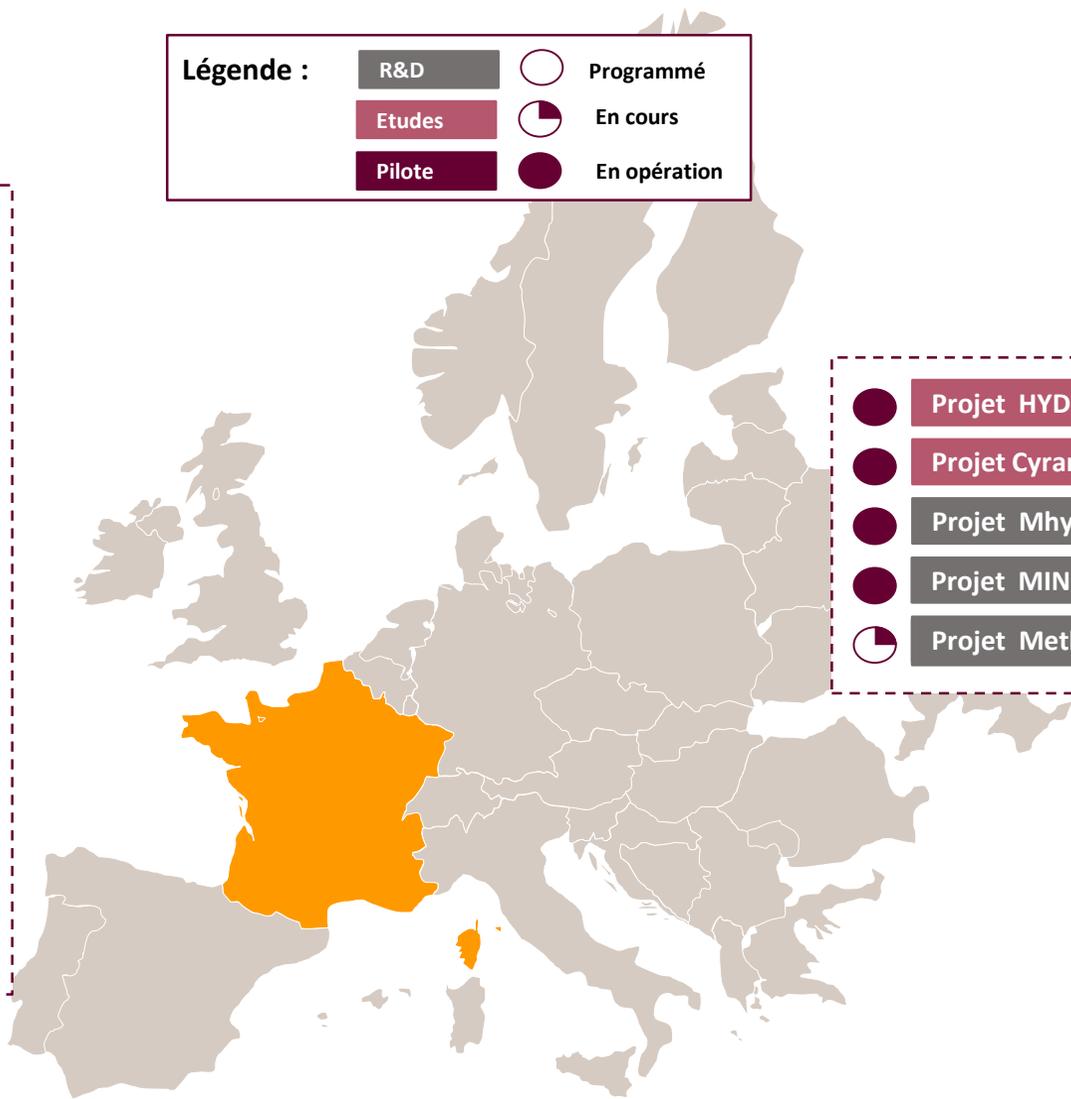
La France, un pays moteur pour la filière Power-to-Gas

Légende :

R&D	○	Programmé
Etudes	◐	En cours
Pilote	●	En opération

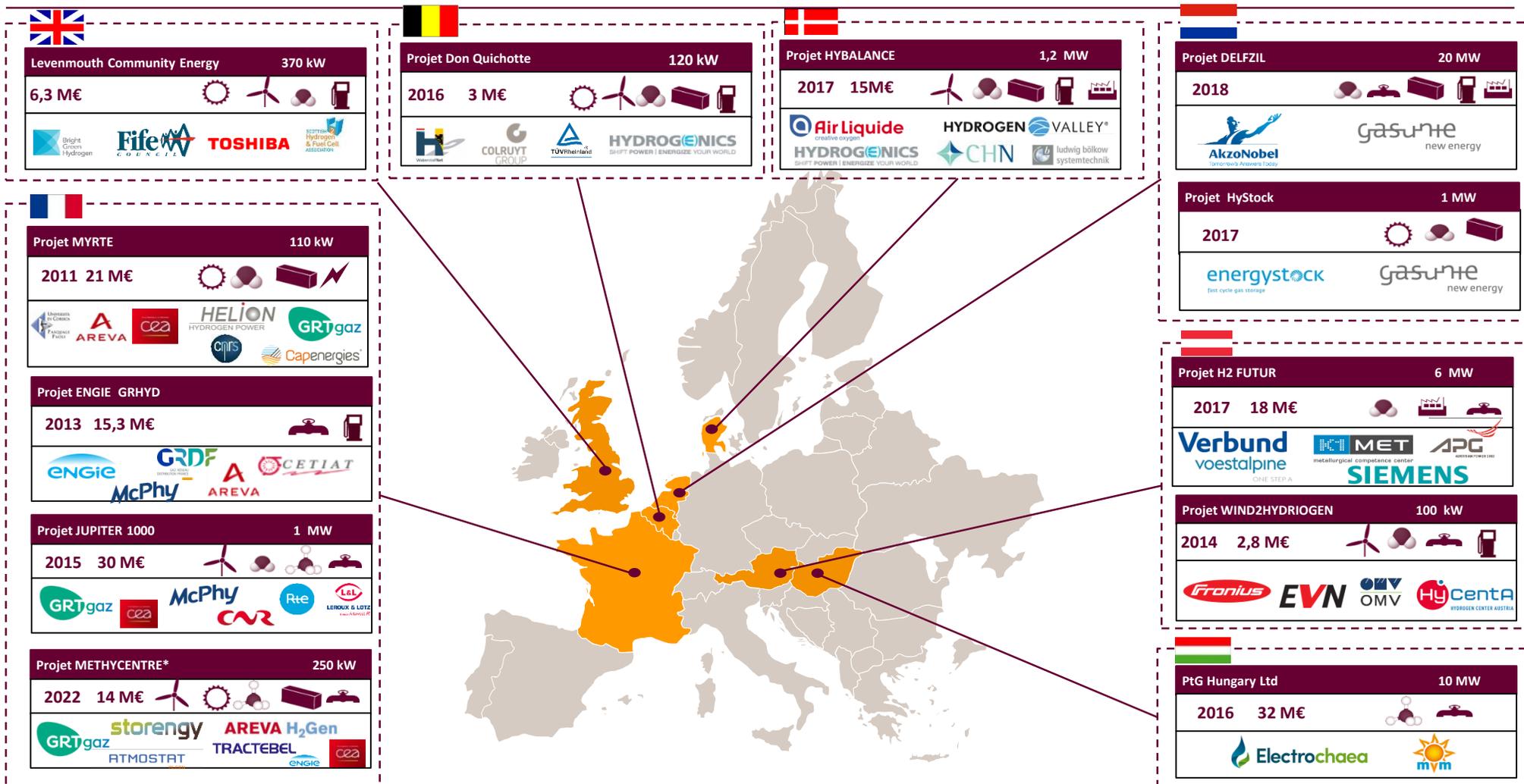
- **Projet GRHYD**
- ◐ **Projet Jupiter 1000**
- **Projet Plateforme MYRTE**
- **Projet METHYCENTRE**
- **Projet H2V Fos-sur-Mer**
- **Projet H2V Port-Jérôme**
- **Projet H2V Dunkerque**
- **Projet Eolbus**
- **Projet SMILE (Bretagne)**
- **Projet Metha2 Aumetz**
- **Projet Hyaunais**
- **Projet Centrale solaire de Chaillac**
- **Projet H2V Port-Jérôme**

- **Projet HYDROMEL**
- **Projet Cyrano-1**
- **Projet Mhyrabel**
- **Projet MINERVE**
- ◐ **Projet Methamod**



3 Les projets Power-to-Gas en Europe

Les projets pilotes (1/2)



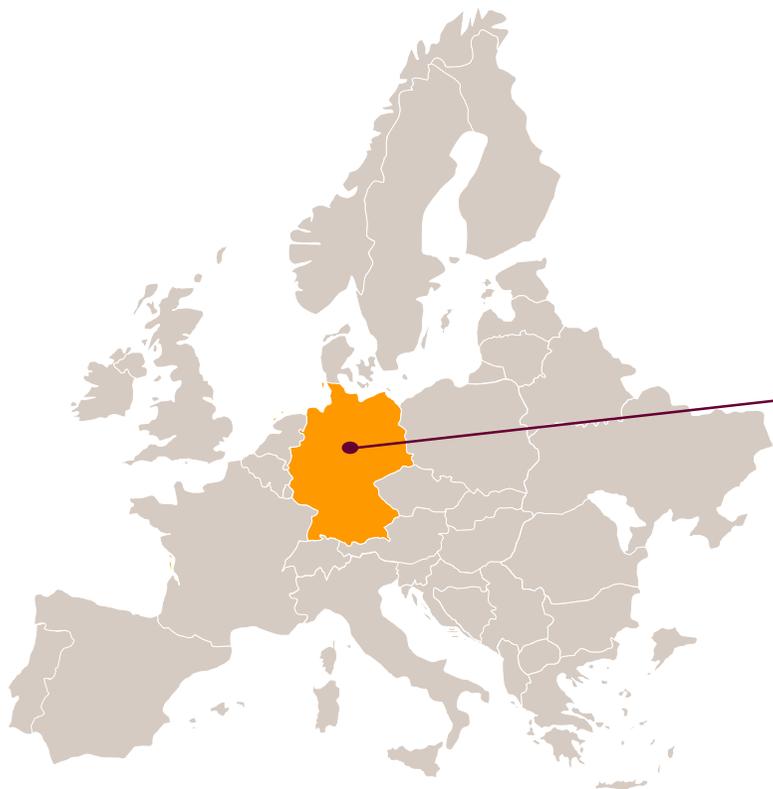
L'enjeu des projets pilotes est : de contribuer à l'amélioration du rendement du procédé, de tester l'injection d'hydrogène dans le réseau gazier et de construire des business models afin de permettre l'utilisation économique à l'échelle industrielle de la technologie P2G.

Nota 1 : la liste des partenaires des projets n'est pas toujours exhaustive

* une phase d'industrialisation est également prévue en 2027 avec une puissance supérieure à 1 MW

3 Les projets Power-to-Gas en Europe

Les projets pilotes (2/2)



Germany	
Projet Stuttgart 2012 320 kW	Projet Prenzlau 2012 - 21M€ 500 kW
Projet Allendorf * 2015 1,1 MW	Projet GrünHy 2018 150 kW
Projet Ibbenburen 2015 150 kW	Projet H2HERTEN 2013 280kW
Projet Audi « e-gas » 2013 20 à 30 M€ 6,3 MW	Projet Power-to-Liquids 2016 150 kW
Projet Energiepark Mainz 2017 ~17 M€ 6 MW	Projet Hassfurt 2016 1,25 MW

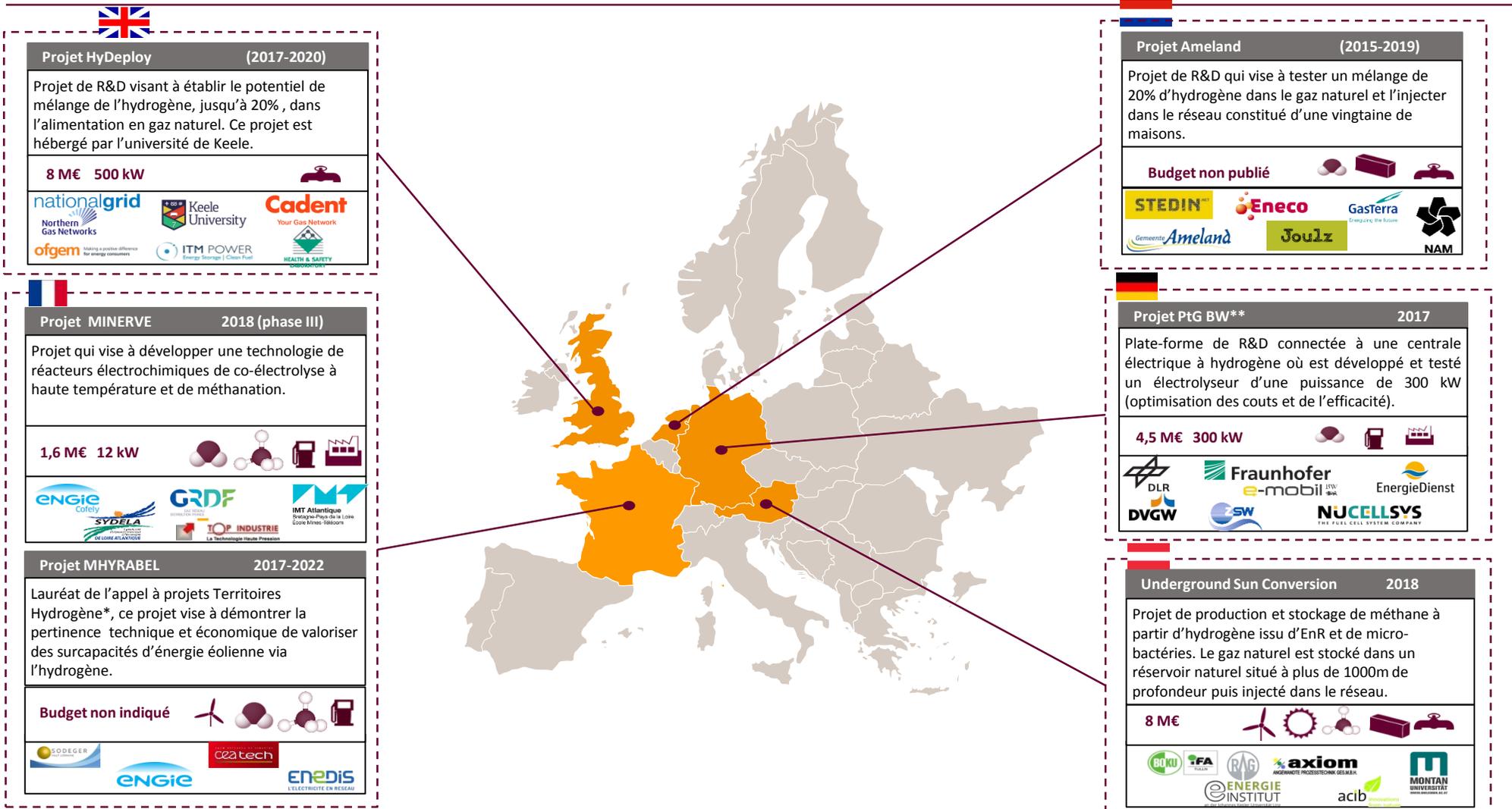
L'enjeu des projets pilotes est : de contribuer à l'amélioration du rendement du procédé, de tester l'injection d'hydrogène dans le réseau gazier et de construire des business models afin de permettre l'utilisation économique à l'échelle industrielle de la technologie P2G.

Nota 1 : la liste des partenaires des projets n'est pas toujours exhaustive

*L'usine a été construite suite aux résultats du projet «BioPower2Gas»

3 Les projets Power-to-Gas en Europe

Les projets de R&D



Les projets de R&D servent à mettre au point et optimiser les technologies utilisées dans le procédé Power-to-Gas : technologies de stockage, de méthanation ou d'électrolyse.

Nota : la liste des partenaires des projets n'est pas toujours exhaustive
 Energy Lab © Sia Partners Contacts : C. de Lorgeril, N. courtemanche, B. Guichard, L.Miller

* Engie a remporté 9 des 29 appels à projets retenus pour « Territoires Hydrogènes » en France

** Un projet pilote de 1 MW est prévu

3 Les projets Power-to-Gas en Europe

Les études Power-to-Gas

Projet Port of Rotterdam (2017)

Projet visant à étudier la faisabilité commerciale de construire une unité de production d'électricité qui puisse convertir de l'électricité renouvelable en hydrogène et l'utiliser dans le processus de production de la raffinerie de BP à Rotterdam.

Budget non communiqué

TNO, SMART PORT, uni per, bp, STEDIN, Port of Rotterdam

Projet HYFIVE (2014-2018)

Etude sur le déploiement commercial des véhicules à hydrogène issus de 5 constructeurs automobiles et des infrastructures de ravitaillement en carburant à travers l'Europe.

40 M€ (dont 18M€ du FCH-JU)

15 partenaires dont : BMW, AIR PRODUCTS, HONDA, HYUNDAI, OMV, THE LINDE GROUP, ITM POWER

Projet DEMO4GRIID (2017-2022)

Démonstration d'une électrolyse à réponse rapide et à grande échelle pour fournir des services d'équilibrage du réseau et approvisionner les marchés de l'hydrogène.

7,8 M€ (dont 3M par FCH-JU)

ihT, H₂, fen) systems, Inycom

Projet HELMETH (2014-2018)

Démonstration de la faisabilité technique d'une nouvelle génération d'électrolyseur haute température, couplé à un processus de méthanisation*

3,8 M€ (dont 2,5 M€ du FCH-JU)

sunfire, EthosEnergy, KIT, DVGW, E-ERIC, European Research Institute of Catalysis

Projet HYDROMEL (2006-2009)

Projet d'étude d'évaluation des risques pour le transport d'HYDROgène énergie pur ou en MELange avec le gaz naturel.

Aide de l'ANR : 1 M€

INERIS, ccea, Air Liquide, ENGIE

Projet COSMHYC (2017-2019)

Développement d'une technologie innovante de compresseurs d'hydrogène pour des applications décentralisées pour le ravitaillement en hydrogène ou le stockage.

2,5 M€ (totalité par FCH-JU)

MAHYTEC, H₂, H2 LOGIC, STEINBEIS-EUROPA-ZENTRUM

Hytechcycling (2016-2019)

Etude sur les stratégies de recyclage des piles à combustibles et de l'hydrogène (identification des matériaux critiques et cartographie des technologies de recyclage)

~200 k€

idea energy, ENVIRONMENT PARK, University of Jyväskylä

Projet STORE & GO

Exploitation des résultats de 3 démonstrateurs présents en Allemagne, en Italie et en Suisse, avec une analyse technico-économique des différentes techniques et applications proposées

27 partenaires dont : Electrochaea, DVGW, energy valley, ECN, regio energie, KIT, EPFL

Les études ont pour objectif principal d'étudier la faisabilité technique et/ou économique du Power-to-Gas et les risques qui peuvent être associés à l'injection d'hydrogène dans le réseau de gaz naturel. Des entreprises et instituts de recherche mutualisent leurs expertises pour réaliser les modèles et scénarios.

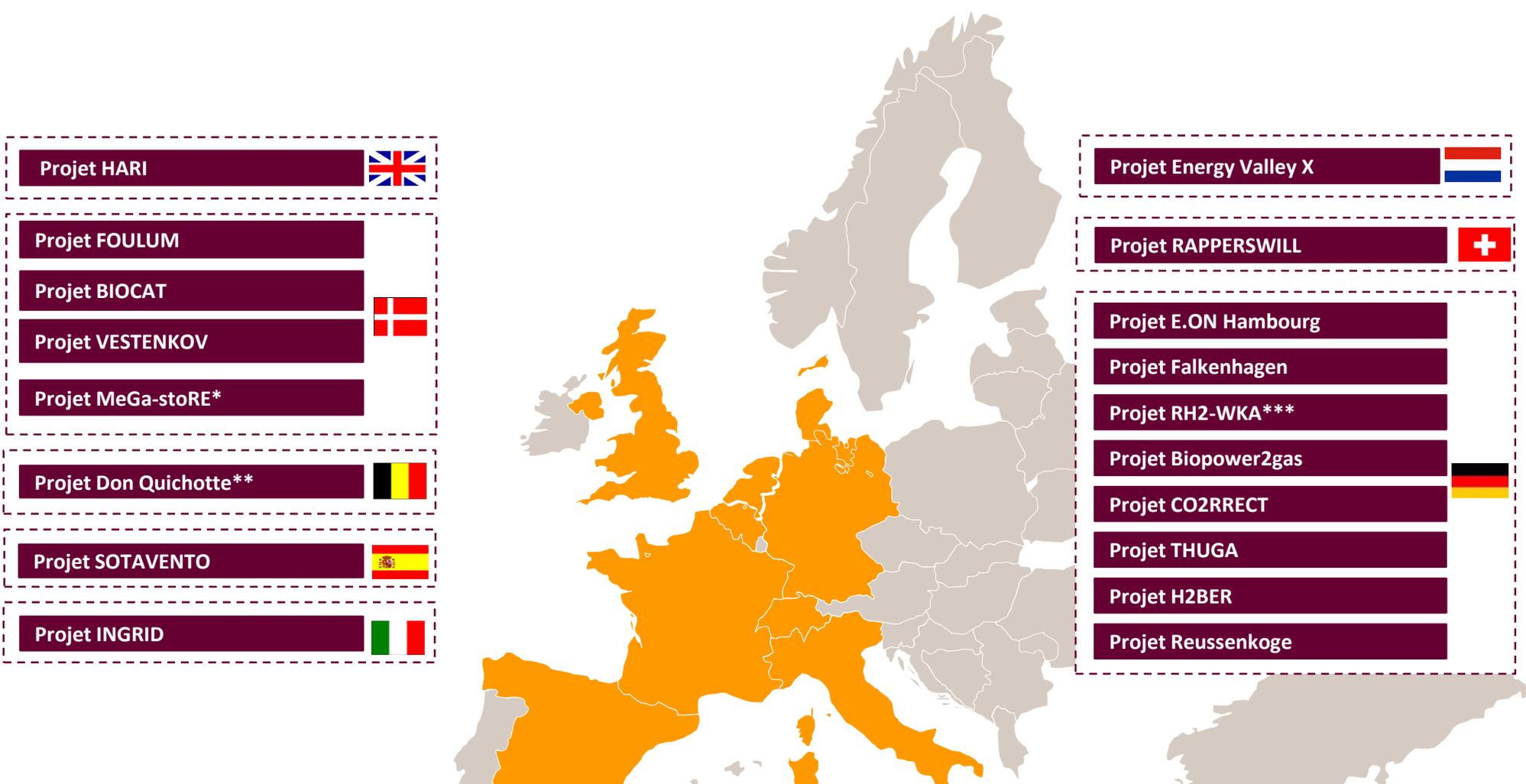
Nota 1 : la liste des partenaires n'est pas toujours exhaustive
Energy Lab © Sia Partners Contacts : C. de Lorgeril, N. courtemanche, B. Guichard, L.Miller

Nota 2 : La liste des projets retenus suite à l'appel du FCH-JU n'est pas exhaustive

*Ce procédé a une efficacité de plus de 75% contre 54% en moyenne
Source : Analyse Sia Partners 28

3 Les projets Power-to-Gas en Europe

Certains projets pilotes sont arrivés en fin de contrat



Une fois le projet fini, un rapport consignait l'ensemble des résultats, facteurs limitants et pistes d'amélioration est rédigé. Ces REX sont précieux pour favoriser le déploiement de la filière et orienter les futurs projets pilotes ou de R&D.

* Une suite au projet de R&D devrait voir le jour en 2018 ** Jusqu'en 2106, un électrolyseur alcalin de 150 kW a été testé; depuis il a été remplacé par un PEM *** Une suite au projet (RH2-PtG) est en phase d'étude



Synthèse, constats et tendances

4 Synthèse, constats et tendances

Contexte politique réglementaire : toutes les conditions ne sont pas encore réunies mais la dynamique est lancée

Aujourd'hui, il y a un fort engouement de la part des politiques, du monde scientifique et économique sur les sujets connexes (stockage, filière hydrogène, EnR) et de nombreuses réflexions sont en cours autour du Power-to-Gas

Quelques illustrations d'actualité

La programmation pluriannuelle de l'énergie

 Outil de pilotage de la politique énergétique (2015)

- Fixer des objectifs ambitieux pour les énergies renouvelables intermittentes : 23 % de la consommation finale brute d'énergie en 2020 et 32 % en 2030. En 2023, l'éolien terrestre aurait une capacité de 26 GW, l'éolien off-shore de 3 GW et 20 GW pour le solaire photovoltaïque.
- D'autres initiatives ont été prises comme simplifier les mesures administratives, soutenir le développement de l'investissement participatif et mettre en place un cadencement régulier des appels d'offres.

Plan Climat initié par Nicolas Hulot

 Accélérer la mise en œuvre des Accords de Paris (2017)

- S'engager dans la neutralité carbone :
- Atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050 en développant des écosystèmes capables d'absorber du carbone : le Power-to-Gas se présente alors comme une solution potentielle.
 - Mettre fin à la vente des voitures émettant des gaz à effet de serre d'ici 2040 (voiture à essence ou diesel). Cet objectif permettra d'encourager les constructeurs automobiles à innover, notamment en investissant dans les voitures à hydrogène.

Des projets favorisant le développement de l'hydrogène

 Usine de production d'H₂ mis en service fin 2020

- Une usine de production d'hydrogène « vert » de 450 M€ avec une capacité de 100 000 tonnes verrait le jour en 2020, sur la zone industrielle de Port-Jérôme (entre Rouen et Le Havre).

Club Power-to-Gas

 Créé au sein de l'ATEE en novembre 2017

- Suite au colloque stockage d'énergie, ce club a pour objet de réunir les acteurs de la filière et de faciliter l'émergence de projets.

Etude ADEME/ GRTgaz/Teréga (consortium Gas for Climate)

 Janvier 2018

Le power-to-Gas, une solution d'avenir pour atteindre un gaz d'origine 100% renouvelable ?

Etude de faisabilité technico-économique basée sur 4 scénarios énergétiques pour 2050 dont 3 correspondent à un mix 100% renouvelable.

- Trois grandes filières sont étudiées : la méthanisation, la pyrogazéification et le Power-to-Gas, qui pourrait répondre à la demande à hauteur de 30%.
- La production européenne de gaz renouvelable pourrait augmenter de 120 milliards de m³ par an d'ici 2050¹.

Étude prospective AFHYPAC

 Avril 2018

- L'étude met en avant la contribution majeure des technologies de l'hydrogène décarboné pour répondre aux objectifs fixés dans le cadre des Accords de Paris

Étude GRTgaz

 Non communiqué

- En se basant sur le scénario 2030-2050 de l'ADEME où 50 % de l'électricité devrait provenir de sources vertes, GRTgaz estime que le Power-to-Gas produira en 2050 entre 15 et 20 TWh de gaz renouvelable par an.



II

Malgré tout, le cadre réglementaire n'est pas encore construit et doit l'être rapidement pour espérer un développement de la filière.

III

En attendant, la filière se repose sur les réglementations des filières connexes (hydrogène industriel, énergies renouvelables).

Face à l'engouement des industriels et instituts de recherche français, de premiers signaux politiques en faveur du PtG apparaissent. La prise de conscience de l'importance de cette solution est grandissante à l'image des études publiées et projets déployés. Une réglementation spécifique reste toutefois à construire pour donner un véritable statut au gaz de synthèse et affirmer la place du PtG dans la Transition Énergétique.

¹Ce qui permettrait d'économiser 140 Mds €/an et éviter 63 Mt CO₂/an

4 Synthèse, constats et tendances

Pistes pour l'avenir de la filière

De nombreux efforts sont encore nécessaires pour transformer en succès la volonté des acteurs de la filière et l'expérience acquise ces dernières années sur les projets Power-to-Gas. D'importants progrès technologiques sont attendus et devront être accompagnés d'une évolution favorable de la réglementation, d'une stratégie de développement partagée et d'un effort de sensibilisation afin d'atteindre la viabilité du procédé.

Législation :

- ✓ Fixer des **tarifs de rachat** du «e-gas», et fixer des **tarifs spécifiques d'accès au réseau** électrique pour les dispositifs P2G.
- ✓ **Valoriser** les installations P2G dans les **mécanismes de soutien aux réseaux électriques** (mécanisme de capacité, services systèmes...).
- ✓ **Faire évoluer la réglementation** liée à la production, au stockage et à la distribution de d'hydrogène.
- ✓ Harmoniser des règles européennes en matière d'injection d'hydrogène dans les réseaux.
- ✓ Créer des **statuts adaptés à l'hydrogène décarboné et renouvelable** en s'appuyant sur les travaux menés au niveau européen.
- ✓ Définir les **conditions** permettant au **méthane de synthèse** d'accéder au **statut de biométhane**.
- ✓ Créer un **système de Garanties d'Origine (GO)** adapté aux statuts des différents gaz afin de **découpler la production de la consommation**

Financement :

- ✓ **Soutenir la R&D** et l'offre industrielle notamment via le **financement de PME** (ANR, FUI, ADEME, Bpifrance).
- ✓ **Soutenir** les projets de **démonstration** et de pré-industrialisation.

Business Model :

- ✓ Construire un modèle économique viable en cumulant des sources de valorisation à l'amont et à l'aval du procédé: les services rendus et la vente des coproduits (H2, chaleur, CO2,O2).

Technologies :

- ✓ Améliorer le **rendement** et **réduire les coûts** des technologies pour rendre le dispositif économiquement intéressant.
- ✓ Poursuivre les **projets de démonstration** et les démarches de pré-industrialisation du procédé.

Communication :

- ✓ Sensibiliser les parties prenantes et le grand public pour faire évoluer la perception de l'hydrogène et du P2G et s'assurer de son acceptabilité future

Vos contacts



Charlotte De Lorgeril

Associate Partner - Energy Utilities & Environment

Tel: + 33 6 24 73 18 34

Mail: charlotte.delorgeril@sia-partners.com



Le magazine Energies et Environnement de Sia Partners

<http://energie.sia-partners.com/>

 @SiaEnergie



Noel Courtemanche

Manager Energy

Mail: noel.courtemanche@sia-partners.com



Baptiste Guichard

Consultant Energy

Mail: baptiste.guichard@sia-partners.com



Lisa Miller

Consultant Energy

Mail: lisa.miller@sia-partners.com



Asia

Hong Kong
701, 77 Wing Lok St,
Sheung Wan, HK
T.+852 3975 5611

Singapore
3 Pickering street #02-38
048660 Singapore
T.+ 65 8112 5823

Europe

Amsterdam
Barbara Strozilaan 101
1083 HN Amsterdam -
Netherlands
T. +31 20 240 22 05

Brussels
Av Henri Jasparlaan, 128
1060 Brussels - Belgium
T. +32 2 213 82 85

London
Princess House,
4th Floor, 27 Bush Lane,
London, EC4R 0AA –
United Kingdom
T. +44 20 7933 9333

Lyon
Tour Oxygène,
10-12 bd Vivier Merle
69003 Lyon - France

Milan
Via Medici 15
20123 Milano - Italy
T. +39 02 89 09 39 45

Paris
18 bd Montmartre
75009 Paris - France
T.+33 1 42 77 76 17

Rome
Via Quattro Fontane 116
00184 Roma - Italy
T. +39 06 48 28 506

Middle East & Africa

**Dubai, Riyadh, Abu
Dhabi**
PO Box 502665
Shatha Tower office 2115
Dubai Media City
Dubai, U.A.E.
T. +971 4 443 1613

Casablanca
14, avenue Mers Sultan
20500 Casablanca -
Morocco
T. +212 522 49 24 80

North America

New York
115 Broadway 12th Floor
New York, NY10006 - USA
T. +1 646 496 0160

Montréal
600 de Maisonneuve
Boulevard West, Suite
2200
Montreal, QC H3A 3J2 -
Canada

Pour plus d'informations: www.sia-partners.com

Suivez-nous sur LinkedIn et Twitter  @SiaPartners

siapartners

Driving Excellence