



MINISTÈRE
DE L'ÉCONOMIE
DES FINANCES
ET DE LA RELANCE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

**CONCOURS EXTERNE ET INTERNE
POUR LE RECRUTEMENT
DE TECHNICIENS SUPERIEURS PRINCIPAUX
DE L'ECONOMIE ET DE L'INDUSTRIE**

SESSION 2021 -



EPREUVE ECRITE D'ADMISSIBILITE DU MERCREDI 8 SEPTEMBRE 2021



EPREUVE N° 1 - NOTE DE SYNTHESE

(DUREE : 4 HEURES - COEFFICIENT : 4)

REMARQUES IMPORTANTES :

- les copies doivent être rigoureusement anonymes et ne comporter aucun signe distinctif ni signature, même fictive, sous peine de nullité.
- le candidat s'assurera, à l'aide de la pagination, que le sujet comporte 1 page de garde, 1 page d'énoncé et 32 pages de dossier documentaire.

TOUTE NOTE INFERIEURE A 6 SUR 20 EST ELIMINATOIRE

Sujet

La filière hydrogène-énergie

M. Bruno Le Maire, ministre de l'économie, des finances et de la relance, et Mme Barbara POMPILI, ministre de la transition écologique ont déclaré, le 8 septembre 2020, que l'hydrogène allait occuper une place majeure dans le plan de relance et que le gouvernement allait investir 7 milliards d'euros dans son développement. Les ministres ont présenté la stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France.

Il vous est demandé de réaliser une note de synthèse à partir des documents ci-joints, de 3 pages au maximum, en vous efforçant notamment :

- de caractériser la filière hydrogène-énergie, d'en présenter ses atouts et ses faiblesses ;
- de présenter les axes principaux de la stratégie nationale pour l'hydrogène décarboné ;
- d'identifier les pistes et les points de vigilance de son développement.

Dans la correction des copies, il sera tenu compte :

- du respect des 3 pages maximum ;
- de l'esprit de synthèse du candidat ;
- de la rigueur du plan ;
- de la qualité de l'expression écrite : clarté du style, richesse et précision du vocabulaire ;
- du respect des règles de français : orthographe, grammaire, ponctuation.

Documents joints :

Document n°1	Stratégie nationale pour l'hydrogène décarboné : lancement de deux appels à projet - ADEME press – 23/10/2020	Page 2 à 3
Document n°2	Présentation de la stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France – Ministère de l'économie, des finances et de la relance – 09/09/2020	Pages 4 à 9
Document n°3	Rapport au Président de la République relatif à l'ordonnance n°2021-167 du 17 février 2021 relative à l'hydrogène – JORF – 18/02/2021	Page 10
Document n°4	L'imposture de l'hydrogène «renouvelable» - La Tribune - 29/09/2020	Pages 11 à 12
Document n°5	Power to Gas – CEA – 05/2018	Pages 13 à 14
Document n°6	ArcelorMittal Europe produira de l'acier vert à partir de 2020 – Arcelormittal – 10/2021	Pages 15 à 18
Document n°7	Relever les défis de l'Hydrogène – ADEME – 04/2021	Pages 19 à 20
Document n°8	Hydrogène énergie – connaissance des énergies – 09/04/2015	Pages 21 à 26
Document n°9	Délibération de la Commission de Régulation de l'Energie – 09/2020	Pages 27 à 33



Communiqué de Presse

23 octobre 2020

STRATÉGIE NATIONALE POUR L'HYDROGÈNE DÉCARBONÉ : LANCEMENT DE DEUX APPELS À PROJETS

En application de la stratégie nationale du Gouvernement pour le développement de l'hydrogène décarboné en France, Barbara Pompili, ministre de la Transition Ecologique, Bruno Le Maire, ministre de l'Economie, des Finances et de la Relance, Frédérique Vidal, ministre de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, Jean-Baptiste Djebbari, ministre délégué chargé des transports, Agnès Pannier-Runacher, ministre déléguée chargée de l'industrie, Guillaume Boudy, secrétaire général pour l'investissement et Arnaud Leroy, président-directeur général de l'ADEME, annoncent l'ouverture de deux appels à projets visant au développement de la filière hydrogène.

Aujourd'hui, de manière partagée à travers l'Europe, l'hydrogène constitue une opportunité stratégique pour la transition vers une économie « zéro carbone » et la création d'une filière industrielle. L'hydrogène produit de façon décarbonée est un levier clé de décarbonation de plusieurs processus industriels et de certaines mobilités, et permettra à terme d'optimiser le rôle des énergies renouvelables dans le mix énergétique. L'hydrogène s'inscrit également dans une priorité stratégique de souveraineté énergétique pour de nombreux Etats. La France se mobilise aux côtés de ses partenaires européens pour la création d'une chaîne de valeur à l'échelle européenne sur l'hydrogène, comme en témoigne la rencontre du 13 octobre entre le président de la République Emmanuel Macron, la chancelière allemande Angela Merkel, les ministres français et allemands de l'économie Bruno Le Maire et Peter Altmaier, la présidente de la Commission Ursula von der Leyen et le commissaire européen chargé de la politique industrielle Thierry Breton, et des dirigeants d'entreprises.

Les deux appels à projets lancés aujourd'hui constituent la première étape de cette stratégie :

- L'appel à projets « **Briques technologiques et démonstrateurs** » financé par le Programme d'investissements d'avenir (PIA) de l'Etat et opéré par l'ADEME, s'adresse principalement aux entreprises. Il vise à développer ou améliorer les composants et systèmes liés à la production et au transport d'hydrogène et à ses usages tels que les applications de transport ou de fourniture d'énergie, ou encore à concevoir et développer de nouveaux véhicules notamment pour le transport routier de marchandises et le ferroviaire. Il pourra également soutenir des pilotes et démonstrateurs d'envergure (supérieur à 20MW) sur le territoire national, permettant à la filière industrielle de l'hydrogène de développer de nouvelles solutions et de se structurer.
- L'appel à projets « **Ecosystèmes territoriaux hydrogène** » de l'ADEME soutient des investissements de production et de distribution d'hydrogène renouvelable ou décarboné, pour des usages industriels et en mobilité, en particulier dans le domaine des utilitaires et des transports

lourds (collectifs ou de marchandise). Il vise à faire émerger des consortiums réunissant sur un même territoire collectivités et industriels pour porter des écosystèmes de grande envergure favorisant des économies d'échelle.

Qui peut déposer un projet ?

- L'appel à projets « Briques technologiques et démonstrateurs » s'adresse aux entreprises, pour des projets menés seul ou en partenariat avec d'autres entreprises et/ou acteurs de la recherche, pour des projets d'innovation d'un montant minimum de 2 à 5 millions d'euros selon les axes visés dans l'appel à projet.
- L'appel à projets « Ecosystèmes territoriaux hydrogène » s'adresse aux collectivités et entreprises, souhaitant s'investir dans la production et la distribution d'hydrogène, ainsi que dans les usages industriels et en mobilité.

Calendrier, dates limites et formulaires de dépôt des projets :

- « Briques technologiques et démonstrateurs » : dépôt au fil de l'eau jusqu'au 31 décembre 2022 :

<https://entreprises.ademe.fr/dispositif-aide/20201013/inodemo-h22020-176>

- « Ecosystèmes territoriaux hydrogène » : 17 décembre 2020 ; 16 mars 2021 ; 14 septembre 2021 :

<https://entreprises.ademe.fr/dispositif-aide/20201013/ecosysh22020-165>

Pour rappel, la stratégie d'accélération française a été officiellement annoncée le 8 septembre dernier. Avec une dotation globale de plus de 7 Md€ jusqu'à l'horizon 2030 dont 2 Md€ intégrés dans le plan de relance, la stratégie française porte des ambitions très élevées pour répondre aux enjeux suivants:

- Des enjeux environnementaux : l'hydrogène est pourvoyeur de nombreuses solutions pour décarboner l'industrie et les transports et réduire les impacts sur la qualité de l'air et la mobilité;
- Des enjeux économiques : l'hydrogène offre l'opportunité de créer une filière et un écosystème industriels créateurs d'emplois ;
- Des enjeux de souveraineté énergétique pour réduire notre dépendance vis-à-vis des importations d'hydrocarbures ;
- Des enjeux d'indépendance technologique pour valoriser les atouts dont dispose la France dans la compétition mondiale.

Au travers de cette stratégie, le soutien de l'État accompagne de manière séquentielle et progressive toutes les étapes clés de l'émergence d'une filière industrielle locale :

- Le soutien à la R&D permettant de développer des technologies plus performantes pour l'ensemble des usages de l'hydrogène ;
- Le soutien aux premières commerciales et à l'industrialisation qui combine une approche européenne (partenariats avec des pays partenaires pour développer des projets d'envergure) et nationale ;
- Le soutien au déploiement qui permet d'amorcer la diffusion de ce vecteur et de ses usages sur certains marchés.

Présentation de la stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France

09/09/2020

La ministre de la Transition écologique, Barbara Pompili et le ministre de l'Économie, des Finances et de la Relance, Bruno Le Maire, ont présenté, le 9 septembre, la stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France devant l'association française pour l'hydrogène et les piles à combustible (AFHYPAC) et l'ensemble des acteurs et partenaires de la filière.



©@BrunoLeMaire

L'hydrogène décarboné, une priorité

Qu'entend-on par "hydrogène décarboné" ?

L'hydrogène est dit « décarboné » quand ni sa production ni son utilisation n'émettent de CO₂. Compte tenu de son mix électrique faiblement émetteur de CO₂, la France dispose d'atouts pour fabriquer l'hydrogène décarboné. L'hydrogène est couramment utilisé dans l'industrie pétrolière et chimique, pour une consommation française totale de l'ordre de 900 000 tonnes par an. Il s'agit, en grande majorité, d'hydrogène carboné qui engendre de l'ordre de 9 millions de tonnes de CO₂ par an.

Moins de CO₂ dans l'atmosphère

Le recours à l'hydrogène décarboné permettra ainsi de diminuer les émissions de CO₂ dans l'atmosphère. Cela contribuera à atteindre l'objectif qui a été fixé dans le cadre de la stratégie nationale bas carbone pour l'industrie : 53 millions de tonnes émises par an en 2030 contre 80 millions de tonnes émises par an aujourd'hui.

[En savoir plus sur la stratégie nationale bas carbone](#)

Un vecteur d'énergie

L'hydrogène peut aussi être utilisé comme un vecteur d'énergie pour de nombreuses applications de mobilité, en particulier la mobilité lourde, notamment le transport collectif de personnes et le transport de marchandises, là où les solutions à base de batteries sont plus difficiles à mettre en œuvre. Il présente l'avantage de ne rejeter que de l'eau, ce qui permet d'éliminer les émissions:

- de particules,
- de soufre,
- d'oxyde d'azote

Il contribue à l'amélioration de la qualité de l'air.

Un axe prioritaire d'investissement pour la France

La stratégie pour le développement de l'hydrogène décarboné constitue un axe prioritaire d'investissement pour la France, compte tenu :

- des enjeux environnementaux : l'hydrogène est pourvoyeur de nombreuses solutions pour décarboner l'industrie et les transports,
- des enjeux économiques : l'hydrogène offre l'opportunité de créer une filière et un écosystème industriels créateurs d'emplois,
- des enjeux de souveraineté énergétique : pour réduire notre dépendance vis-à-vis des importations d'hydrocarbures,
- des enjeux d'indépendance technologique : pour valoriser les atouts dont dispose la France dans la compétition mondiale.

Un plan hydrogène dès 2018 en France

Barbara Pompili, ministre de la Transition écologique et Bruno Le Maire, ministre de l'Économie, des Finances et de la Relance :

« La France a été parmi les premiers pays à identifier tout le potentiel de l'hydrogène notamment sa capacité à réduire les émissions de gaz à effet de serre tout en étant compétitif. Dès 2018, notre pays a fait le choix de soutenir la filière et y a consacré des moyens dans le cadre du Programme d'investissement d'avenir (PIA). L'enjeu est écologique, technologique et économique. Il s'agit de créer et structurer un écosystème industriel de pointe qui soit compétitif à l'international ».

Le soutien apporté par l'État à la filière, ces trois dernières années, a été important :

- le programme d'investissements d'avenir (PIA) a mobilisé plus de 100 millions d'euros en soutenant la mise en œuvre de démonstrateurs et la prise de participation dans des entreprises à fort potentiel,
- l'agence nationale de la recherche (ANR) a soutenu la recherche publique en mobilisant plus de 110 millions d'euros sur les 10 dernières années,
- Bpifrance a accompagné de nombreuses startup ou des PME dans leurs projets d'innovation et de développement technologiques,
- L'Ademe a soutenu le déploiement de la mobilité hydrogène en apportant 80 millions d'euros,
- La banque des Territoires a soutenu des projets de déploiements portés par les collectivités.

La stratégie nationale

La stratégie nationale présentée repose sur :

- une **vision stratégique** consolidée depuis plus d'un an,
- une **large consultation** de l'ensemble des acteurs de la recherche, des entreprises, ou encore des institutionnels,....

Celle-ci a permis d'identifier :

- les verrous à lever en recherche et développement (R&D),
- les freins au passage à l'échelle industrielle,
- les opportunités de massification et les besoins de soutien en fonds propres.

Les objectifs

Le développement des technologies de l'hydrogène représente une opportunité, tant dans les territoires qu'à l'échelle européenne, pour :

- **accélérer la transition écologique,**
- **créer une filière industrielle dédiée.**

La stratégie fixe ainsi 3 objectifs :

- 1. installer suffisamment d'électrolyseurs pour apporter une contribution significative à la décarbonation de l'économie**
- 2. développer les mobilités propres en particulier pour les véhicules lourds**

3. construire en France une filière industrielle créatrice d'emplois et garante de notre maîtrise technologique.

Une stratégie de 7 milliards d'euros avec 3 priorités

Barbara Pompili, ministre de la Transition écologique et Bruno Le Maire, ministre de l'Économie, des Finances et de la Relance :

« Nous accélérerons massivement ces investissements en engageant, d'ici 2030, 7 milliards d'euros, dont 2 milliards d'euros dès le plan de relance. Notre objectif est clair : conjuguer le développement technologique et la transition écologique. »

Développer une filière d'hydrogène vert en France : en savoir plus

Première priorité : décarboner l'industrie en faisant émerger une filière française de l'électrolyse

- **Faire émerger une filière française de l'électrolyse.** La stratégie retient l'électrolyse qui apparaît comme le plus prometteur des procédés, sur lequel la France dispose déjà d'industriels à fort potentiel. Le marché de la production d'hydrogène décarboné par électrolyse doit évoluer vers des projets de plus grande taille et de plus importante capacité. La France se fixe ainsi un objectif de 6,5 GW d'électrolyseurs installés en 2030.
- **Décarboner l'industrie en remplaçant l'hydrogène carboné.** L'objectif est de remplacer les procédés de production à partir de combustibles fossiles pour décarboner cet hydrogène. C'est un des axes de la programmation pluri-annuelle de l'énergie.

Deuxième priorité : développer une mobilité lourde à l'hydrogène décarboné

- **Développer une offre de mobilité lourde à l'hydrogène.** Particulièrement adaptée aux véhicules lourds, les technologies de l'hydrogène offrent une capacité de stockage complémentaire à celle des batteries électriques. L'hydrogène répond aux besoins de fortes puissances motrices ou aux besoins de longue autonomie, notamment pour les flottes captives parcourant de longues distances à flux tendus. Le déploiement de l'hydrogène sur ce segment répond à l'objectif de décarbonation de ces mobilités dites « lourdes ».
- **Développer des projets territoriaux d'envergure en incitant à mutualiser les usages.** Pour accélérer le déploiement des mobilités professionnelles à l'hydrogène sur le territoire national, la stratégie propose la mutualisation de la demande, à la fois dans le secteur industriel et dans celui de la mobilité, à l'échelle des territoires. Il s'agit de faire émerger des partenariats forts entre collectivités et industriels afin de synchroniser au mieux l'émergence de l'offre et le développement des usages.

Troisième priorité : soutenir la recherche, l'innovation et le développement de compétences afin de favoriser les usages de demain

- **Soutenir la recherche et l'innovation.** Pour accélérer la préparation de la future génération des usages de l'hydrogène, la stratégie propose un ensemble d'outils qui permettront de poursuivre l'effort de R&D dans le domaine de l'hydrogène et rester à la

- pointe au niveau international, la France possédant une recherche de premier plan dans ce domaine, de soutenir l'innovation en faveur de l'industrialisation de nouvelles technologies.
- **Développer les compétences.** La stratégie mise sur le renforcement des compétences, afin de soutenir le développement des usages de l'hydrogène sur le territoire. L'enjeu est de former à la spécificité du gaz hydrogène et de ses utilisations, aux composants et aux modalités d'intervention.

Un enjeu européen

Barbara Pompili et Bruno Le Maire, ministre de l'Économie :

« Cette stratégie nationale s'inscrit dans une logique européenne. Si nous voulons acquérir et conserver un avantage compétitif, si nous voulons rester au meilleur niveau mondial et devancer les industries américaines et asiatiques sur le long terme, nous devons unir nos forces à l'échelle européenne, en faisant collaborer les chercheurs, en facilitant les coopérations industrielles et en regroupant nos financements. »

La commission européenne a publié le 8 juillet 2020, dans la continuité des travaux sur les chaînes de valeur stratégiques, sa stratégie hydrogène pour l'Union européenne. L'Europe consacre ainsi l'hydrogène comme une technologie clé pour :

- **atteindre ses objectifs climatiques,**
- **la création d'emplois industriels.**

Les appels à projets

Dès 2020 :

► **Appel à projets (AAP) « hub territoriaux d'hydrogène »** par l'[Ademe](#) pour le déploiement, par des consortiums réunissant des collectivités et des industriels fournisseurs de solutions, d'écosystèmes territoriaux de grande envergure regroupant différents usages (industrie et mobilité), pour favoriser au maximum des économies d'échelle. Cet appel à projet sera doté de 275 millions d'euros d'ici 2023.

► **Appel à projets (AAP) « Briques technologiques et démonstrateurs »** : cet AAP vise, dans son volet « briques technologiques » à développer ou améliorer les composants et systèmes liés à la production et au transport d'hydrogène, et à ses usages tels que les applications de transport ou de fourniture d'énergie. Il pourra également soutenir des projets de démonstrateurs intégrant une forte création de valeur en France et permettant à la filière de développer de nouvelles solutions et de structurer la filière. Cet AAP est doté de 350 millions d'euros jusqu'en 2023.

► **Mobilisation des dispositifs d'investissement en fonds propres du PIA** pour financer les entreprises nécessitant un soutien au développement de technologies innovantes (fonds écotechnologies), à l'industrialisation (fonds des sociétés de projets industriels (SPI) ou au lancement de premières commerciales dans le domaine des infrastructures énergétiques (Ademe Investissements).

2021

► **Construction d'un projet important d'intérêt européen commun (PIIEC/IPCEI) sur l'hydrogène, à l'instar du projet européen sur les batteries.** Ce projet pourra par exemple soutenir la R&D et l'industrialisation d'électrolyseurs pour produire de l'hydrogène décarboné et déployer ces solutions dans l'industrie. Ce projet pourra également concerner des projets de « gigafactory » d'électrolyseurs en France, ainsi que l'industrialisation d'autres briques technologiques (piles à combustible, réservoirs, matériaux...), dans une logique d'intégration de la chaîne de valeur au niveau européen. La France réservera une dotation financière exceptionnelle de 1,5 milliards d'euros dans le cadre de cette action.

► **Appel à manifestation d'intérêt dans le cadre du programme prioritaire de recherche (PPR) « applications de l'hydrogène »** : opéré par l'[ANR](#), ce PPR permettra de soutenir la recherche en amont et de préparer la future génération des technologies de l'hydrogène (piles, réservoirs, matériaux, électrolyseurs...). Il contribuera à l'excellence française dans la recherche sur l'hydrogène et sera doté de 65 millions d'euros.

2022

Appel d'offres dans le cadre du mécanisme de soutien à la production d'hydrogène décarboné, par complément de rémunération.

Presse

[Discours de Bruno Le Maire](#) 08/09/2020 [PDF ; 513 Ko]

[Dossier Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France](#)
08/09/2020 [PDF ; 1 045 Ko]

Décrets, arrêtés, circulaires

TEXTES GÉNÉRAUX

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

Rapport au Président de la République relatif à l'ordonnance n° 2021-167 du 17 février 2021 relative à l'hydrogène

NOR : TRER2018536P

Monsieur le Président de la République,

L'article 52 de la loi n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat habilite le Gouvernement à prendre par ordonnance toute mesure dans le domaine de la loi aux fins notamment de définir un cadre de soutien et de traçabilité de l'hydrogène renouvelable et bas-carbone.

La présente ordonnance que nous soumettons à votre approbation définit les différents types d'hydrogènes qui feront l'objet de régimes particuliers, hydrogène renouvelable, bas carbone ou carboné. Il prévoit deux systèmes de traçabilité de l'hydrogène pour que son caractère bas-carbone ou renouvelable puisse être connu de l'acheteur ou que cet acheteur sache que l'achat de la garantie constitue un soutien effectif à une filière vertueuse. Les garanties d'origine et de traçabilité seront gérées par un organisme indépendant, sur le modèle de celui qui existe déjà pour les garanties d'origine de l'électricité renouvelable. Ce système doit pouvoir accueillir les garanties délivrées par nos voisins européens conformément à la directive (UE) 2018/2001 du Parlement européen et du Conseil du 11 décembre 2018 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables.

L'ordonnance prévoit également la mise en place d'un mécanisme de soutien pour les filières de production d'hydrogène renouvelable ou bas-carbone par électrolyse de l'eau. Ce mécanisme consiste en une phase de présélection puis en une phase de dialogue compétitif, afin de pouvoir sélectionner les candidats et ajuster les niveaux de soutien dont ils bénéficient dans le cadre d'un contrat offrant un complément de rémunération et, selon les cas, d'une aide à l'investissement.

Elle introduit enfin plusieurs dispositions relatives à l'injection d'hydrogène dans les réseaux de gaz naturel. Le projet d'ordonnance prévoit, d'une part, que, en cas d'injection, les gestionnaires des réseaux de transport et de distribution de gaz naturel doivent mettre en œuvre les dispositions nécessaires pour assurer le bon fonctionnement et l'équilibrage des réseaux, la continuité du service d'acheminement et de livraison du gaz naturel et la sécurité des biens et des personnes. D'autre part, il est proposé la mise en place d'un dispositif de garanties d'origine du gaz renouvelable injecté dans le réseau de gaz naturel, auquel serait éligible l'hydrogène renouvelable injecté dans le réseau de gaz naturel.

Enfin, cette ordonnance prévoit deux modifications mineures de la législation en vigueur. D'une part, une modification du code minier visant à étendre le régime légal applicable au stockage souterrain à l'hydrogène ; d'autre part, une extension des pouvoirs d'enquête et de contrôle prévus par le code de l'énergie (et applicables à l'électricité et au gaz) à l'hydrogène.

Ce texte sera complété d'un décret en Conseil d'Etat et d'un autre décret pour son application.

Tel est l'objet de la présente ordonnance que nous avons l'honneur de soumettre à votre approbation.

Veuillez agréer, Monsieur le Président, l'assurance de notre profond respect.

DOCUMENT 4

1. L'imposture de l'hydrogène «renouvelable» - La Tribune 29/09/2020

Par Élodie Messéant (*) | 9:00 | 608 mots Lecture 4 min.



(Crédits : Reuters) OPINION.

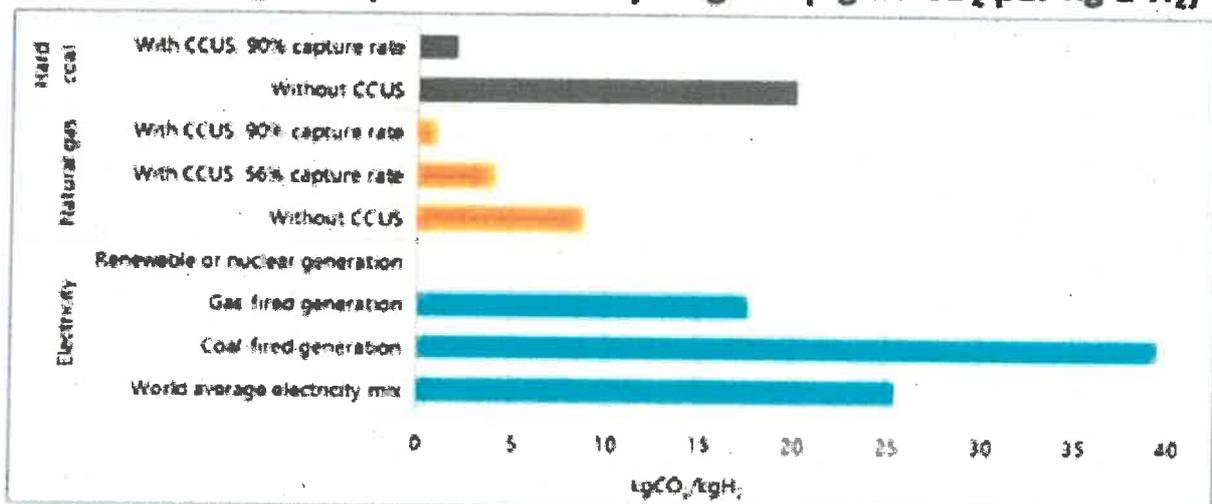
Partie intégrante de la révolution énergétique, le dihydrogène est un vecteur d'énergie dont l'intérêt est avant tout écologique : la combustion du dihydrogène est totalement décarbonée, ce qui en fait une alternative aux énergies fossiles fortement émettrices de CO₂. Par Élodie Messéant, Coordinatrice régionale de Students for Liberty France (*).

Partie intégrante de la révolution énergétique, le dihydrogène est un vecteur d'énergie dont l'intérêt est avant tout écologique : la combustion du dihydrogène est totalement décarbonée, ce qui en fait une alternative aux énergies fossiles fortement émettrices de CO₂.

N'existant pas à l'état "naturel", le dihydrogène n'est pas directement disponible sur Terre - comme peuvent l'être les énergies fossiles. Il doit donc être synthétisé.

Or, les modes de production habituels mobilisent des combustibles fossiles comme le méthane ou le charbon, particulièrement générateurs de gaz à effet de serre - bien qu'ils soient moins coûteux à réaliser que les méthodes "propres". L'hydrogène produit de cette manière est donc surnommé "hydrogène gris" - puisqu'il génère jusqu'à **630 millions de tonnes de CO₂ par an**.

L'intensité CO₂ de la production d'hydrogène (Kg de CO₂ par Kg d'H₂)



Source : Agence Internationale de l'énergie

1 La production par électrolyse est-elle une méthode écologique ?

Une autre méthode est donc en voie d'expansion : la production d'hydrogène par électrolyse. Elle consiste à décomposer des molécules d'eau en dioxygène (O₂) et en dihydrogène (H₂) grâce à un courant électrique. Si cette méthode est nettement plus coûteuse, elle se caractérise par sa neutralité carbone sur le site de production.

Ainsi, la production d'hydrogène par électrolyse permettrait d'éviter le rejet de CO₂, à condition que l'électricité utilisée soit décarbonée. Or, il ne suffit pas de brancher l'électrolyseur à une éolienne pour s'assurer que le bilan carbone soit neutre ! De fait, l'électricité utilisée pour produire de l'hydrogène (quel que soit le raccordement) est de l'électricité en moins dans le réseau afin de répondre à la demande des consommateurs.

À moins que la production renouvelable et nucléaire dépasse la totalité de la consommation d'électricité (ce qui est fort rare en Europe), il est donc nécessaire de compenser ce manque d'électricité par des importations ou par l'augmentation de la production des centrales thermiques.

Chaque kWh d'électricité supplémentaire consommé est un kWh produit à partir de centrales à gaz. La production d'hydrogène, même branchée à une source renouvelable, a presque toujours un bilan carbone élevé. Le label "vert" ou "renouvelable" de la production d'hydrogène semble donc davantage lié à un lobbying forcené plutôt qu'à son véritable impact écologique.

2 Un intérêt politique avant d'être écologique

Une telle façade s'inscrit directement dans la transition énergétique planificatrice - dernier projet en date : [le "Green New Deal" européen](#) - où les États s'efforcent, à base de financement, d'incitations à la production et à la consommation, de substituer les énergies renouvelables aux énergies fossiles et nucléaire - indépendamment de l'efficacité et du coût de telles politiques pour le consommateur final.

En Allemagne, les ravages des politiques publiques motivées par les lobbies écologistes commencent à se faire voir, où l'impopularité des projets de développement de champs éoliens augmente considérablement au sein de la population en raison de leur inefficacité économique, mais également de leur nocivité écologique par [la destruction des espaces naturels](#).

3 Le nucléaire comme solution

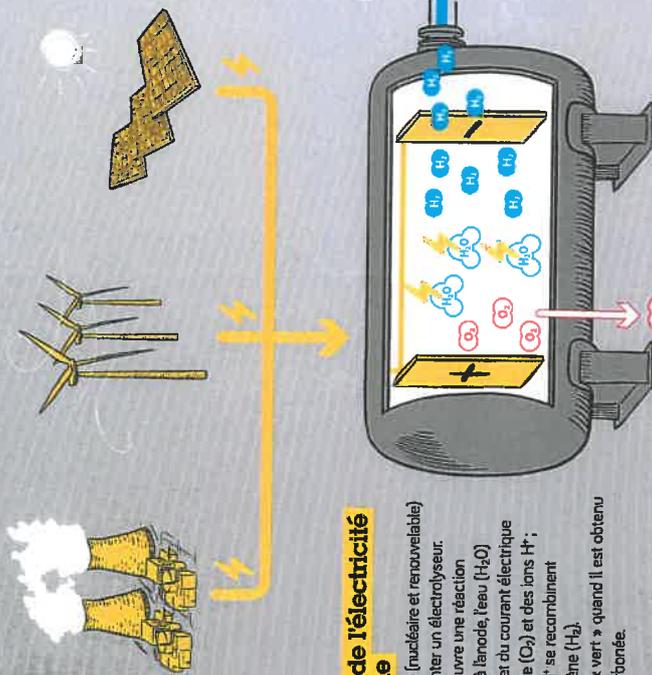
La seule manière de rentabiliser les électrolyseurs pour le producteur d'électricité est donc de produire avec un fort facteur de charge. À ce titre, l'énergie nucléaire - dont le facteur s'élève à 75% en France contre 22% pour l'éolien - semble être le seul moyen pour augmenter les volumes de production, faire baisser le prix de l'hydrogène et surtout, produire de l'énergie réellement verte.

(*) Par *Élodie Messéant*, Coordinatrice régionale de *Students for Liberty France*.

Le Power to gas

PRINCIPE

Le Power to gas consiste à convertir de l'électricité (power) en gaz (gas). Plus précisément il s'agit d'utiliser de l'électricité décarbonnée (nucléaire et renouvelable) pour produire, par électrolyse de l'eau, de l'hydrogène qui lui-même peut être converti en méthane de synthèse. Ces gaz sont stockés ou injectés dans le réseau de gaz naturel, puis utilisés dans différents secteurs (mobilité/transport, résidentiel/tertiaire, industrie).



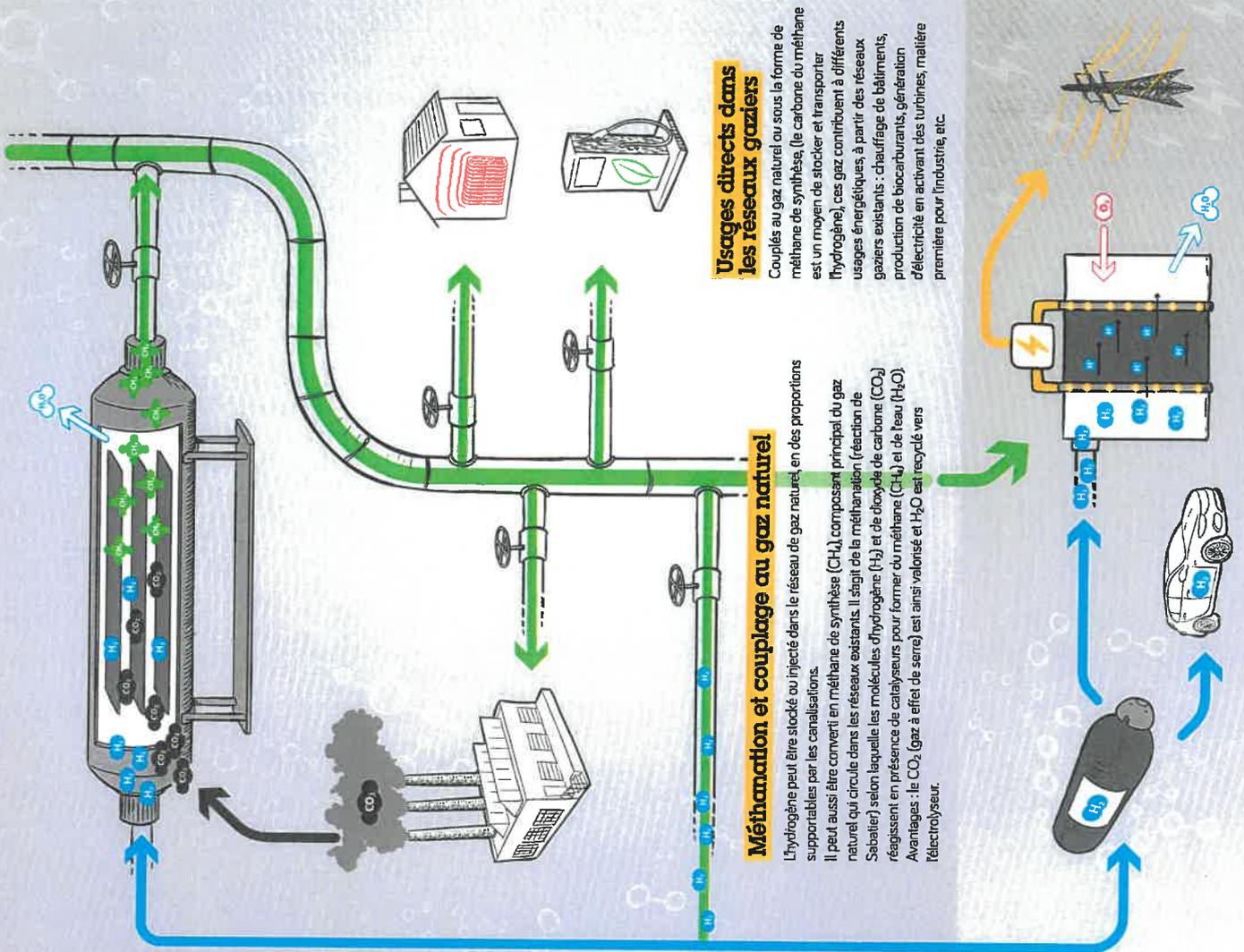
Électrolyse : de l'électricité à l'hydrogène

L'électricité décarbonnée (nucléaire et renouvelable) est utilisée pour alimenter un électrolyseur. Cet appareil met en œuvre une réaction d'électrolyse de l'eau : à l'anode, l'eau (H_2O) est dissociée sous l'effet du courant électrique en formant de l'oxygène (O_2) et des ions H^+ ; à la cathode, les ions H^+ se recombinent et forment de l'hydrogène (H_2). Cet hydrogène est dit « vert » quand il est obtenu à partir d'énergie décarbonnée.

Le Power to mobility et le Power to power sont d'autres usages du Power to gas

Power (électricité) to mobility (mobilité) :
 l'hydrogène est stocké dans des réservoirs haute pression pour être utilisé par exemple dans des véhicules électriques à hydrogène, des véhicules GNV ou dans des stations de recharge.

Power (électricité) to power (réseau électrique) : l'hydrogène est directement injecté dans une pile à combustible (PAC) – tout comme le méthane de synthèse qui peut être traité dans des PAC haute température de type SOFC – pour générer de l'électricité : dans la PAC, l'hydrogène se dissocie en ions H^+ et en électrons lesquels, circulant, forment un courant électrique.

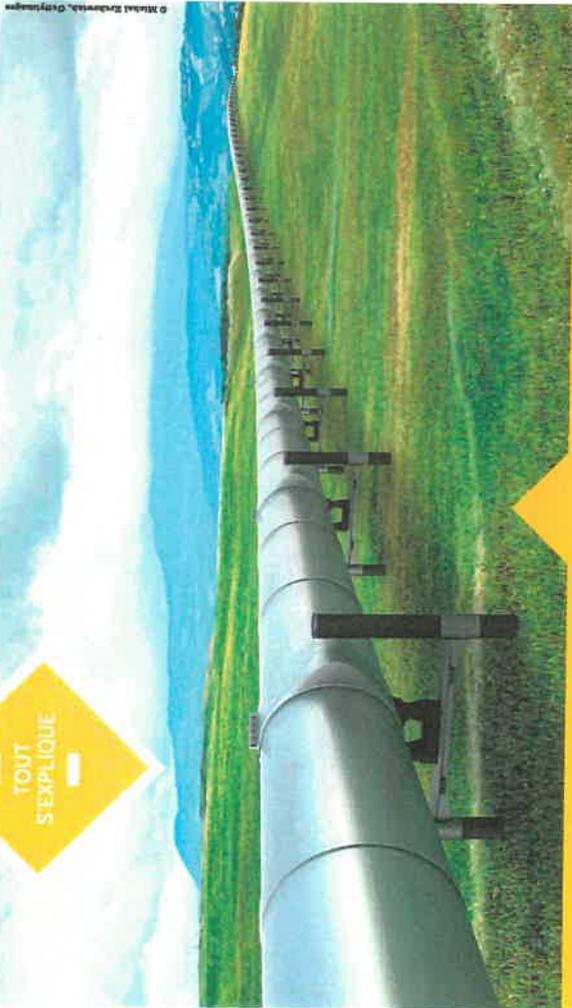


Usages directs dans les réseaux gaziers

Couplés au gaz naturel ou sous la forme de méthane de synthèse, (le carbone du méthane est un moyen de stocker et transporter l'hydrogène), ces gaz contribuent à différents usages énergétiques à partir des réseaux gaziers existants : chauffage de bâtiments, production de biocarburants, génération d'électricité en activant des turbines, matière première pour l'industrie, etc.

Méthanation et couplage au gaz naturel!

L'hydrogène peut être stocké ou injecté dans le réseau de gaz naturel, en des proportions supportables par les canalisations. Il peut aussi être converti en méthane de synthèse (CH_4), composant principal du gaz naturel qui circule dans les réseaux existants. Il s'agit de la méthanation (réaction de Sabatier) selon laquelle les molécules d'hydrogène (H_2) et de dioxyde de carbone (CO_2) réagissent en présence de catalyseurs pour former du méthane (CH_4) et de l'eau (H_2O). Avantages : le CO_2 (gaz à effet de serre) est ainsi valorisé et H_2O est recyclé vers l'électrolyseur.



Les premiers démonstrateurs du Power to gas sortent de terre...

Le projet Jupiter 1000

Premier démonstrateur préindustriel. Power to gas raccordé au réseau de transport de gaz français, Jupiter 1000 est un projet piloté par GRT Gaz. Lancé en 2016, sa première pierre a été posée à Fos-sur-Mer en décembre 2017. Il vise à étudier les performances d'une unité complète, à évaluer des modèles économiques du Power to gas et à faire émerger une nouvelle filière française de production de gaz renouvelable à l'horizon 2030.

Le CEA participe à cette aventure en apportant notamment ses compétences sur le processus de méthanation. Celui-ci consiste à coupler de l'hydrogène (produit à partir d'énergies renouvelables) avec du dioxyde de

carbone (recyclé des fumées des usines) pour produire du méthane de synthèse, lequel circule parfaitement dans les réseaux gaziers actuels car entrant dans la composition du gaz naturel. Le CEA avait développé une technologie générique de réacteur-échangeur compact de méthanation dès 2013 et la transférée à la société Atmosstat qui fait également partie du consortium Jupiter 1000.

La première injection d'hydrogène et de gaz de synthèse devrait avoir lieu, respectivement fin 2019 et courant 2019, ouvrant la voie à une expérimentation telle réelle qui devrait durer trois ans.

Le projet Grhyd

Lancé en 2013 à Dunkerque et piloté par Engie, le projet Grhyd évalue également la pertinence technico-économique du power to gas pour deux types d'usages : l'habitat et le transport.

Le premier volet, opérationnel depuis fin 2017, consiste à alimenter un nouvel écoquartier d'environ 200 logements par un mélange d'hydrogène et de gaz naturel. Si la production électrique de ce quartier est d'origine renouvelable, stockée via l'hydrogène dans le réseau de gaz naturel, l'installation sera en réalité connectée à un



Le Power to gas

Valoriser les surplus d'énergies décarbonées (nucléaire et renouvelable) dans les réseaux de gaz actuels, afin de les stocker, les transporter et les utiliser dans différents usages : voici la promesse et les enjeux du Power to gas, ou la transformation de l'électricité en hydrogène ou méthane, vecteurs énergétiques d'avenir.

ENJEUX



L'hydrogène et le méthane décarbonés, c'est-à-dire produits à partir d'énergies nucléaire ou renouvelable, sont deux vecteurs énergétiques d'avenir. Et c'est tout l'enjeu du Power to gas, innovation qui permet de favoriser l'insertion de ces énergies, en facilitant l'équilibrage des réseaux électriques et en valorisant les surplus de production dans les réseaux gaziers. Plus leurs applications possibles : absorption massive du surplus du système électrique, report ou évitement d'investissements locaux dans le réseau électrique, mobilité décarbonnée, réseaux gaziers

décarbonés, captation et valorisation du CO₂, par méthanation, usages industriels de l'hydrogène et du méthane, etc. Dans ce contexte, et fort de ces recherches et résultats sur les composants clés de ce vecteur énergétique (à savoir l'électrolyse, la pile à combustible et la méthanation), le CEA s'implique dans de nombreux projets visant l'expérimentation à l'échelle réelle de cette solution. C'est le cas des démonstrateurs Jupiter 1000 à Fos-sur-Mer et Grhyd à Dunkerque.

ArcelorMittal Europe produira de l'acier vert à partir de 2020 – ArcelorMittal en France

Les technologies de l'hydrogène au cœur de la décarbonation de l'industrie de l'acier et de la production d'acier neutre en carbone

Luxembourg, le 13 octobre 2020 – ArcelorMittal Europe annonce aujourd'hui les détails de sa stratégie technologique en matière de CO₂. Cette stratégie permettra au groupe de proposer à ses clients ses premières solutions d'acier vert dès cette année (30 000 tonnes), puis d'augmenter cette offre dans les années à venir (pour atteindre 120 000 tonnes en 2021 et 600 000 tonnes d'ici 2022), et d'atteindre son objectif de -30 % d'émissions de CO₂ d'ici 2030 et de neutralité carbone d'ici 2050.

La stratégie s'articule autour de deux grandes voies technologiques, comme ArcelorMittal l'a présenté dans son premier rapport européen sur l'action climatique publié au début de l'année :

- L'utilisation de l'hydrogène dans le processus DRI-EAF (réduction directe du fer + aciérie électrique) et dans le haut-fourneau
- L'extension de la voie Smart Carbon, utilisant également l'hydrogène.

L'HYDROGÈNE

L'hydrogène joue un rôle central dans la stratégie de décarbonation du groupe. ArcelorMittal Europe développe une série de projets à l'échelle industrielle utilisant l'hydrogène dans la fabrication de l'acier par la filière hauts-fourneaux. Ces projets permettront des réductions substantielles des émissions de CO₂ dès les cinq prochaines années. ArcelorMittal Europe développe également un projet visant à tester la capacité de l'hydrogène à réduire le minerai de fer et à former du DRI (*direct reduced iron*) à l'échelle industrielle.

A terme, pour atteindre zéro émission de CO₂, cet hydrogène devra être "vert", c'est-à-dire produit par une électrolyse alimentée par de l'électricité renouvelable. ArcelorMittal développe donc de nouvelles installations pour produire de l'hydrogène vert à l'aide d'électrolyseurs.

Des équipes d'ArcelorMittal Brême, en Allemagne, travaillent au premier déploiement à grande échelle de cette technologie, qui pourra ensuite être déployée à la fois dans le haut-fourneau et dans la filière DRI-EAF. Jusqu'à présent, cette technologie émergente n'a été testée que dans de petites usines pilotes en Europe.

1. L'hydrogène et le haut-fourneau

- **ArcelorMittal Brême (Allemagne)**

En installant un électrolyseur, il est possible de produire de l'hydrogène et de l'injecter en grandes quantités dans les tuyères des hauts-fourneaux. Ce projet permettra de diminuer les volumes de charbon nécessaires à la réduction du minerai de fer, et donc de diminuer les émissions de CO₂.

- **Igar à Dunkerque**

À ArcelorMittal Dunkerque, le groupe développe un procédé hybride de haut-fourneau, qui implique l'utilisation de la technologie d'injection de gaz DRI dans la cuve du haut-fourneau ainsi que de l'injection de gaz dans les tuyères du haut-fourneau, en utilisant la technologie plasma pour créer un gaz réducteur. Il s'agit de la première mise en œuvre à grande échelle de ce qui est par essence une technologie hybride haut-fourneau/DRI. A terme, elle permettra d'injecter dans le haut-fourneau de l'hydrogène vert dès que celui-ci sera disponible.

- **Injection dans les hauts-fourneaux sur les sites de Produits Plats**

Dans presque tous les sites de sa division Produits Plats, ArcelorMittal Europe met également en œuvre des projets d'injection dans les hauts-fourneaux de gaz de différentes sources. L'injection de gaz de cokerie riche en hydrogène est une méthode efficace et rentable qui permet aux sidérurgistes de réduire dès maintenant les émissions de CO₂. ArcelorMittal Asturias (Espagne) a le projet de gaz de cokerie le plus avancé, avec l'injection d'hydrogène gris (hydrogène récupéré dans des gaz, y compris le gaz naturel et le gaz de cokerie) qui devrait commencer début 2021.

2. L'hydrogène et le DRI-EAF

- **Test d'utilisation de l'hydrogène pour réduire le minerai de fer et former du DRI chez ArcelorMittal Hambourg**

A Hambourg en Allemagne, ArcelorMittal Europe possède la seule installation de réduction directe du minerai de fer + aciérie électrique (DRI-EAF) d'Europe. Un projet y testera la capacité de l'hydrogène à réduire le minerai de fer et à former du DRI à l'échelle industrielle, et testera également le DRI sans CO₂ dans le processus de fabrication de l'acier par l'aciérie électrique.

- **Une usine DRI à grande échelle à l'étude pour Dunkerque**

A ArcelorMittal Dunkerque (France), une étude a été lancée pour la construction d'une usine DRI à grande échelle, combinée à une aciérie électrique. Au départ, l'installation de DRI utiliserait du gaz naturel, mais l'expérience sans égale d'ArcelorMittal dans la production de DRI, combinée aux résultats du projet DRI-hydrogène à Hambourg, permettront à cette installation d'être entièrement « prête pour l'hydrogène ».

LA VOIE « SMART CARBON » AVEC L'HYDROGÈNE

- **Une deuxième usine de Carbalyst est prévue à Fos-sur-Mer ; de nouvelles réductions de CO₂ grâce à un grand électrolyseur pour l'injection d'hydrogène**

ArcelorMittal prévoit également d'étendre son utilisation de la voie technologique Smart Carbon. À ArcelorMittal Fos-sur-Mer (France), une étude est en cours, en collaboration avec le partenaire Lanzatech, pour construire une deuxième usine Carbalyst après celle en construction à ArcelorMittal Gand (Belgique). Il s'agit de capturer le carbone des gaz résiduels des hauts-fourneaux et de le convertir biologiquement en éthanol pour l'utiliser comme biocarburant ou comme matière première de carbone recyclé pour l'industrie chimique. Parallèlement au projet d'électrolyseur d'ArcelorMittal à Brême, l'usine Carbalyst de Fos-sur-Mer permettra d'accroître les économies de CO₂ grâce à l'injection d'hydrogène, fourni par un électrolyseur à grande échelle qui produira localement l'hydrogène à partir d'électricité renouvelable.

Premier acier vert vérifié pour les clients

Première conséquence de ces efforts de décarbonation, ArcelorMittal Europe offrira à ses clients des produits en acier vert dès cette année, avec les 30 000 premières tonnes produites.

Un système permettant de quantifier les économies d'émissions de CO₂ réalisées grâce aux projets de décarbonation déployés par ArcelorMittal Europe a été mis au point. Les clients pourront acheter de l'acier vert, sur la base d'émissions vérifiées par rapport à une base de référence de 2018.

Dépôt de projets au Fonds d'innovation

Pour financer les investissements nécessaires aux projets annoncés aujourd'hui, ArcelorMittal Europe prépare des demandes de financement au Fonds d'innovation de l'UE, qui est conçu pour soutenir les investissements bas carbone dans l'Union européenne.

Aditya Mittal, président et directeur général d'ArcelorMittal Europe, a déclaré :

« Aujourd'hui, nous faisons le point sur les progrès accomplis pour atteindre notre objectif de réduction des émissions de CO₂ de 30 % d'ici 2030 et de neutralité carbone d'ici 2050, notamment sur le rôle essentiel que joue l'hydrogène dans notre stratégie. Nos équipes talentueuses à travers ArcelorMittal Europe travaillent dur pour s'assurer que nos projets de réduction des émissions de CO₂ donnent des résultats le plus rapidement possible, à l'échelle industrielle. Nous nous efforçons d'être prêts pour l'économie de l'hydrogène et les opportunités passionnantes que cela représente pour nous, sidérurgistes européens.

En parallèle, nous continuons à déployer notre technologie Smart Carbon qui, nous en sommes convaincus, offre également un potentiel énorme : le monde aura besoin des technologies dites BECCS (bioénergie, capture et stockage du carbone) pour atteindre le zéro net d'ici 2050.

Nos projets visant à proposer un acier plus écologique et plus circulaire aideront nos clients à atteindre leurs objectifs d'économie circulaire. Nous sommes heureux de pouvoir offrir nos premières tonnes d'acier vert dès cette année et nous nous réjouissons de pouvoir fournir à nos clients des volumes plus importants de cet acier au fur et à mesure que nos projets de décarbonation s'accéléreront et se déploieront dans toute l'Europe.

Nous déposons actuellement des dossiers de financement pour divers projets auprès du Fonds d'innovation de l'ETS (Emissions Trading System ou système européen de quotas d'émissions de CO₂) qui, nous l'espérons, seront couronnés de succès et nous donneront ainsi l'accès vital au financement dont nous avons besoin pour ces projets importants. Le succès de ces projets sera également assuré par des partenariats, et nous tenons à remercier nos partenaires pour leur travail acharné et leur volonté de codévelopper les nouvelles technologies dont nous avons besoin pour fabriquer de l'acier neutre en carbone".

Rapport d'ArcelorMittal Europe sur l'action climatique

En juin 2020, ArcelorMittal Europe a publié son premier rapport sur l'action climatique qui expose la stratégie de l'entreprise pour réduire les émissions de CO₂ de 30 % d'ici 2030 et atteindre la neutralité carbone d'ici 2050.

Dans ce rapport, l'entreprise a identifié deux voies technologiques

révolutionnaires pour atteindre la neutralité carbone, Smart Carbon et la technologie innovante DRI basée sur l'hydrogène, qui aideront l'entreprise à atteindre ses objectifs de réduction de CO2.

Lire le [Rapport d'ArcelorMittal Europe sur l'action climatique](#)

Regardez [une courte animation](#) sur la manière dont ArcelorMittal Europe atteindra la neutralité carbone d'ici 2050

[ArcelorMittal fixe un objectif de zéro pour les émissions de carbone du groupe en 2050](#)

À propos d'ArcelorMittal

ArcelorMittal est le numéro un mondial de l'exploitation sidérurgique et minière, avec 190 000 salariés, une présence dans 60 pays et une empreinte industrielle dans 18 pays. Guidés par la volonté de produire un acier sûr et durable, nous sommes le principal fournisseur d'acier de qualité des grands marchés sidérurgiques mondiaux, y compris l'automobile, la construction, l'électroménager et l'emballage, soutenus par un département de recherche et développement d'envergure mondiale et d'excellents réseaux de distribution.

En 2019, ArcelorMittal a enregistré un chiffre d'affaires de 70,6 milliards de dollars pour une production d'acier brut de 89,8 millions de tonnes, avec une production propre de minerai de fer de 57,1 millions de tonnes.

En France, ArcelorMittal compte 15 600 salariés dont plus de 800 chercheurs, répartis sur ses 40 sites de production, ses centres de distribution et de services et ses trois sites de R&D. ArcelorMittal a produit 10,4 millions de tonnes d'acier liquide en 2019 en France. La France représente environ un tiers de la production d'aciers plats d'ArcelorMittal en Europe.

Pour plus d'informations, rendez-vous sur <http://corporate.arcelormittal.com> et sur <https://france.arcelormittal.com>

Contacts presse

Image 7 : Anne-Charlotte Créach
+33 (0)1 53 70 74 70
arcelormittal@image7.fr

ArcelorMittal en France : Isabelle Chopin
+33 (0)1 71 92 00 04 / +33 (0)6 15 21 59 25
isabelle.chopin@arcelormittal.com

1. Relever les défis de l'hydrogène – Ademe avril 2021



En France, on pense hydrogène avec un grand H ! À l'automne dernier, le gouvernement a lancé un plan doté de 7,2 milliards d'euros de fonds publics destiné à faire décoller la filière de l'hydrogène décarboné dans l'Hexagone, dont 2 milliards d'ici à 2022. Cette nouvelle stratégie donne des moyens et de la visibilité sur dix ans.

À nos yeux, l'hydrogène «vert» peut devenir un atout de taille pour la boîte à outils de la transition écologique française, résume Luc Bodineau, coordinateur hydrogène à l'ADEME. Nous pensons qu'il peut contribuer à décarboner la chaîne énergétique tout en apportant une flexibilité nouvelle, tant du point de vue des usages que de la production et des réseaux énergétiques. » L'hydrogène « vert » est d'autant plus intéressant qu'il peut répondre à de multiples applications, dans l'industrie – particulièrement pour la chimie et à terme la sidérurgie – et la mobilité, qu'il s'agisse de transport terrestre, maritime, fluvial et aérien. « Nous sommes convaincus que l'hydrogène peut représenter un levier de dynamisme des territoires sur le plan de l'autonomie énergétique comme sur celui de l'emploi durable, précise Luc Bodineau. Le gouvernement affiche d'ailleurs des objectifs ambitieux, tablant sur la création ou le maintien de 50 000 à 100 000 emplois à l'horizon 2030. »

1 Un coût encore élevé

Mais les défis à relever d'ici là sont nombreux. Le premier d'entre eux est celui du coût des technologies, encore très élevé, compte tenu d'une demande et donc de volumes encore très limités. Pour l'heure, les prix d'un kilo d'hydrogène décarboné ou de l'acquisition d'un véhicule hydrogène sont de 3 à 4 fois supérieurs à leur équivalent traditionnel. Un autre challenge concerne la qualité de service et la fiabilité des équipements, sur lesquelles on ne dispose que de peu de recul. Se pose enfin la question des métiers et des compétences humaines, avec un enjeu majeur de formation de techniciens compétents au plus près des applications. « Le développement de la filière hydrogène aura besoin du soutien des pouvoirs publics pendant plusieurs années, pour massifier la demande et encourager ainsi la diminution des prix. Cet appui sera particulièrement essentiel pour la production d'hydrogène vert (issu d'électrolyse) », reconnaît Luc Bodineau.

2 Booster l'innovation

Alors quel rôle pour l'ADEME ? Opérateur du plan France Relance, du Programme d'investissements d'avenir (PIA) et partenaire historique de la filière hydrogène, l'Agence est au cœur du dispositif de soutien pour accompagner les innovations technologiques et le déploiement de solutions. Elle le fait en lien étroit avec les Régions, sur l'ensemble du territoire national. En amont, l'ADEME mobilise plusieurs types d'outils pour encourager l'innovation : appels à projets de recherche, financement de thèses, accompagnement de démonstrateurs

industriels, notamment via l'appel à projets « Briques technologiques et démonstrateurs » financé par le PIA. « Depuis 2018, nous pilotons l'appel à projets "Écosystèmes territoriaux hydrogène" pour favoriser un déploiement, associant infrastructures et usages de l'hydrogène dans l'industrie ou dans le domaine de la mobilité. Dix-neuf consortiums ont d'ores et déjà bénéficié de ce dispositif », affirme Luc Bodineau. À la suite de l'annonce du plan hydrogène, l'ADEME a lancé une nouvelle édition de ce programme, auquel s'associent désormais onze conseils régionaux.

- 6,5 GW d'électrolyse seront déployés d'ici à 2030 dans le cadre de la stratégie nationale hydrogène.
- 6 millions de tonnes de CO2 pourraient ainsi être évitées chaque année, ce qui correspond aux émissions de la ville de Paris.

3 Quel rôle dans la transition écologique ?

Au-delà de ces outils de financement, l'ADEME mène des réflexions sur le pilotage des politiques publiques et le rôle futur de l'hydrogène dans la transition écologique. « C'est dans ce cadre que s'inscrivent notamment l'étude menée en partenariat avec la SNCF sur les potentiels du train hydrogène, l'étude d'Analyse du Cycle de Vie que nous avons publiée en décembre dernier, ou encore les travaux prospectifs pour la neutralité carbone à l'horizon 2050. Ces exercices permettent d'identifier les potentiels mais aussi les points de vigilance, comme l'origine du gaz ou de l'électricité utilisés (voir page 9). Ils permettent aussi de conforter ou d'orienter les appels à projets que nous lançons, pour être en phase avec les objectifs de long terme », conclut Luc Bodineau.

L'hydrogène sur de bons rails

À l'automne dernier, la SNCF, Tech4rail et l'ADEME ont révélé les résultats d'une étude (1) destinée à évaluer le potentiel de l'hydrogène pour décarboner le secteur ferroviaire. Le bilan de ce travail souligne la pertinence de cette solution, qui pourrait être utilisée en substitution à l'électrification des voies, notamment pour les lignes régionales au trafic peu dense. 34 lignes représentant 200 à 250 trains pourraient être concernées. Parallèlement à ces travaux prospectifs, la SNCF a lancé le projet TER H2 destiné à valider les performances d'un train hydrogène français avec la mise en circulation commerciale de rames H2 « Regiolis » dès 2025 dans les régions Grand-Est, Nouvelle-Aquitaine et Occitanie.

1. *Étude sur les perspectives du train hydrogène en France, ADEME, SNCF, sept. 2020.*

Hydrogène énergie

À RETENIR

- La molécule H_2 de dihydrogène, constituée de deux atomes d'hydrogène, est communément appelée « hydrogène ».
- L'hydrogène peut être converti en électricité, en chaleur ou en force motrice et a ainsi de nombreuses applications possibles.
- L'hydrogène est cependant difficile à stocker et à transporter en raison de sa faible densité énergétique par unité de volume.

Définition et catégories

Élément chimique le plus abondant dans l'univers, l'hydrogène (H) est classé en première place du tableau de Mendeleïev. Il s'agit de l'atome le plus simple et le plus léger : il est constitué d'un noyau contenant un proton et d'un électron périphérique.

La molécule H_2 de dihydrogène, constituée de deux atomes d'hydrogène, est aussi communément appelée « hydrogène » (nous emploierons cette terminologie dans la fiche). C'est cette molécule H_2 qui fait l'objet d'une exploitation chimique et suscite un fort intérêt énergétique, tant par ses possibilités d'usage que de stockage.

Vecteur énergétique d'avenir et substitut possible aux hydrocarbures, elle présente **plusieurs avantages conséquents** :

- sa combustion génère une forte quantité d'énergie (environ 3 fois plus que l'essence à poids constant⁽¹⁾) ;
- elle est très abondante sur Terre sous forme atomique (eau, hydrocarbures, etc.). Le dihydrogène existe aussi à l'état naturel (les premières sources naturelles d'hydrogène ont été découvertes au fond des mers dans les années 1970 et plus récemment à terre, rappelle IFP Énergies nouvelles⁽²⁾) ;
- sa combustion est non carbonée (pas d'émission de CO_2 lorsqu'il est issu de sources renouvelables) ;
- elle est stockable et peut constituer un moyen efficace de stockage de l'électricité sur des durées longues.

La combustion de l'hydrogène génère environ 3 fois plus d'énergie que l'essence à poids constant

Cependant, l'hydrogène énergie (ou vecteur hydrogène) se heurte encore à **plusieurs limites** :

- le stockage de l'hydrogène nécessite des quantités d'énergie importantes en raison de sa faible densité (il peut être stocké sous forme comprimée, liquide ou encore d'hydrure métallique) ;
- l'efficacité de son transport (énergie transportée par unité de volume) est beaucoup moins forte que celle du pétrole ou du gaz en raison de cette faible densité ;
- des risques d'inflammabilité et de détonation avec l'air existent (bien que moindres que pour le gaz naturel) ;
- le coût du procédé de production d'hydrogène le plus prometteur, l'électrolyse de l'eau, reste élevé ;
- son utilisation grand public dans les transports nécessite la mise en place d'un réseau de stations à hydrogène (de type stations services) qui requiert des investissements considérables.

L'hydrogène énergie est prometteur à plus d'un titre. Néanmoins, son exploitation à l'échelle industrielle en est à ses balbutiements.

Fonctionnement technique ou scientifique

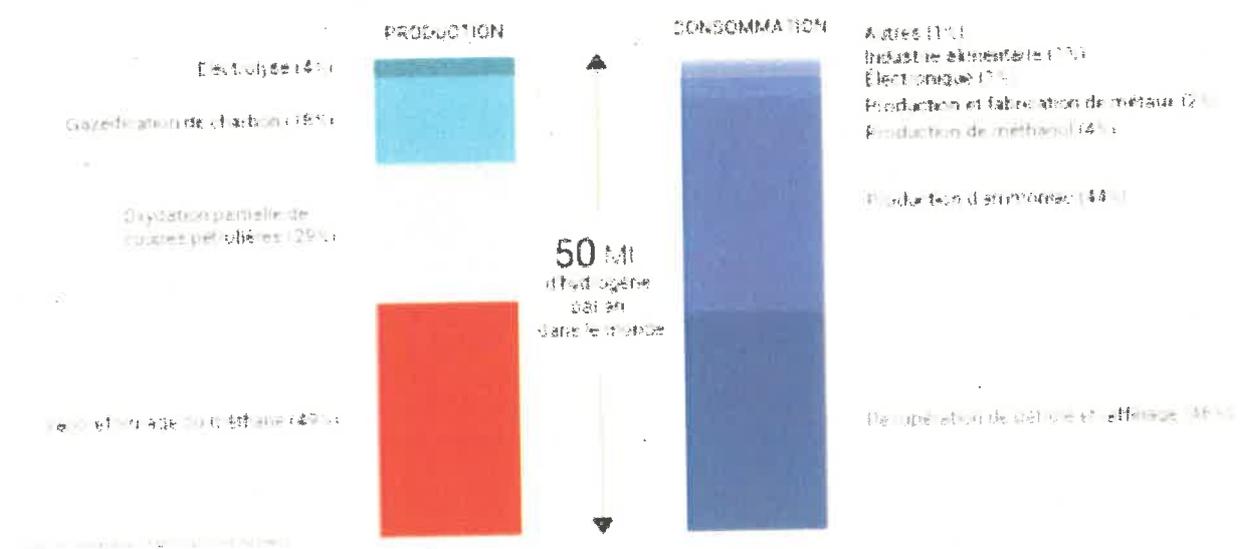
Différents procédés de production

L'hydrogène est produit par la séparation d'éléments chimiques dont l'atome H est un composant et par la mobilisation d'une source d'énergie.

La plus grande partie de l'hydrogène est actuellement produite à partir de gaz naturel et est utilisée par les industriels pour ses propriétés chimiques, en particulier dans les usines d'ammoniac (50% de la consommation mondiale) et dans les raffineries de pétrole (désulfuration d'essence et de gazole, production de méthanol, etc.).

Plus de 95%⁽²⁾ de la production d'hydrogène est encore issue d'énergies fossiles (gaz naturel, pétrole, charbon). On appelle « hydrogène bas carbone » l'hydrogène produit grâce à une source d'énergie renouvelable ou nucléaire (ou par vaporeformage de gaz naturel si le procédé est associé à une unité de captage, stockage et valorisation du CO₂).

Hydrogène Production et consommation dans le monde



Près de 96% de la production mondiale d'hydrogène est encore issue d'énergies fossiles. (©Connaissance des Énergies, d'après Institution of Mechanical Engineers)

- **Reformage des combustibles fossiles à la vapeur d'eau (ou vaporeformage) :** procédé de référence, le plus économique (mais son prix de revient reste bien plus élevé que celui du gaz naturel). Le vaporeformage du gaz naturel est la méthode la plus courante. Elle casse la molécule de méthane (CH₄), principal composant du gaz naturel, qui possède 4 atomes d'hydrogène, avec de la vapeur d'eau à 900°C. Deux réactions successives permettent de produire de l'hydrogène (H₂) et du dioxyde de carbone (CO₂) :
$$\text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4 \text{H}_2 + \text{CO}_2$$

Ce procédé génère du dioxyde de carbone qui pourrait être capté et stocké dans le futur. Le vaporeformage du biogaz est également possible.

- **Électrolyse de l'eau :** procédé qui nécessite de l'électricité (rentable si la production d'électricité présente elle-même un coût peu élevé). Le courant électrique décompose la molécule d'eau en hydrogène et en dioxygène (O₂) :



Ce procédé correspond à la réaction inverse de celle se produisant dans une pile à combustible. Il permet de produire un hydrogène très « propre » (si l'électricité est produite en utilisant des sources renouvelables) mais n'est pas encore viable économiquement (2 à 3 fois plus coûteux que le procédé de vaporeformage). Le rendement de cette technique est de 40% sur toute la chaîne mais peut atteindre 80% en récupérant la chaleur.

Cette électrolyse possède différentes variantes, à différentes températures :

- **Électrolyse basse température (< 200°C) alcaline** utilisant une solution aqueuse d'acide sulfurique (H₂SO₄) ou d'hydroxyde de potassium (KOH) :
- **Électrolyse basse température (< 200°C) utilisant un électrolyte solide** : membrane polymère PEMFC conductrice de protons (*Proton Exchange Membrane Fuel Cell*) :
- **Électrolyse à haute température (> 400°C) utilisant une membrane céramique conductrice d'ions oxygène (*Solid Oxide Fuel Cell*)**, qui doit être couplée à un système solaire concentration à un réacteur nucléaire à haute température pour profiter d'une source de vapeur bas coût :
- **Gazéification et pyrolyse de biomasse (en particulier de charbon de bois)** : procédé en cours de recherche et développement qui permet par exemple d'obtenir de l'hydrogène par transformation chimique du bois à très haute température (entre 1 200°C et 1 500°C). On obtient un mélange de gaz contenant de l'hydrogène (H₂) et du monoxyde de carbone (CO). Après purification de ce mélange, on obtient de l'hydrogène.
- **Autres procédés à l'état de recherche** : d'autres techniques de production d'hydrogène sont actuellement à l'étude comme la photoélectrolyse (cellule photoélectrochimique décomposant l'eau sous l'effet de la lumière), la décomposition thermochimique de l'eau (l'eau est chauffée 800/1 000°C grâce à l'énergie nucléaire) ou encore des microorganismes (production d'hydrogène par des bactéries modifiées sous l'effet de la lumière du soleil).



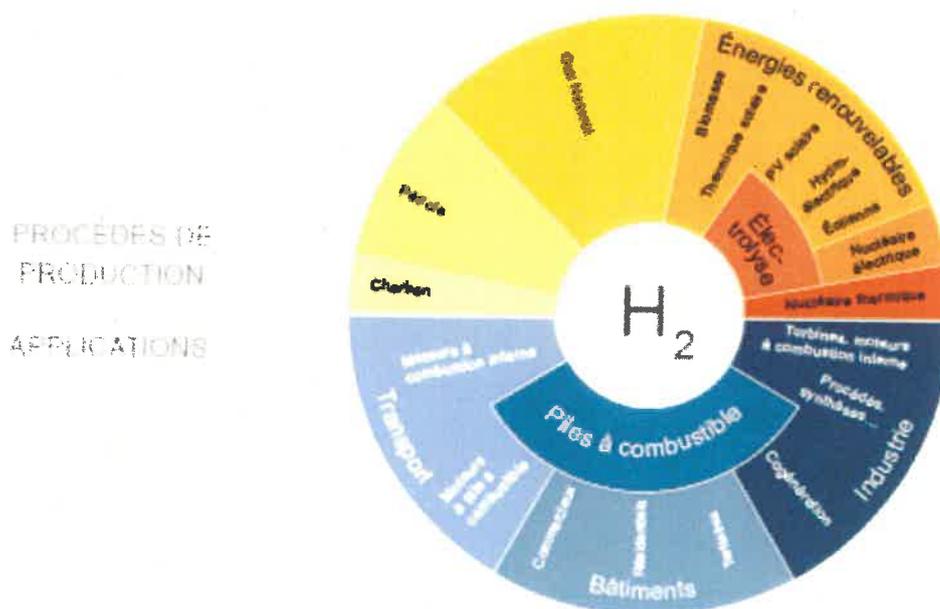
La filière hydrogène (©Connaissance des Énergies d'après CEA)

Applications

L'hydrogène peut être converti en électricité, en chaleur ou en force motrice selon l'usage final. Il a l'avantage de présenter une capacité de stockage (problématique avec l'électricité) et de pouvoir être produit sans émission de CO₂. En tant que vecteur énergétique, il trouve ainsi :

- des **applications stationnaires** : stockage d'énergie dans les bâtiments en assurant une fourniture d'électricité et de chaleur grâce à la cogénération, ce qui permettrait le développement des bâtiments à énergie positive ;
- des **applications mobiles** : l'hydrogène peut alimenter des véhicules équipés de moteurs à combustion fonctionnant au gaz. Par ailleurs, un réservoir d'hydrogène peut-être associé à une pile combustible pour améliorer l'autonomie de véhicules électriques (électro-mobilité de 2^e génération, dite 2G, la première correspondant aux véhicules électriques) ;
- des **applications industrielles** : l'hydrogène est un composant chimique très employé dans l'industrie.

Notons que l'hydrogène est déjà largement utilisé dans le domaine de l'aérospatial comme combustible pour la propulsion des fusées.



La chaîne hydrogène (©Connaissance des Énergies d'après AFH₂ – UE)

Enjeux par rapport à l'énergie

Production décarbonée de l'hydrogène

L'intérêt de l'hydrogène dans la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre dépend évidemment de la manière dont il est produit. Une chaîne non carbonée de production existe (électrolyse ou séquestration de CO₂, s'il est issu des énergies fossiles).

La conjonction de trois facteurs conditionne le développement d'une filière énergétique de l'hydrogène : compétitivité en termes de prix, rendement énergétique et absence d'émission de CO₂.

Gestion des intermittences des énergies renouvelables

Avec les piles à combustible, l'hydrogène énergie permet de stocker et de produire de l'électricité à la demande, valorisant ainsi les énergies renouvelables intermittentes.

Stockage et transport de l'hydrogène

L'hydrogène est difficile à stocker et à transporter, en raison de sa faible densité énergétique par unité de volume. Le transport s'effectue généralement en bouteilles ou en pipelines sous forme comprimée : le gaz peut être comprimé de quelques dizaines de bars à 350 ou 700 bars pour être acheminé. D'autre part, il est possible de le liquéfier l'hydrogène à -253°C mais cette transformation est très énergivore. Notons également la possibilité de transporter l'hydrogène sous forme d'hydrure métallique (la réaction d'hydruration est en effet réversible).

Le réseau de gaz naturel peut aussi contenir de l'hydrogène jusqu'à 20% en volume mais cela nécessite de le purifier en aval du réseau. Notons qu'il faut dix fois plus d'espace pour stocker de l'hydrogène gazeux par rapport à l'essence.

Utilisation dans les transports

Le secteur des transports offre un potentiel de développement majeur au vecteur hydrogène : celui-ci peut être utilisé directement dans des moteurs à combustion interne ou dans des piles à combustible. Des moteurs à combustion utilisant l'hydrogène équipent déjà des bus et des bennes à ordures ménagères sous forme d'hythane (mélange 20% hydrogène / 80% gaz naturel).

Sécurité

La réputation de l'hydrogène pâtit de quelques accidents historiques comme l'incendie du dirigeable Hindenburg en 1937 ou l'explosion de la navette Challenger le 28 janvier 1986. Néanmoins, ce gaz se révèle moins dangereux que le gaz naturel. Dans les voitures fonctionnant à hydrogène, on rajoute un colorant au gaz. En cas de fuite, l'hydrogène est invisible, inodore et n'est chaud qu'au-dessus de la source. Etant très léger, le gaz se libère verticalement, ce qui constitue un avantage en termes de sécurité.

Acteurs majeurs

On peut distinguer deux grandes catégories d'acteurs de la filière hydrogène : les centres de recherche qui travaillent sur les procédés de production et de transport les plus performants (en France, notamment le CEA, le CNRS ou IFP Énergies nouvelles) et les industriels qui travaillent sur les débouchés de ce vecteur énergétique (constructeurs automobiles ou groupes gaziers comme Air Liquide). En France, la filière est mise en valeur auprès des acteurs économiques et du grand public par l'association française de l'hydrogène (AFH₂).

Unités de mesure et chiffres clés

La production industrielle mondiale d'hydrogène gazeux atteint actuellement près de 130 Mtep, soit environ 1.5% de la production mondiale d'énergie⁽⁹⁾.

Zone de présence ou d'application

- Plusieurs pays se trouvent à la pointe de la recherche appliquée à l'hydrogène : l'Allemagne avec le programme *H₂ Mobility* et *Callux*, le Japon avec le *Japanese Large Scale Fuel Cell Demonstration Programme* ou encore les Etats-Unis avec le *US National Hydrogen & Fuel Cell Program*.
- En 2007, le Canada et les États-Unis ont convenu de créer une « autoroute verte », un réseau de 200 stations de ravitaillement en hydrogène entre la Colombie-Britannique et la Californie.
- La ville de Londres, en Angleterre, s'est engagée à réduire ses émissions de 60 % d'ici 2025 et a acquis une flotte de huit autobus à hydrogène⁽⁵⁾ dans cette optique.

Passé et présent

1671 : Première intuition : Robert Boyle rapporte que les vapeurs dégagées par la dissolution de fer dans l'acide chlorhydrique sont hautement inflammables.

1766 : Découverte de l'hydrogène par Henry Cavendish qui isole le gaz

1781 : Démonstration par Cavendish de la formation d'eau lorsque l'hydrogène brûle. Le chimiste français Antoine Lavoisier appelle le gaz hydrogène

1839 : Découverte de la pile à hydrogène

1898 : Première liquéfaction de l'hydrogène obtenue par l'anglais Sir James Dewar

Futur

L'utilisation de ce gaz comme vecteur énergétique, notamment dans le secteur des transports et la production d'électricité, constitue un défi important. Le marché des piles à combustible et le secteur des transports constituent deux perspectives majeures en vue d'une utilisation plus importante de l'hydrogène.

Concrètement

Aujourd'hui, avec 1kg d'hydrogène, une voiture peut parcourir 100 km. Toyota a conçu un modèle avec une autonomie de 850 km. A titre de comparaison, les voitures électriques disposent généralement d'une autonomie maximum de moins de 500 km (un record de 1 600 km d'autonomie a toutefois été établi par les Allemands en 2011⁽⁶⁾).

dernière modification le 09 avril 2015

Sources / Notes

1. [L'hydrogène. IFP Énergies nouvelles.](#)
2. [Tout savoir sur l'hydrogène. IFP Énergies nouvelles.](#)
3. [Fiche de l'AFHYPAC](#)
4. [Fiche du CEA](#)
5. ["Les voitures à hydrogène ou l'oeuf et la poule", Blog H2, 30 mai 2011](#)
6. [Hydrogen London](#)
7. [Record d'autonomie, site de l'Avem](#)

[Site de l'AFHYPAC](#) (Association Française pour l'Hydrogène et les Piles à Combustible)

[Site de l'Association française de l'hydrogène](#)



DÉLIBÉRATION N° 2020-231

Délibération de la Commission de régulation de l'énergie du 24 septembre 2020 portant avis sur le projet d'ordonnance relative à l'hydrogène

Participaient à la séance : Jean-François CARENCO, président, Christine CHAUVET, Catherine EDWIGE, Ivan FAUCHEUX et Jean-Laurent LASTELLE, commissaires.

1. CONTEXTE ET SAISINE DE LA CRE

L'article 52 de la loi n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat autorise le Gouvernement à prendre par voie d'ordonnance « toute mesure relevant du domaine de la loi afin :

- 1° De définir la terminologie des différents types d'hydrogène en fonction de la source d'énergie utilisée pour sa production ;
- 2° De permettre la production, le transport, le stockage et la traçabilité de l'hydrogène ;
- 3° De définir un cadre de soutien applicable à l'hydrogène produit à partir d'énergie renouvelable ou par électrolyse de l'eau à l'aide d'électricité bas-carbone ».

Dans ce cadre, la Commission de régulation de l'énergie (CRE) a été saisie, le 13 août 2020, par la ministre de la transition écologique, d'un projet d'ordonnance relative à l'hydrogène, prise en application de l'article 52 de la loi n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat.

Le projet d'ordonnance modifie et complète les dispositions législatives du code de l'énergie, notamment en introduisant un livre VIII sur « Les dispositions relatives à l'hydrogène ».

Le présent avis comporte une présentation du contenu de ce projet d'ordonnance, ainsi que les éléments d'analyse à l'appui desquels la CRE rend son avis.

2. CONTENU DU PROJET D'ORDONNANCE

Le projet d'ordonnance a pour objet de compléter la partie législative du code de l'énergie par un livre VIII portant sur « Les dispositions relatives à l'hydrogène » et de modifier certaines dispositions du code de l'énergie et du code minier.

Il vise, d'une part, à définir le type d'hydrogène selon son mode de production, à mettre en place un mécanisme de garanties de traçabilité ou d'origine permettant d'attester le type d'hydrogène produit, ainsi qu'un mécanisme de soutien à la production d'hydrogène renouvelable et bas-carbone produit par électrolyse de l'eau. Il prévoit, d'autre part, la mise en place d'un mécanisme de garanties d'origine de gaz renouvelable injecté dans le réseau de gaz naturel. Enfin, ce projet d'ordonnance comporte plusieurs dispositions relatives à la préservation du bon fonctionnement des réseaux de gaz naturel et à la sécurité des biens et des personnes, en cas d'injection d'hydrogène dans les réseaux de gaz naturel.

2.1 Le nouveau livre VIII du code de l'énergie : « Les dispositions relatives à l'hydrogène »

Le projet d'ordonnance définit les différents types d'hydrogènes qui feront l'objet de régimes particuliers, l'hydrogène renouvelable, bas-carbone ou fossile et qui seront fonction du procédé et de l'énergie primaire utilisés pour leur production ou des émissions de gaz à effet de serre associées à ce procédé (projet d'article L. 811-1 du code de l'énergie).

Il prévoit deux systèmes de traçabilité ou de garantie d'origine de l'hydrogène pour que son caractère renouvelable ou bas-carbone puisse être connu de l'acheteur ou du consommateur final et que cet acheteur ou consommateur sache que l'achat de la garantie constitue un soutien effectif à une filière non fossile (projet d'article L. 841-1 du code de l'énergie).

Le système de garanties d'origine est inspiré des mécanismes existants pour l'électricité produite à partir d'énergies renouvelables (articles L. 314-14 à L. 314-17 du code de l'énergie) et le biogaz (article L. 446-3 du code de l'énergie). L'introduction des garanties de traçabilité est toutefois spécifique à l'hydrogène.

Le projet d'ordonnance précise que les garanties de traçabilité et d'origine seront gérées par un organisme indépendant, sur le modèle de celui qui existe déjà pour les garanties d'origine de l'électricité produite à partir d'énergies renouvelables (projets d'articles L. 841-2 à L. 841-6 du code de l'énergie). Ce système devra, à compter du 30 juin 2021, pouvoir accueillir les garanties d'origine de l'hydrogène renouvelable délivrées par nos voisins européens conformément à la directive (UE) 2018/2001 du Parlement européen et du Conseil du 11 décembre 2018 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables. Les garanties d'origine de l'hydrogène bas-carbone provenant d'autres pays membres de l'Union européenne pourront être également reconnues et traitées à la condition de respecter un niveau d'exigence similaire.

Le projet de Titre V prévoit la mise en place d'un mécanisme de soutien à la production d'hydrogène renouvelable et d'hydrogène bas-carbone produit par électrolyse de l'eau (projets d'articles L. 851-1 à L. 851-6 du code de l'énergie). Ce mécanisme, inspiré des dispositions en vigueur pour l'électricité produite à partir d'énergies renouvelables et pour le biogaz, se présente comme suit :

- la possibilité pour l'autorité administrative de recourir à une procédure d'appel d'offres pour les installations de production d'hydrogène renouvelable et d'hydrogène bas-carbone produit par électrolyse de l'eau, si les capacités de production de l'hydrogène renouvelable ou bas-carbone ne répondent pas aux objectifs chiffrés mentionnés au I. 10° de l'article L. 100-4 du code de l'énergie¹ ;
- les lauréats à ces appels d'offres pourraient bénéficier, selon les modalités définies dans l'appel d'offres, d'une aide financière à l'investissement, d'un contrat offrant un complément de rémunération ou d'une combinaison des deux.

Les conditions dans lesquelles les ministres chargés de l'énergie et de l'économie arrêtent les conditions du complément de rémunération pour les futurs lauréats des appels d'offres seront précisées par voie réglementaire, après avis de la Commission de régulation de l'énergie.

2.2 L'injection d'hydrogène dans les infrastructures de gaz naturel

Le projet d'ordonnance prévoit, par ailleurs, plusieurs dispositions relatives à l'injection d'hydrogène dans les réseaux de gaz naturel.

Le projet d'ordonnance propose la mise en place de garanties d'origine « gaz renouvelable injecté dans le réseau de gaz naturel » spécifiques (projets d'articles L. 447-2 à L. 447-5 du code de l'énergie). Il précise que chaque unité d'hydrogène renouvelable produite et injectée dans un réseau de gaz naturel ne pourra être prise en compte qu'une seule fois au titre des garanties d'origines et que le gestionnaire de ces garanties d'origine sera le même que celui des garanties d'origine relatives à l'injection de biogaz.

Le projet d'ordonnance prévoit, en outre, qu'en cas d'injection d'hydrogène dans les réseaux de transport de gaz naturel (projet d'article L. 431-6-4 du code de l'énergie) ou dans les réseaux de distribution de gaz naturel (projet d'article L. 432-14 du code de l'énergie), les gestionnaires de ces réseaux doivent mettre en œuvre les dispositions nécessaires pour assurer le bon fonctionnement et l'équilibrage des réseaux, la continuité du service d'acheminement et de livraison du gaz naturel et la sécurité des biens et des personnes.

¹ Le I. de l'article L. 100-4 du code de l'énergie dispose que : « Pour répondre à l'urgence écologique et climatique, la politique énergétique nationale a pour objectifs : [...] 10° De développer l'hydrogène bas-carbone et renouvelable et ses usages industriel, énergétique et pour la mobilité, avec la perspective d'atteindre environ 20 à 40 % des consommations totales d'hydrogène et d'hydrogène industriel à l'horizon 2030.

Enfin, le projet d'ordonnance prévoit une modification de l'article L. 211-2 du code minier visant à étendre à l'hydrogène le régime juridique applicable au stockage souterrain de gaz naturel et d'hydrocarbures, ainsi que les pouvoirs d'enquête et de contrôle des fonctionnaires ou agents placés sous l'autorité du ministre chargé de l'énergie prévus par l'article L. 142-19 du code de l'énergie.

3. ANALYSE DE LA CRE

La France s'est fixé l'objectif de « développer l'hydrogène bas carbone et renouvelable et ses usages industriel, énergétique et pour la mobilité, avec la perspective d'atteindre environ 20 à 40 % des consommations totales d'hydrogène et d'hydrogène industriel à l'horizon 2030 »². Pour atteindre cet objectif, l'État prévoit de se doter d'un « cadre de soutien applicable à l'hydrogène produit à partir d'énergie renouvelable ou par électrolyse de l'eau à l'aide d'électricité bas carbone »³.

La CRE à travers son Comité de prospective a lancé une réflexion sur le vecteur hydrogène dont les résultats seront rendus publics au printemps 2021. À ce stade de ses analyses, elle considère que l'hydrogène peut être une solution structurante de décarbonation : l'hydrogène bas-carbone peut dès aujourd'hui se substituer à l'usage d'hydrogène majoritairement fossile utilisé dans l'industrie⁴. À moyen terme, il pourrait être un des vecteurs de décarbonation du secteur des transports lourds. Au-delà de 2030 ou 2035 seulement, il pourrait contribuer à la bonne intégration des énergies renouvelables variables dans le système électrique.

Cependant, les coûts de production de l'hydrogène produit par électrolyse sont aujourd'hui très supérieurs au coût de production d'hydrogène d'origine fossile produit par la technologie traditionnelle, de vaporeformage ou reformage à la vapeur⁵ du gaz naturel qui engendre des émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère (de l'ordre de 10 kg de CO₂ émis par kg d'H₂ produit). Les unités d'électrolyse étant de plus par nature très intensives en investissement, leur durée d'utilisation annuelle est un facteur dimensionnant des coûts de production.

En l'absence d'un signal fort de prix du CO₂ qui permettrait de rendre la production d'hydrogène décarbonée compétitive par rapport à une production émettrice de gaz à effets de serre, un soutien public est nécessaire pour le déploiement de l'hydrogène renouvelable et bas-carbone.

3.1 Sur la définition des différents types d'hydrogène

L'hydrogène produit par électrolyse n'est aujourd'hui pas compétitif et a besoin d'un soutien public pour se développer. La seule raison justifiant ce soutien public est l'objectif de décarbonation, qui peut être atteint quelle que soit la source de production d'électricité décarbonée.

De ce point de vue, il n'existe aucune raison de distinguer entre l'hydrogène renouvelable et l'hydrogène bas-carbone. La CRE considère que l'hydrogène renouvelable peut avoir de l'intérêt à long terme et pour certaines applications, mais que le soutien public doit porter en priorité sur l'objectif premier de décarbonation de l'hydrogène.

En outre, le développement des énergies renouvelables dispose déjà d'un cadre législatif très abondant permettant de soutenir les filières électriques, gazières et thermiques. La CRE n'est donc pas favorable à la mise en place d'un nouveau mécanisme de soutien aux énergies renouvelables à partir de l'hydrogène, distinct de celui de l'hydrogène bas-carbone.

L'objectif principal de décarbonation de l'hydrogène peut tout aussi bien être atteint avec de l'électricité nucléaire, qu'avec de l'électricité produite avec des énergies de source renouvelable.

3.2 Sur la mise en place de garanties de production de l'hydrogène

La distinction entre les deux types de garanties de production d'hydrogène : garanties de traçabilité et garanties d'origine, est une source de complexité, pouvant générer des coûts accrus de gestion du mécanisme.

² Article L. 100-4 du code de l'énergie, modifié par l'article 1^{er} de la loi du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat.

³ Article 52 de la loi du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat.

⁴ L'hydrogène représente actuellement 11,5 Mt de CO₂, soit 3 % des émissions françaises.

⁵ Le vaporeformage ou reformage à la vapeur consiste à transformer les charges légères d'hydrocarbures en gaz de synthèse (mélange H₂, CO, CO₂, CH₄ et H₂O) par réaction avec la vapeur d'eau sur un catalyseur au nickel. Cette transformation a lieu à haute température (840 à 920 °C) et à pression modérée (de l'ordre de 20 à 30 bars).

La CRE s'interroge sur les rôles respectifs des deux types de garanties de production et note le caractère potentiellement résiduel des garanties de traçabilité, compte tenu des deux points suivants :

- en application du second alinéa du projet d'article L. 841-3 du code de l'énergie, seules des garanties d'origine pourront être émises pour l'hydrogène produit par des installations disposant d'un soutien tel que prévu au projet de Titre V. Le volume de garanties de traçabilité est dès lors susceptible d'être réduit à une part minimale du volume total des garanties de production d'hydrogène ;
- le 3^{ème} alinéa du projet d'article L. 841-3 du code de l'énergie permet le transfert par l'État des garanties d'origine d'hydrogène à une commune sur laquelle est implantée une installation de production d'hydrogène « afin d'attester de l'origine renouvelable ou bas-carbone de sa propre consommation d'hydrogène ».

La CRE relève que les garanties d'origine transférées dans ce cadre ne permettront pas, en conséquence, d'attester de la consommation de cet hydrogène par la commune dès lors qu'elles ne constitueront pas des garanties de traçabilité au sens du second alinéa du projet d'article L. 841-1 du code de l'énergie.

3.3 Sur le soutien à l'hydrogène renouvelable et bas-carbone produit par électrolyse

La CRE préconise, en règle générale, la mise en concurrence par appel d'offres pour les filières matures, lesquelles réunissent les conditions nécessaires au bon fonctionnement d'un appel d'offres :

- un nombre de projets candidats suffisant par rapport aux objectifs fixés, permettant de maintenir la pression concurrentielle et l'efficacité de l'appel d'offres ;
- une bonne connaissance des coûts et des conditions de fonctionnement des projets, permettant aux candidats de proposer le prix le plus juste (sans intégration de primes de risque élevées, notamment), et aux autorités de définir un cahier des charges et un mécanisme de soutien adaptés à la filière soutenue.

La CRE s'interroge quant à l'état de maturité de la filière hydrogène et sa capacité à répondre à ces prérequis. À défaut, une phase transitoire consistant en la mise en place de contrats de gré à gré permettant de s'adapter spécifiquement aux projets ciblés et d'ajuster la rémunération aux coûts effectivement supportés par les producteurs, pourrait être lancée.

Au surplus, la CRE souligne la nécessité d'établir des critères de recevabilité et de sélection des offres (prévus au IV du projet d'article L. 851-1 du code de l'énergie) objectifs, quantifiables et non-discriminatoires, et parmi lesquels le prix proposé par le candidat porterait un poids prépondérant. La CRE est favorable à l'introduction de critères additionnels, tels que des critères environnementaux, dès lors que ceux-ci répondent aux qualificatifs ci-dessus. De plus, et compte-tenu de la diversité des débouchés pouvant être envisagés pour l'hydrogène produit (utilisation dans des procédés chimiques, dans la mobilité, injection dans les infrastructures de gaz naturel), ces appels d'offres pourraient être mis en œuvre au regard des usages de l'hydrogène produit.

S'agissant de la mise en place d'un contrat de soutien aux installations de production, la CRE privilégie un système de rémunération dépendant de la quantité d'énergie effectivement produite, plutôt qu'une aide à l'investissement. En effet, une rémunération fonction de l'énergie produite et délivrée intègre une incitation efficace à la mise en œuvre, puis à la productivité, des projets soutenus.

Enfin, le projet d'article L. 851-2 du code de l'énergie prévoit que la CRE rende un avis sur les « conditions du complément de rémunération » dont bénéficieront les lauréats des appels d'offres qui seront ensuite arrêtés par les ministres chargés de l'énergie et de l'économie. La CRE considère qu'il serait également pertinent qu'elle se prononce sur l'ensemble du cadre de soutien et recommande par conséquent d'être saisie pour avis sur le décret en Conseil d'État prévu dans le projet d'article L. 851-6 du code de l'énergie.

3.4 Sur l'injection d'hydrogène dans les infrastructures de gaz naturel

3.4.1 Sur les garanties d'origine de l'hydrogène injecté dans les réseaux de gaz naturel

Le 4[°] du I du projet d'article 2 propose d'ajouter une section 2 sur « Les garanties d'origine de gaz renouvelable injecté dans le réseau de gaz naturel », qui permettra la mise en place de garanties d'origine pour le gaz renouvelable uniquement utilisées pour l'hydrogène renouvelable injecté dans le réseau de gaz naturel.

La CRE considère que l'hydrogène bas-carbone devrait, comme l'hydrogène renouvelable, bénéficier de garanties d'origine lorsqu'il est injecté dans les réseaux de gaz naturel.

3.4.2 Sur l'injection d'hydrogène dans les infrastructures de gaz naturel

3.4.2.1 La CRE approuve les conditions de raccordement aux infrastructures de gaz naturel des installations injectant de l'hydrogène

L'hydrogène produit n'étant pas nécessairement consommé sur le site de production, deux options, outre le transport par camion, sont, en théorie, possibles pour déplacer tout ou partie de la production vers le lieu de consommation :

- l'injection dans les infrastructures dédiées à l'acheminement et au stockage de l'hydrogène : réseaux existants sur les sites industriels ou les zones côtières, ou réseaux anciennement dédiés aux hydrocarbures (gaz naturel notamment) convertis pour ce nouvel usage ;
- l'injection de l'hydrogène en mélange au sein des infrastructures existantes de gaz naturel.

Pour ce second cas de figure, l'article 49 de la loi du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat a modifié l'article L. 111-97 du code de l'énergie pour étendre le droit d'accès aux réseaux de transport et de distribution de gaz naturel à l'hydrogène bas carbone et aux gaz de récupération. Il précise en effet que « [s]ous réserve de préserver le bon fonctionnement et le niveau de sécurité des infrastructures de gaz naturel, un droit d'accès aux ouvrages de transport et de distribution de gaz naturel [...] est garanti par les opérateurs qui les exploitent aux clients, aux producteurs de gaz renouvelables, d'hydrogène bas-carbone et de gaz de récupération ainsi qu'aux fournisseurs et à leurs mandataires, dans des conditions définies par contrat.

Lorsque l'opérateur et l'utilisateur ne sont pas des personnes morales distinctes, des protocoles règlent leurs relations. Ces contrats et ces protocoles sont transmis, à sa demande, à la Commission de régulation de l'énergie ».

La CRE rappelle que le raccordement des installations de production d'hydrogène aux réseaux de transport et de distribution de gaz naturel, ainsi que ses possibles conséquences sur l'activité et les investissements des opérateurs, fait l'objet de procédures approuvées par la CRE.

En effet, les articles L. 453-2 et L. 453-6 du code de l'énergie prévoient que la CRE approuve les conditions de raccordement au réseau de distribution de gaz et au réseau de transport de gaz.

3.4.2.2 L'injection d'hydrogène dans les réseaux de transport et de distribution de gaz naturel doit préserver le bon fonctionnement et la sécurité de ces derniers

La CRE accueille favorablement les dispositions prévues par le projet d'ordonnance qui visent à étendre les missions des gestionnaires de réseaux de gaz naturel, afin que ceux-ci permettent l'injection d'hydrogène dans le respect des conditions de sécurité des biens et des personnes et mettent en œuvre les dispositions nécessaires pour assurer le bon fonctionnement et l'équilibrage des réseaux dans le strict respect des prescriptions techniques en vigueur.

Du fait du caractère explosif et corrosif de l'hydrogène, son injection dans les réseaux et les infrastructures de gaz naturel doit faire l'objet d'une attention particulière pour prévenir les utilisateurs des réseaux et les infrastructures contre tout risque relatif à la sécurité. Les spécifications techniques des opérateurs d'infrastructures de gaz naturel prévoient aujourd'hui une teneur maximale admissible normative de 6 % d'hydrogène en volume⁶, soit environ 2 % en énergie.

⁶ Les caractéristiques physico-chimiques requises pour l'injection de gaz assimilé dans les réseaux de gaz naturel sont disponibles dans les documents suivants :

- pour GRTgaz, dans le Code opérationnel de réseau, à l'adresse suivante : http://www.grtgaz.com/fileadmin/clients/fournisseurs/documents/fr/FR_A2-01-04-2018.pdf

- pour Teréga, dans les Prescriptions techniques applicables au raccordement d'un ouvrage tiers au réseau de transport de gaz naturel, à l'adresse suivante : https://www2.terega.fr/fileadmin/R%C3%A9glementation/Prescriptions_techniques/Prescriptions_techniques_Transport_2017.pdf

- pour GRDF, dans les Prescriptions techniques du distributeur, à l'adresse suivante : https://www.grdf.fr/documents/10184/3448557/Prescriptions_techniques_GRDF.pdf/684f33b5-0ee1-4c73-8324-a1eab7e5d418

Cependant, d'après le rapport des gestionnaires de réseaux de transport français concernant les conditions techniques et économiques d'injection d'hydrogène dans les réseaux de gaz naturel publié en juin 2019⁷, les volumes d'hydrogène injectables en mélange dans les infrastructures de gaz naturel dépendent des zones concernées et d'un certain nombre de paramètres comme la nature des canalisations et des équipements, la capacité à diluer les quantités injectées et la typologie des clients raccordés à l'aval du point d'injection, plus ou moins sensibles à la qualité du gaz. L'ensemble de ces paramètres pourrait ainsi impliquer une capacité d'accueil de l'hydrogène localement inférieure à 6 %.

En outre, compte tenu de l'hétérogénéité des situations concernant la capacité des réseaux de gaz naturel à accueillir de l'hydrogène, la CRE accueille favorablement la modification de l'article L. 452-4 du code de l'énergie permettant à l'autorité administrative de faire procéder à une tierce expertise, dans l'objectif de préciser ces spécifications techniques.

De façon plus générale, si dans un premier temps, l'utilisation des réseaux industriels d'hydrogène existants et potentiellement de l'injection en mélange dans les réseaux de gaz naturel pourront offrir des débouchés immédiats à la production décentralisée basée sur de l'électricité d'origine renouvelable, le développement d'infrastructures dédiées ou la conversion de certaines infrastructures gazières existantes devra faire l'objet d'études économiques en fonction du marché spécifique et de la situation du réseau.

En effet, en fonction, d'une part, du taux de mélange et, d'autre part, de l'implantation géographique des sites d'injection, un certain nombre d'adaptations et de renforcements des infrastructures gazières, voire des équipements des utilisateurs seront nécessaires.

⁷Le rapport final de juin 2019, sur les conditions techniques et économiques d'injection d'hydrogène dans les réseaux de gaz naturel est disponible à l'adresse suivante : <http://www.ertgaz.com/fileadmin/plaquettes/fr/2019/Conditions-techniques-economiques-injection-hydrogene-reseaux-gaz-rapport-2019.pdf>

AVIS DE LA CRE

L'article 52 de la loi du 8 novembre 2019 *relative à l'énergie et au climat* autorise le Gouvernement à prendre par voie d'ordonnance « toute mesure relevant du domaine de la loi afin :

- 1° De définir la terminologie des différents types d'hydrogène en fonction de la source d'énergie utilisée pour sa production ;
- 2° De permettre la production, le transport, le stockage et la traçabilité de l'hydrogène ;
- 3° De définir un cadre de soutien applicable à l'hydrogène produit à partir d'énergie renouvelable ou par électrolyse de l'eau à l'aide d'électricité bas-carbone ».

La Commission de régulation de l'énergie (CRE) a été saisie, le 13 août 2020, par la ministre de la transition écologique, d'un projet d'ordonnance *relative à l'hydrogène, prise en application de l'article 52 de la loi n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat*.

La CRE prend acte du projet d'ordonnance, qui reprend la distinction entre l'hydrogène renouvelable et l'hydrogène bas-carbone créée par la loi relative à l'énergie et au climat, alors que ces deux catégories contribueront de la même manière à l'objectif poursuivi, qui est la décarbonation de l'hydrogène.

Toutefois, la CRE considère que l'hydrogène renouvelable peut avoir de l'intérêt à long terme et pour certaines applications, mais que le soutien public doit porter en priorité sur l'objectif premier de décarbonation de l'hydrogène.

Au-delà de cette position de principe, la CRE :

- s'interroge quant à l'état de maturité de la filière hydrogène et la pertinence d'organiser dès à présent un soutien sous la forme d'appel d'offres (*projet d'article L. 851-1 du code de l'énergie*). À défaut, une phase transitoire consistant en la mise en place de contrats de gré à gré permettant de s'adapter spécifiquement aux projets ciblés et d'ajuster la rémunération aux coûts effectivement supportés par les producteurs, pourrait être lancée ;
- souligne la nécessité d'établir des critères de recevabilité et de sélection des offres (*projet d'article L. 851-1 du code de l'énergie*) objectifs, quantifiables et non discriminatoires : parmi ces critères, la CRE recommande que le prix proposé par le candidat porte un poids prépondérant, et est favorable à l'introduction de critères additionnels, tels que des critères environnementaux ;
- considère qu'il serait également pertinent qu'elle se prononce sur l'ensemble du cadre de soutien et recommande par conséquent d'être saisie pour avis sur le décret en Conseil d'État prévu dans le projet d'article L. 851-6 du code de l'énergie ;
- considère que l'hydrogène bas-carbone devrait, comme l'hydrogène renouvelable, bénéficier de garanties d'origine lorsqu'il est injecté dans les réseaux de gaz naturel (*projet d'article L. 447-2 du code de l'énergie*).

La présente délibération sera publiée sur le site Internet de la CRE. Elle sera transmise au ministre de la transition écologique.

Délibéré à Paris, le 24 septembre 2020.

Pour la Commission de régulation de l'énergie,

Le Président.

Jean-François CARENCO