

Synthèse. Feuille de route sur l'hydrogène énergie et les piles à combustible

Le gaz dihydrogène (H₂), ou hydrogène, est aujourd'hui utilisé comme composant chimique dans des procédés industriels, principalement le raffinage et la production d'ammoniac. De nouveaux usages industriels pourraient être envisagés dans la sidérurgie et la production de biocarburants de seconde génération.

L'hydrogène peut aussi être utilisé dans de **nombreuses applications** en raison de son **fort potentiel énergétique** : il peut être converti en électricité, en chaleur ou en force motrice selon l'usage final. On parle d'« **hydrogène énergie** », objet de cette feuille de route qui évoque aussi les **piles à combustible**. Ces convertisseurs électrochimiques produisent électricité et chaleur pour des applications allant de l'électronique embarquée aux installations stationnaires industrielles (d'une puissance allant du watt au mégawatt), l'un des combustibles potentiels étant l'hydrogène. Les filières hydrogène énergie et piles à combustible, complémentaires, peuvent néanmoins se développer indépendamment l'une de l'autre.

Des potentialités énergétiques et environnementales

L'hydrogène peut être utilisé dans des **applications stationnaires** (cogénération¹, alimentation en chaleur et électricité de bâtiments ou quartiers en particulier à énergie positive², réseaux électriques intelligents³), des **applications mobiles** (véhicules à combustion interne propulsés à l'Hythane[®] – un gaz constitué de 20 % d'hydrogène et 80 % de gaz naturel – ou moyens de transport équipés de piles à combustible – bateau, train, avion, voiture électrique ou hybride⁴) en passant par des **applications de niche** (propulsion d'engins de manutention, groupes électriques pour sites isolés, groupes de secours, alimentation électrique d'objets nomades).

L'**hydrogène** n'existe pas à l'état naturel. Il **peut être produit** grâce à des procédés qui utilisent différentes **sources primaires, renouvelables ou non** : vaporeformage de gaz naturel, électrolyse de l'eau, gazéification et pyrolyse de la biomasse, décomposition thermochimique ou photochimique de l'eau, production biologique à partir d'algues ou de bactéries. Il doit ensuite être **transporté, stocké et distribué** vers l'utilisateur.

1 - Fourniture conjointe d'électricité et de chaleur. On distingue la micro-cogénération (quelques kilowatts), la moyenne cogénération (quelques dizaines à quelques centaines de kilowatts) et la cogénération de forte puissance (de l'ordre du mégawatt).

2 - Bâtiments ou îlots de bâtiments qui produisent plus d'énergie qu'ils n'en consomment.

3 - Ces réseaux optimisent production et distribution d'électricité grâce à des technologies de l'information et de la communication.

4 - Véhicule faisant appel à plusieurs sources d'énergie, en général thermique et électrique.

La flexibilité et la modularité de ce vecteur énergétique en font un candidat à de **nombreux usages énergétiques respectueux de l'environnement**. Les **enjeux** liés au déploiement de l'hydrogène et des piles à combustible sont **nombreux** : valorisation de ressources d'origine renouvelable, réduction des émissions de gaz à effet de serre liées aux usages diffus, réduction des nuisances grâce à des véhicules équipés de piles à combustible, amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments.

Quatre scénarios d'ici à 2050

Le groupe d'experts réunis par l'ADEME dans le cadre de cette feuille de route propose quatre visions ou scénarios extrêmes pour la filière hydrogène énergie et piles à combustible d'ici à 2050. Chacun se traduit par des infrastructures spécifiques, des interactions avec les autres filières énergétiques et des enjeux socio-économiques différents.

Deux scénarios privilégient les **usages industriels et la cogénération**. L'un suppose une **production massive et centralisée** « **d'hydrogène bas carbone** », autrement dit dont les émissions de gaz à effet de serre sont réduites voire nulles⁵ grâce à des avancées technologiques concernant notamment l'électrolyse et le captage, le stockage et la valorisation du CO₂ (CSCV). L'autre scénario privilégie une **production d'hydrogène décentralisée, à partir des seules sources d'origine renouvelable** (électricité renouvelable, biomasse, biogaz). Il conduit à un profond changement des stratégies d'approvisionnement des industriels et à la création de capacités de stockage près des sites de production ou de consommation.

Les deux autres scénarios privilégient des **usages diffus** tels que les transports, la micro et la moyenne cogénération, les objets nomades, les générateurs de secours, les groupes auxiliaires. Cette omniprésence de l'hydrogène dans la vie quotidienne nécessite une large adhésion de la société. L'un des scénarios envisage d'alimenter ces usages à partir d'une **production massive d'hydrogène bas carbone dans le cadre de réseaux nationaux** : le transport et la distribution de l'hydrogène s'opèrent via le réseau de gaz naturel (sous forme d'Hythane), des hydrogénoducs (canalisations dédiées au transport d'hydrogène), des moyens de transport routiers, ferroviaires ou fluviaux ainsi que des stations-service. L'autre scénario propose la mise en place d'une **économie locale de l'hydrogène sur tout le territoire français grâce à une production décentralisée**, proche des lieux d'utilisation, associée à des microréseaux de distribution urbains ou départementaux, aux boucles locales de gaz naturel, à des stations-service, à des moyens de production installés chez les particuliers et à des unités de stockage réparties un peu partout. Il nécessite une forte volonté politique et une appropriation des questions énergétiques au niveau local.

5 - L'hydrogène bas carbone est produit à partir d'électricité d'origine nucléaire, de sources d'énergies renouvelables ou par vaporeformage associé à une unité de CSCV.

Synthèse. Feuille de route sur l'hydrogène énergie et les piles à combustible

Les conditions d'un déploiement de ces filières

Les **principaux verrous technico-économiques** résident dans l'intégration des composants en systèmes et la mise au point de produits industrialisables à coûts maîtrisés : dans le domaine des piles, la levée de ces verrous passe tout particulièrement par l'optimisation de leur durabilité au regard des matériaux et de leur coût de fabrication. Une compréhension partagée des risques liés aux usages de l'hydrogène favorisera par ailleurs la définition **d'un cadre réglementaire adapté et l'acceptabilité sociétale** de ces nouvelles technologies. Le déploiement d'une filière hydrogène nécessite enfin des **investissements relativement lourds**, tant pour la production, la distribution que le stockage de l'hydrogène : ceux-ci supposent un engagement d'acteurs industriels et une maîtrise du risque économique par le soutien des pouvoirs publics.

Les experts ont identifié **quatre axes stratégiques de développement à moyen terme (2020)**, autant d'avancées technologiques qui conditionneront le déploiement de ces filières d'ici à 2050 :

- le premier axe concerne les synergies entre le vecteur hydrogène et les énergies renouvelables, ou comment l'hydrogène énergie peut ouvrir de nouvelles voies de valorisation aux énergies renouvelables ;
- le deuxième vise l'intégration de ces technologies à la chaîne de traction électrique pour les usages mobiles, les piles et l'hydrogène permettant d'accroître l'autonomie et de diminuer le temps de recharge des véhicules électriques ;

- les applications au service de la ville durable dans les éco-quartiers et les réseaux énergétiques intelligents constituent le troisième axe stratégique ;
- le quatrième concerne enfin la conquête de marchés internationaux pour les applications précoces telles le secours électrique et la mobilité hors route.

En découlent des **priorités de recherche et des besoins de démonstrateurs de recherche et préindustriels stratégiques**. Ils concernent notamment :

- l'ensemble des procédés de production d'hydrogène,
- les technologies de piles à combustible PEMFC⁶,
- la micro-cogénération et la moyenne cogénération SOFC⁷,
- les moyens de stockage embarqué dans les transports,
- la faisabilité des réseaux énergétiques intelligents et l'injection d'hydrogène dans le réseau de gaz naturel
- les modèles et scénarios économiques, d'une part pour la production et la valorisation d'hydrogène renouvelable, d'autre part pour le déploiement d'une infrastructure française pour l'automobile,
- les mécanismes de soutien à ces filières.

La phase de démonstration s'avère tout particulièrement stratégique pour ces technologies : elle permettra de tester leur faisabilité et leurs potentialités en conditions d'usage, préalable nécessaire à leur déploiement futur.

6 - PEMFC : Proton Exchange Membrane Fuel Cell

7 - SOFC : Solid Oxide Fuel Cell

