

De l'hydrogène vert pour la décarbonation

Le rôle de l'hydrogène issu d'électrolyse dans le cadre de la décarbonation des procédés industriels

Résumé de la présentation à la « SEII » - Octobre 24, 2025 par Ir. Raphaël TILOT, Managing Director of John Cockerill Hydrogen

Le déploiement d'unités de production d'hydrogène décarboné rend possible la décarbonation d'activités difficiles à décarboner : transport maritime, aviation, chimie, acier... Deux types de marchés majeurs offrent des opportunités considérables : (1) la matière première pour les industries difficiles à décarboner. (2) le remplacement l'hydrogène "gris" ^[1] dans les processus existants (ex : le raffinage du pétrole). Ce remplacement constituera l'utilisation prioritaire de l'hydrogène "vert" à court terme. Parmi ces utilisations, figurent les procédés « power-to fuel » de production de e- méthanol et de e-méthane (incorporant du Carbone issu de CO2 capté à partir de processus industriels), et d' e-ammoniac.

La production

L'hydrogène vert est produit par électrolyse de l'eau, dans un milieu à forte concentration en hydroxyde de potassium dans le cas de l' "électrolyse alcaline", sur base d'électricité décarbonée. L'hydroxyde de potassium circule en boucle en étant récupéré par séparation en aval de l'électrolyse.

Les électrolyseurs constituent donc un équipement essentiel pour produire cet hydrogène décarboné. Aujourd'hui, l'hydrogène décarboné est généralement produit à l'aide de l'une des quatre technologies suivantes : électrolyse alcaline, à membrane d'échange de protons (PEM), à oxyde solide (solid oxide electrolyzer cell - SOEC) et à membrane échangeuse d'anions (AEM).

Les plus courants : Parmi ces 4 technologies, l'électrolyse à oxydes solides (SOEC) et celle à membrane échangeuse d'anions (AEM) sont les plus récentes et encore peu matures sur le marché. Les électrolyseurs alcalins et à membrane d'échange de protons sont donc les technologies de premier plan.

Les électrolyseurs alcalins, les plus répandus aujourd'hui, le resteront probablement dans les années à venir, et représentent entre 70 et 90 % des livraisons annuelles d'électrolyseurs dans le monde. À noter qu'en ce qui concerne la résilience aux intermittences électriques, les PEM ont des taux de montée en puissance et de dégradation nettement supérieurs aux électrolyseurs alcalins non-pressurisés.

Quant à eux, Les électrolyseurs alcalins pressurisés de nouvelle génération (appelés aussi alcalins 2.0) offrent les mêmes avantages que les alcalins, plus certaines caractéristiques innovantes intéressantes : produits également sans matériaux nobles ou rares, à réactivité accrue pour répondre à des demandes d'énergie variables, et dans lesquels l'hydrogène est produit sous pression.

Les coûts

En ce qui concerne les coûts, on peut estimer que l'hydrogène décarboné pourra concurrencer l'hydrogène "gris" dans les années 35, dans les pays où le mix énergétique permet les coûts électriques décarbonées raisonnables .

On peut d'ores et déjà modéliser l'augmentation du coût de divers produits et services en cas de décarbonation de certaines de leurs composantes. Deux exemples : un vol Bruxelles-New York utilisant du fuel à 50% de e-SAF (Sustainable Aviation Fuel produit à partir d'hydrogène vert) verra son coût augmenter de 60 % et son impact CO2 diminuer de 40 %, compte non tenu de l'impact de l'European Trading Scheme-. Autre exemple (non plus sur un combustible mais sur un composant du produit fini) : une voiture comprenant 900 kg d'acier décarboné (au lieu d'acier standard) verra son impact CO2 à la production diminuer de 21 %, pour un surcoût marginal de production de la voiture (+0,5%).

Des plateformes d'échange en Belgique

Il faut noter que la Belgique, en tant que pays dense en industries variées, offre des possibilités multiples de synergies en matière de décarbonation et d'hydrogène vert.

En Flandres, Le "Waterstof Industrie Cluster" est un partenariat qui réunit entreprises, instituts de recherche, et autorités en vue du développement de projets impliquant l'hydrogène comme moyen de stockage d'énergie (mobilité, chauffage ou des applications industrielles). Le cluster a été créé dans le cadre de l'étude de la feuille de route « power-to-gas » pour la Flandre avec le soutien de VLAIO (Flanders Innovation and Entrepreneurship). Initialement composé d'environ 20 entreprises, il en compte plus de 150 provenant de tous les maillons de la chaîne de valeur de l'hydrogène, notamment d'organisations impliquées dans la production d'énergie verte (production d'hydrogène, transport et stockage, utilisation).

Le "H2Hub Wallonia", son équivalent, a pour objectif de donner accès à une des initiatives H2 en Wallonie, en Belgique et à l'étranger (cartographie des projets, Veille technologique - innovation - marché, réunions de mise en réseau)

Les axes de R&D chez John Cockerill

John Cockerill Hydrogen est parmi les leaders de solutions de production d'hydrogène vert à grande échelle. Les axes de R&D en vue d'accroître la faisabilité industrielle sont les suivantes :

- capex réduits et scale-up (augmentation de la densité de courant, moindre utilisation de matériaux critiques, simplification des designs (réduction du nombre de pièces);
- efficience augmentée : voltage des cellules réduits, diminution des courants de fuite, meilleur design des cellules, plus grande pression d'exploitation ;
- durabilité : compréhension et modélisation des mécanismes, stress tests plus rapides, tests à l'échelle industrielle, stratégies de mitigation ;
- design amélioré dans une perspective d'exploitation intermittente : améliorer l'opérabilité (turn down minimum, taux de ramp-up, temps de démarrage), travail en contrôle différentiel de pression, développement du "digital twin of electrolyser", adaptation des topologies en vue d'une utilisation optimale des sources renouvelables ;
- augmentation de la taille des piles de cellules (stacks).

Développements industriels

On assiste actuellement à des investissements importants dans les unités de production d'hydrogène décarboné, multipliés par 8 entre 2020 et 2024 dans le monde. Ceci pousse bien entendu la demande d'électrolyseurs à un niveau jamais connu auparavant, avec une croissance attendue de la capacité mondiale de 4,4 Gigawatts en 2024 à 95,4 GW en 2030.

Parmi ses projets mondiaux, l'entreprise John Cockerill Hydrogen mène en Europe un projet de construction d'une unité de taille intermédiaire, en Belgique, (25MW – avec une capacité de production d'hydrogène de 14000 tonnes/an : HyOffWind avec Virya Energy, Messer et Besix) pour la mobilité, la demande industrielle, le réseau de gaz naturel et l'équilibrage du réseau, et un projet à échelle plus réduite, en France (2,5 MW H2 à Metz : avec le fournisseur d'électricité et de gaz UEM et Eurométropole Metz) en vue de faire rouler des bus et autres véhicules. Par ailleurs, John Cockerill produit actuellement 640MW d'électrolyseurs pour un projet de production d'ammoniac vert localisé en Inde.
