

Le fonctionnement d'un électrolyseur



Comment fonctionne un électrolyseur ?

Qu'est-ce que le dihydrogène ?

Le dihydrogène est un gaz composé de deux atomes d'hydrogène. **Le terme "hydrogène" est utilisé dans le langage courant pour qualifier le dihydrogène.**

Bien qu'étant constitué de l'élément chimique le plus abondant de l'univers, l'hydrogène, le gaz de dihydrogène est pourtant presque inexistant naturellement sur Terre.

Il convient donc de le produire artificiellement, et cela peut se faire via plusieurs méthodes.

Comme l'électricité et la chaleur, il est un vecteur énergétique très prometteur dans le cadre de la transition énergétique. Utilisé sous sa forme gazeuse, il est inflammable et n'émet pas de CO₂ lors de sa combustion.

La production d'hydrogène

Plusieurs méthodes existent pour produire de l'hydrogène :

- **Le vaporeformage** : c'est la dissociation et le réassemblage des atomes du méthane (CH₄) sous l'effet de la chaleur de la vapeur d'eau pour former du dioxyde de carbone (CO₂) et du dihydrogène (H₂). C'est la méthode la plus couramment utilisée.
- **La gazéification du charbon de bois** : technique basée sur la combustion du bois à très haute température, elle permet la libération de gaz qui se séparent et se reforment, conduisant ainsi à l'obtention de dihydrogène (H₂) et de monoxyde de carbone (CO).
- **L'électrolyse de l'eau** : le passage d'un courant électrique dans l'eau (H₂O) la décompose en dioxygène (O₂) et dihydrogène (H₂), sans émission d'éléments carbonés. Aujourd'hui très minoritaire, cette technique est pourtant particulièrement intéressante dans le cadre de la transition énergétique, dès lors que l'électricité employée est renouvelable.

L'électrolyseur est donc un véritable atout pour convertir une énergie intermittente issue des sources renouvelables, comme le solaire photovoltaïque, en énergie stockable, décarbonée et utilisable à la demande.

L'eau utilisée est d'abord purifiée (on parle de déionisation) puis soumise à un courant électrique pour former du dioxygène et du dihydrogène. D'abord compressé, le gaz est ensuite purifié avant d'être transporté et distribué aux consommateurs. **L'électrolyseur ne rejette ainsi aucun polluant.**

La déionisation de l'eau

L'eau destinée à l'électrolyse est préalablement déionisée afin d'en extraire les ions calcium, magnésium, chlorure et sodium. Cette déionisation est opérée par osmose inverse, qui est un système de purification via un filtrage très fin qui ne laisse passer que les molécules d'eau.

L'eau introduite doit être la plus pure possible car les impuretés risquent de demeurer dans les équipements et s'accumuler au fil de l'électrolyse, perturbant à la fin les réactions électrolytiques par la formation de boues ou la réaction des ions chlorure sur les électrodes. Ainsi, il est important d'obtenir une eau avec une conductivité ionique faible pour favoriser la réaction d'électrolyse.

Les impuretés extraites sont ainsi réinjectées dans une partie de l'eau qui ne sera pas utilisée dans le processus, tandis que la partie de l'eau déionisée est acheminée vers le module d'électrolyse.

Zoom sur la sécurité

Les sites de production et de distribution d'hydrogène répondent à des critères très stricts en matière de sécurité : ce sont des **Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE)**. Cinq normes ICPE encadrent ainsi leurs activités pour limiter les risques (ICPE 1416 ; 1630 ; 3420 ; 4715 et 4725).

Par exemple, du fait de son diamètre minimal et de sa très faible masse, l'hydrogène est particulièrement sujet aux fuites lorsqu'il est à l'état gazeux ou même liquide. De par sa faible viscosité, son taux de fuite à l'état liquide est par exemple 50 fois supérieur à celui de l'eau et 10 fois supérieur à celui de l'azote liquide. Ainsi une attention toute particulière doit être portée aux installations, notamment sur les vannes d'isolement, les raccordements et le mode de serrage de ces équipements.

L'électrolyse

Le rôle de la cuve de l'électrolyseur est de **dissocier les atomes de la molécule d'eau afin d'en extraire les atomes d'hydrogène et d'oxygène**. La formule de la décomposition de l'eau par électrolyse s'écrit comme suit :



Cette décomposition nécessite un apport d'énergie électrique, généralement compris entre 4 et 5 kWh par **normo mètre cubes*** d'hydrogène, qui alimente une cellule constituée de deux électrodes. L'anode (la borne positive) et la cathode (la borne négative) sont reliées à un courant continu, et séparées par un électrolyte (milieu conducteur ionique), par exemple une solution aqueuse.

Une **unité de stockage tampon** en aval de l'unité de production par électrolyse vise ensuite à stocker temporairement l'hydrogène produit, en amont de sa compression. Celle-ci inclut de nombreux éléments de contrôle (pression, volume) et de sécurité (valves, capteurs) afin de permettre un suivi adapté du gaz. Ce stockage a pour objectif de réguler le flux d'hydrogène en sortie d'électrolyse et d'alimenter les compresseurs de la station de stockage.

L'oxygène produit peut quant à lui être évacué, c'est-à-dire dispersé dans l'air, ou valorisé via compression en bouteille pour un usage futur.

La compression

Le flux d'hydrogène gazeux produit est acheminé vers **l'unité de compression**, dotée de plusieurs compresseurs fonctionnant en parallèle. Le gaz produit par le procédé

d'électrolyse est initialement à pression atmosphérique et doit être comprimé à 330 bars avant d'être purifié. Les technologies de compression varient selon les installations et selon la compression souhaitée. Plusieurs techniques de compression peuvent être utilisées, telles que la compression à piston ou celle membranaire.

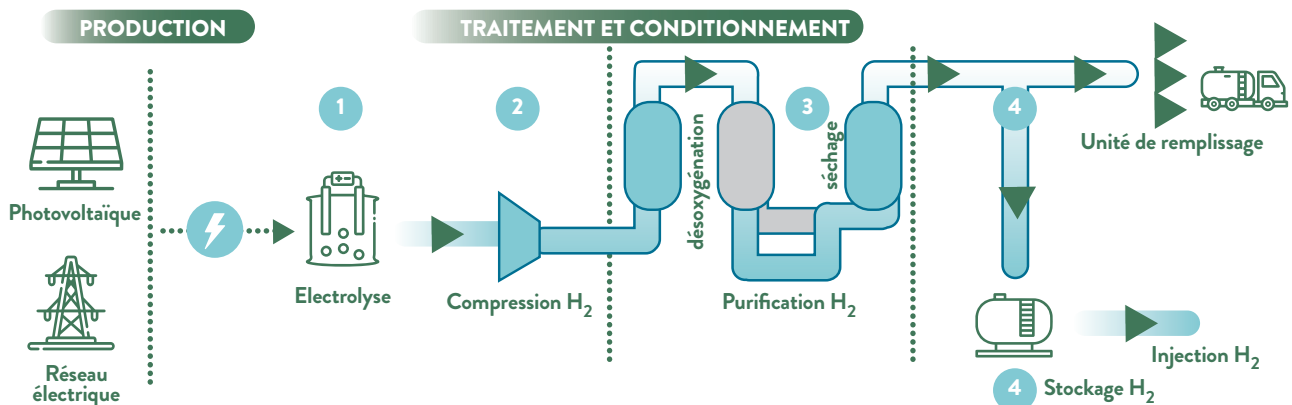
La purification

En sortie d'électrolyseur, le flux d'hydrogène est chargé en eau et en oxygène. Il doit donc être purifié afin d'atteindre un niveau de pureté de 99,999 %, et ce avec une teneur maximale de 5ppm en oxygène et de 5ppm en eau (ppm : partie par million, qui équivaut à un millionième). Cela correspond aux standards de la norme ISO 14786-2.

L'unité de purification nécessaire au traitement du flux d'hydrogène est principalement composée d'un réacteur catalytique (désoxydant) dédié au traitement de l'oxygène et d'un système de séchage du gaz constitué de colonnes permettant l'absorption de l'eau.

Le stockage et le transport

La production peut ensuite être **distribuée sur place, stockée, ou transportée sur un autre site de distribution**. Dans le premier cas, il est donc nécessaire d'installer une station de distribution adossée à l'unité de production. Dans le cas du transport, il faut mettre en place une unité de remplissage de camions de ravitaillement, qui transportent l'hydrogène comprimé dans des tubes généralement entre 200 et 300 bars. Ces "tubes trailers" acheminent ensuite l'hydrogène produit vers les différents lieux de distribution pour de la mobilité ou de la consommation industrielle.



Le saviez-vous ?

On appelle généralement par simplification "hydrogène" le gaz de composition chimique H₂, soit l'association stable de deux atomes d'hydrogène. Il s'agit donc chimiquement de **dihydrogène**. Lorsqu'il est produit via des énergies carbonées, **on le qualifie de gris, et de vert** lorsqu'il est issu d'énergies renouvelables.