

Hydrogène et mobilité: pour un développement en sécurité

Risques et accidentologie. Pour parvenir aux objectifs de neutralité carbone en 2050 que s'est fixé le Gouvernement, l'une des solutions est le développement de l'hydrogène renouvelable. Mais attention aux risques liés aux propriétés de l'hydrogène. Déjà 377 événements ont été recensés dans la base Aria du Barpi, toutes industries confondues.

Les objectifs de la France. La France vise la neutralité carbone en 2050¹ en réduisant de 81 % ses émissions atmosphériques par rapport à 2015. Pour les dix prochaines années, le Gouvernement a d'ores et déjà défini sa trajectoire *via* la programmation pluriannuelle de l'énergie² (PPE). Parmi les objectifs fixés, figure le développement de la production de dihydrogène³ (H₂) renouvelable⁴ et bas-carbone⁴ dans les usages industriels, énergétiques et pour la mobilité.

Plusieurs appels à projets ont déjà été lancés dans le cadre de la stratégie nationale hydrogène par le ministère de l'Économie, des Finances et de la Relance, notamment l'appel à projets « Écosystèmes territoriaux hydrogène » de l'Ademe qui accompagne les déploiements d'écosystèmes hydrogène dans les territoires. Au niveau européen, à l'instar des batteries, un projet important d'intérêt commun sur l'hydrogène est en construction.

Depuis les années 2000, et exceptées les périodes liées à la pandémie de Covid-19, le transport représente environ 30 % de la consommation énergétique primaire française⁵ et reste très marqué par le recours aux produits pétroliers. Même si des projets de mobilité ayant recours à l'hydrogène ont déjà vu le jour, les 900 kt d'hydrogène produits en France par an, *via* 95 % de combustibles fossiles, sont largement destinées au secteur industriel (désulfuration de carburants pétroliers, synthèse d'ammoniac, production de méthanol...). Les objectifs visés par la PPE, d'ici 2028, visent à incorporer 20 à 40 % d'hydrogène renouvelable ou bas-carbone dans l'hydrogène industriel.

Les industriels français misent sur le procédé de l'électrolyse de l'eau pour produire cet hydrogène renouvelable ou bas-carbone, faiblement émetteur de CO₂, à partir d'électricité renouvelable ou bas-carbone. La France se fixe ainsi un objectif de 6,5 GW d'électrolyseurs installés en 2030. Cette production d'hydrogène renouvelable ou bas-carbone locale vise principalement à déployer et alimenter des écosystèmes territoriaux de mobilité hydrogène. L'appel à projet précédemment cité porté par l'Ademe vise à faire émerger les infrastructures de production d'hydrogène renouvelable ou bas-carbone. Cet appel est doté, à date, de 275 M€ pour la période 2021-2023. Dix-neuf écosystèmes sont déjà en déploiement et sept projets ont été présélectionnés à la clôture du 16 mars 2021 du nouvel appel à projets.



Si encore peu de constructeurs automobiles commercialisent des voitures roulant à l'hydrogène, les projets s'intensifient sur les bus, à l'instar de Pau, Houdain et Versailles.

- 1) Loi n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat.
- 2) Décret n° 2020 456 du 21 avril 2020.
- 3) Dans la suite de l'article, la dénomination « dihydrogène » est volontairement abrégée en « hydrogène ».
- 4) Selon les définitions de l'ordonnance n° 2021-167 du 17 février 2021 relative à l'hydrogène.
- 5) Bilans énergétiques de la France – Ministère de la Transition écologique – www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr.



Jules Verne avait-il raison ?

« Oui, mes amis, je crois que l'eau sera un jour employée comme combustible, que l'hydrogène et l'oxygène qui la constituent, utilisés isolément ou simultanément, fourniront une source de chaleur et de lumière inépuisables et d'une intensité que la houille ne saurait avoir... Lorsque les gisements de houille seront épuisés, on chauffera et on se chauffera avec de l'eau. L'eau est le charbon de l'avenir. »

Jules Verne, *L'Île mystérieuse* (1875)

◀ **Portrait de Jules Verne par Félix Nadar.**

Développement des usages. En France les chariots élévateurs approvisionnés en hydrogène qui alimente une pile à combustible ont déjà fait leur apparition chez certains industriels depuis de nombreuses années. Pour le reste, si aujourd'hui peu de constructeurs automobiles commercialisent des voitures « légères », les projets s'intensifient sur les véhicules « lourds ». Plusieurs villes ont introduit l'hydrogène dans leur réseau de bus (Pau, Houdain, Versailles...), d'autres l'ont acté (Dijon, Montpellier, Auxerre, Toulon...).

Des camions seront bientôt mis en circulation dans le sud-est de la France grâce au projet de construction d'une station haute pression spécifique à Fos-sur-Mer. Le ferroviaire ne devrait pas être en reste, à la suite de l'annonce de la SNCF le 8 avril 2021 de la commande de quatorze trains régionaux à hydrogène, dont les premiers essais de circulation devraient avoir lieu en 2023. L'exploitation commerciale de trains similaires connaît un vif succès en Basse-Saxe allemande depuis 2018. Un an plus tôt, la Chine inaugurait le premier tramway alimenté à l'hydrogène au monde. De nombreuses annonces ont également été faites concernant le transport fluvial et maritime à hydrogène avec, comme fer de lance, le tour du monde réalisé par le bateau *Energy Observer*. Et que dire de l'avion à hydrogène dont le premier vol est annoncé pour 2035 ?

Des risques et des accidents. Le développement des technologies de production de l'hydrogène, ainsi que de nouveaux usages, représente une opportunité aussi bien d'accélération de la transition écologique que de création d'une filière industrielle. Son essor devra prendre en compte les avantages et les inconvénients des différentes filières de production au vu des émissions de CO₂ équivalent, du coût de production, de l'efficacité énergétique et du prix à la pompe. Si l'atteinte des différents objectifs nécessite une transformation en profondeur de la société, de l'économie et des comportements, elle ne doit pas faire oublier les risques liés à l'utilisation de l'hydrogène.

ACCIDENTS SURVENUS DANS LE MONDE EN 2019

Explosion d'un réservoir d'hydrogène dans un centre de recherche

Le 23 mai 2019 à Gangwon (Corée du Sud) - Aria n° 53902

Dans un centre de recherche situé à 240 km à l'est de Séoul, une explosion se produit dans un bâtiment spécialisé dans les piles à combustible à hydrogène.

L'explosion détruit les 5 100 m² du bâtiment et endommage les vitres et structures de deux autres bâtiments. Deux personnes décèdent, six autres sont blessées dont une est conduite à l'hôpital.

Les premières investigations indiquent que l'explosion serait survenue au niveau d'un des trois réservoirs d'hydrogène utilisé par cette entreprise, alors que des essais étaient en cours.



Explosion lors du remplissage d'un camion transportant des bouteilles d'hydrogène

Le 1^{er} juin 2019 à Santa Clara (États-Unis) - Aria n° 53903

Vers 16 h 30, une explosion, suivie d'un incendie, se produit dans une entreprise de production et stockage d'hydrogène. À leur arrivée, les pompiers constatent plusieurs camions stationnés en feu susceptibles de contenir de l'hydrogène liquide (citernes) ou gazeux (bouteilles). Ils demandent à ce que le quartier soit évacué ou que les personnes se confinent à leur domicile. L'incendie est circonscrit en 1 heure 10. Aucune infrastructure extérieure au site industriel n'est atteinte. Les pompiers utilisent des caméras thermiques et effectuent des prélèvements d'air afin de s'assurer qu'il n'y a plus de fuite d'hydrogène. Le poste d'emplacement est détruit. L'exploitant met hors de circulation sa flotte de camions de même technologie pour inspection.



Alors que la France affiche ses objectifs, le Bureau d'analyse des risques et pollutions industriels (Barpi) propose de revenir sur trois événements survenus dans le monde en 2019, chacun lors d'une étape clé du cycle de vie de l'hydrogène pour les usages de demain : production d'hydrogène renouvelable ou bas-carbone, acheminement et enfin usage *via* une station de distribution (lire encadré ci-dessous).

Que ce soit pour des industries aux procédés éprouvés ou pour des applications nouvelles comme la mobilité, les risques liés aux propriétés physico-chimiques de l'hydrogène restent inchangés. Concernant les procédés industriels, l'analyse de la base Aria de 377 événements⁶ (français ou étrangers) impliquant de l'hydrogène (produit ou généré accidentellement), en rappelle les dangers. Ainsi, 72 % des phénomènes engendrés sont des incendies et/ou explosions. 28 % concernent des fuites d'hydrogène non enflammées ou des contraintes engendrées par l'hydrogène sur les matériaux, sans conséquence humaine. Les incendies et/ou explosions sont souvent associés à des conséquences humaines. Ces phénomènes ont été identifiés dans 158 événements parmi les 251 événements répertoriés en France. 7 d'entre eux ont causé la mort d'au moins une personne et 46 des blessés. Outre la réglementation relative au stockage de l'hydrogène dans les installations classées pour la protection de

l'environnement (ICPE), la conception et l'exploitation des stations de distribution d'hydrogène sont encadrées par l'arrêté du 22 octobre 2018.

Les propriétés de l'hydrogène. L'hydrogène se distingue des autres gaz combustibles par plusieurs aspects, facilitant ou complexifiant la maîtrise des risques.

– **Promptitude à fuir.** Composée du plus petit atome de l'univers, plus léger que l'air, de faible viscosité et à grande perméation, la molécule d'H₂ possède tous les atouts pour s'échapper de son contenant. Si l'hydrogène pourra se disperser rapidement dans l'air libre, il est important de prévoir un système de détection adéquat et une circulation d'air naturelle ou mécanique afin d'éviter son accumulation dans les zones confinées. Les vannes d'isolement, joints, organes de raccordement et leur mode et couple de serrage doivent faire l'objet d'une attention particulière. L'hélium, inerte et à la taille moléculaire proche de celle de l'H₂, peut être utilisé pour tester l'étanchéité des installations.

– **Dégrade les métaux et les alliages.** La fragilisation et l'attaque par l'hydrogène peuvent provoquer, à terme, des fuites ou des ruptures d'équipements. Les analyses de risques lors des phases de conception ne sont pas à négliger, tout comme les procédures d'entretien et de maintenance.

– **Extrêmement inflammable.** Son énergie minimale d'inflammation dans l'air (17 µJ) est plus de 10 fois ►

6) Chiffres concernant l'ensemble de la base Aria arrêtés au 1^{er} janvier 2021 et dont le plus ancien événement recensé remonte à 1921.

Le non-approvisionnement des stations-service à hydrogène alentour impacte 1 000 utilisateurs de voitures à hydrogène.

Des employés du site indiquent que l'explosion est survenue alors qu'une fuite d'hydrogène s'était produite lors du remplissage d'une remorque porte-tubes d'un camion utilisé pour ravitailler les stations-service d'hydrogène.

Explosion d'hydrogène dans une station-service

Le 10 juin 2019 à Kjørbo (Norvège) - Aria n° 53772

Vers 17 h 30, une explosion et un incendie se produisent dans une station-service de distribution d'hydrogène ouverte en 2016. L'hydrogène est produit sur place *via* un électrolyseur. Les services de secours arrivent sur site 7 minutes après l'explosion. Un périmètre de 500 m est mis en place et deux routes sont fermées à la circulation. L'incendie est maîtrisé et déclaré sous contrôle par les secours deux heures et demie après l'accident.

Le souffle de l'explosion a causé le déclenchement des airbags de véhicules situés à proximité. Trois personnes sont légèrement blessées.

Le ravitaillement en hydrogène est arrêté dans le pays. Les constructeurs de véhicules à hydrogène mettent en attente la livraison de véhicules neufs. Les stations du constructeur, qu'elles soient de même technologie ou non, sont provisoirement arrêtées durant le temps de l'enquête en Europe, aux États-Unis et en Corée du Sud.

Après 17 jours d'enquête, l'exploitant identifie la fuite d'hydrogène au niveau de l'unité de stockage d'hydrogène à haute pression (réservoirs cylindriques sous pression à 950 bar). Un couple de serrage insuffisant sur les vis de la bague située entre la bride du raccord et l'une des bouteilles a engendré une fuite, d'abord de l'ordre de 0,04 g/s durant quelques heures, puis, à la suite de la rupture d'un joint, d'un rejet d'hydrogène de l'ordre de 1,5 à 3 kg en 3 secondes. Le nuage d'hydrogène et d'air,

hautement explosif, a explosé et pris feu en plein air (aucun équipement / capacité n'a explosé). Des investigations sont toujours menées pour identifier la source d'ignition de ce nuage.

Ce système de montage n'est présent que sur les stations européennes du constructeur (4 en Norvège, 3 en Islande, 3 en Allemagne). L'exploitant programme des inspections sur toutes ses unités de stockage à haute pression d'hydrogène en Europe afin de vérifier le bon couple de serrage de ces raccords. Il met à jour ses procédures de montage et améliore la qualité des contrôles (double vérification). Il étudie la possibilité d'améliorer la détection des fuites d'hydrogène et d'éviter les sources d'ignition dans l'environnement de ses sites (surfaces planes et pas de graviers, meilleure ventilation). Après réalisation de son plan d'actions, l'exploitant prévoit de remettre en service ses stations de distribution américaines et sud-coréennes durant l'été et à partir de septembre pour les européennes.





Le navire à hydrogène, *Energy Observer*, effectue le tour du monde sans émission de gaz à effet de serre, de particules fines et de bruit. Ici, à Courcelles-sur-Seine en Normandie lors de son périple.

inférieure à celle du propane ou de l'essence. Cette énergie peut être obtenue par des décharges électrostatiques d'origine humaine. Dans l'oxygène pur (cas des électrolyseurs), l'énergie nécessaire est seulement de 3 µJ. Des procédures d'inertage dans les phases critiques (démarrage/arrêt y compris arrêt d'urgence) ainsi que des dispositifs d'arrêt des compresseurs permettent de réduire le risque de mélange hydrogène/air (ou oxygène pur). La flamme d'hydrogène rayonne peu et est quasiment invisible le jour, complexifiant l'intervention des secours (lire p. 50). Du fait de sa faible radiation, le risque de propagation du feu par effet thermique dû au rayonnement est en revanche limité.

– **Très explosif.** Compris entre 4 % et 75 % en volume d'hydrogène dans l'air, le domaine d'explosivité de l'hydrogène est 10 fois plus important que celui du propane. Brûlant 7 fois plus rapidement que ce gaz, le régime de détonation est favorisé. La formation de l'onde de choc varie en fonction de la géométrie du confinement, de l'énergie d'inflammation et du mélange avec le comburant. À l'air libre ou en cas de bonne aération, la faible densité de l'hydrogène permet sa rapide dispersion à l'inverse des nombreux gaz inflammables plus lourds que l'air (propane, butane...).

– **Un stockage** nécessitant des pressions très élevées pour permettre d'emmagasiner une quantité suffisante d'énergie.

Gauthier Vaysse

Chargé de mission

Bureau d'analyse des risques et pollutions industriels (Barpi)

CNPP Éditions, l'éditeur de la maîtrise des risques



POUR AVOIR LES BONS RÉFLEXES EN POCHE
**FORMEZ ET SENSIBILISEZ VOTRE PERSONNEL
 AVEC LES CARRÉS SÉCURITÉ !**

Début d'incendie.
 Incivilités et agression.
 Sécurité de l'information.
 Début d'incendie en établissement de santé.

Des conseils concrets, simples, courts et pédagogiques.
 L'expertise de CNPP et de ses formateurs.

À partir de
2 €*

À partir de 1 000 exemplaires, ajoutez votre logo.
 *Tarifs dégressifs selon la quantité.



cybel.cnpp.com
editions@cnpp.com • 02 32 53 64 34