



Compte-rendu du débat INERIS – Société civile

**Etat des lieux des connaissances sur la production et le stockage
d'hydrogène : analyse préliminaire des dispositifs de sécurité**

10 mai 2016

Sommaire

Liste des participants	3
Contexte	4
Points clés de la présentation	6
Éléments de discussion	9
Documents	11
INERIS en bref	12
Contacts INERIS	12

Liste des participants

Participants

Prénom	Nom	Organisme
Daniel	Salomon	FNE
Isabelle	Troussicot	WECF
Alain	Argenson	FNE
Thomas	Désaunay	FNE
Romain	Guichon	McPhy (via AFHYPAC)
Olivier	Savin	Dassault Aviation (via AFHYPAC)
Michel	Junker	AFHYPAC
Géraldine	Dupont	Axa (via AFHYPAC)
Gérald	Hayotte	CFDT (CORE)
Francis	Glémet	CNMSE (CORE)
Solène	Demonet	FNE (CORE)
Jean-François	Delaire	WWF
Alain	Le Duigou	CEA/DAS/I-tésé
Luc	Bodineau	ADEME

INERIS

Prénom	Nom	Organisme
Benno	Weinberger	INERIS, ingénieur Unité Évaluation et maîtrise des Risques d'incendie et d'explosion dans les Procédés
Céline	Boudet	INERIS, responsable ouverture à la société
Bruno	Debray	INERIS, responsable Unité Évaluation et maîtrise des Risques d'incendie et d'explosion dans les Procédés
Christophe	Didier	INERIS, directeur scientifique adjoint

Contexte

Les conséquences du changement climatique et la dépendance aux combustibles fossiles obligent à repenser la politique énergétique et à développer de nouvelles sources et vecteurs d'énergie comme notamment l'hydrogène (cf. Article 121 de la Loi sur la transition énergétique pour la croissance verte). L'hydrogène (H_2), s'il est produit à partir d'énergie décarbonée, figure parmi les nouveaux vecteurs d'énergie susceptibles de limiter à long terme les rejets de gaz à effet de serre. Employé comme carburant dans une pile à combustible¹ (PAC), il fournit de l'électricité et de la chaleur avec de l'eau comme seul résidu. Au vu des attentes de la transition énergétique, les techniques de production et de stockage de l'hydrogène constituent un enjeu stratégique, technologique et sociétal majeur pour le développement de la filière. Il convient d'améliorer la performance de l'ensemble de la chaîne qui comprend la production d'hydrogène, son stockage, son transport et son utilisation pour produire de l'électricité et surtout d'assurer la maîtrise des risques liés à son utilisation sur l'ensemble de la filière.

Les compétences de l'INERIS dans ce domaine

Depuis le début des années 2000, l'INERIS participe avec ses partenaires à de nombreux programmes de recherche français et européens couvrant l'ensemble des thématiques propres à la filière hydrogène (technologie de production, transport, stockage et systèmes de conversion). Les travaux de l'Institut concernent notamment l'étude et la modélisation des fuites de gaz en milieu confiné comme en milieu ouvert, la sécurité du stockage à haute pression, les analyses des risques sur l'ensemble de la chaîne production – stockage – transformation, pour aider à identifier un cadre réglementaire adapté à cette nouvelle utilisation de l'hydrogène. L'objectif de l'Institut est d'apporter des réponses concrètes aux concepteurs et utilisateurs afin de développer des systèmes intrinsèquement plus sûrs.

¹ Générateur électrochimique d'énergie permettant de transformer directement l'énergie chimique d'un combustible en énergie électrique et thermique sans apport d'énergie extérieure.

Sur cette base, l'INERIS a réalisé avec ENEA consulting, pour le compte de l'ADEME, un *Guide d'information sur les risques et les mesures de sécurité liés à la production décentralisée d'hydrogène* (juin 2015). L'Institut a également produit un rapport intitulé *Etude comparative des réglementations, guides et normes concernant les électrolyseurs et le stockage d'hydrogène*².

Deux contributions à la réflexion

- 1** ADEME – INERIS – ENEA Consulting
Guide d'information sur les risques et les mesures de sécurité liés à la production décentralisée d'hydrogène
 - Comité technique de représentants de constructeurs
 - Analyse de risques sur trois configurations types combinant électrolyseur et stockage
 - Identification des mesures de sécurité génériques et bonnes pratiques
- 2** INERIS
Etude comparative des réglementations, guides et normes concernant les électrolyseurs et le stockage d'hydrogène
 - Identification des réglementations, guides, normes en France, dans divers pays européens, en Amérique du nord
 - Comparaison des processus d'autorisation et de l'application de la directive IED aux électrolyseurs.

Présentation INERIS – 19/05/2016

INERIS
INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHES ET DE SECURITE INDUSTRIELLE

² Référence DRA-15-149420-06399B, 2016

Points clés de la présentation

Panorama de l'hydrogène vecteur d'énergie

Pour atteindre les objectifs de la transition énergétique en matière d'énergie renouvelable intermittente, de nouveaux procédés sont développés en dehors des traditionnels sites de production et d'utilisation. Le déploiement de l'hydrogène-énergie nécessite le passage d'un environnement industriel contrôlé vers une plus grande variété de producteurs et d'utilisateurs. Luc Bodineau (ADEME) dresse ainsi un panorama de la production décentralisée d'hydrogène, des technologies, des installations existantes ou en développement et de leur potentiel de déploiement.



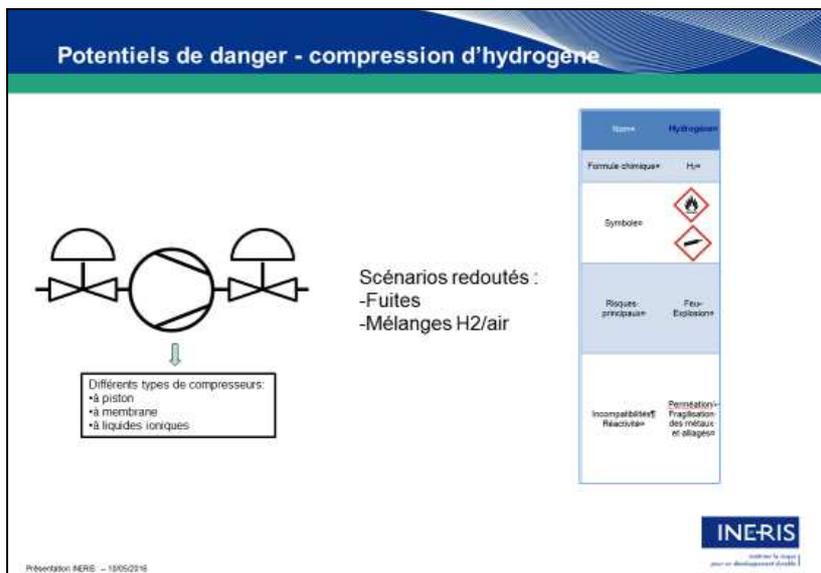
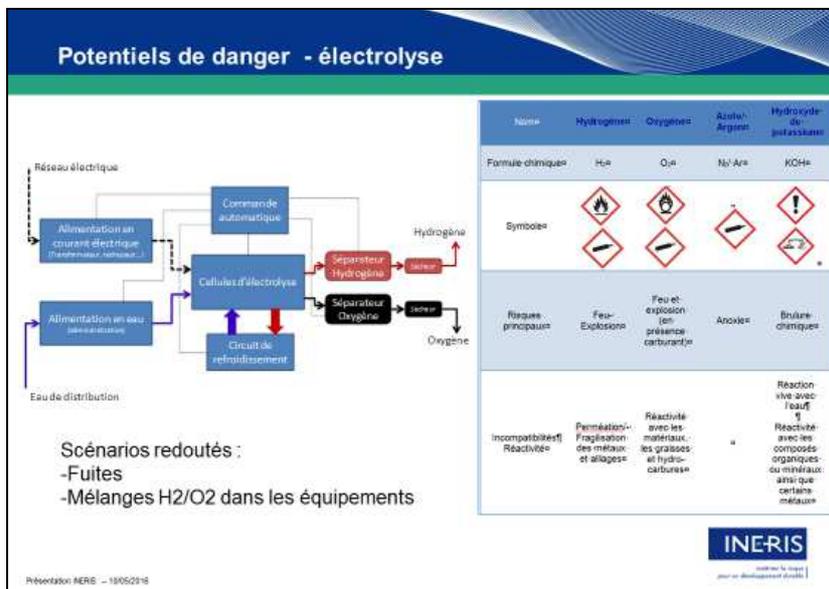
L'hydrogène – énergie, nouveau vecteur

- Jusqu'à aujourd'hui, l'hydrogène est essentiellement un composé chimique, utilisé dans l'industrie (raffineries, engrais ...)
- 900 000 tonnes d'H₂ / an en France, produit à partir de gaz naturel
- Des nouvelles applications liées à des usages énergétiques : l'hydrogène, une manière de stocker et d'utiliser de l'énergie



Focus sur l'évaluation et la prévention des risques

Les analyses de risques réalisées par l'INERIS, sur la base d'un retour d'expérience de l'accidentologie autour des installations de production et de stockage de l'hydrogène, ont fait ressortir les dangers de l'hydrogène dans le contexte des électrolyseurs et des systèmes de stockage associés.



Potentiels de danger - stockage d'hydrogène

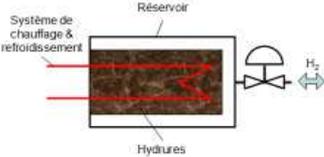


Scénarios redoutés :
-Fuites
-Eclatement

Nom	Hydrogène	Hydrures de magnésium
Formule chimique	H ₂	MgH ₂
Symboles	 	 
Risques principaux	Feu-Explosion	Déplacement de chaleur par inflammation spontanée (synchrone) en présence d'humidité
Incompatibilités/Reactivités	Perméation-Fragilisation des métaux et alliages	Fragilisation les métaux et alliages

Dans le cas spécifique des hydrures :

- Réactions exothermiques avec l'eau





Présentation INERIS - 19/05/2016

Les mesures de maîtrise des risques ont également été analysées et sont présentées, les principaux constats sont les suivants :

- les mesures de maîtrise des risques techniques applicables aux installations concernées sont connues et issues, pour la plupart, de l'expérience des gaziers ;
- elles sont, au besoin, complétées de mesures spécifiques aux environnements naturels et humains particuliers dans lesquels peuvent être exploitées ces installations ;
- une vigilance est à conserver vis-à-vis du transfert des installations vers les utilisateurs (formation et information) qui ne sont pas issus de l'industrie gazière (installations implantées dans des stations-service ou d'autres établissements recevant du public, systèmes isolés ...) ;
- une attention est à porter à la fiabilité des systèmes instrumentés de sécurité, en particulier pour les systèmes qui peuvent fonctionner en autonomie (système isolé) en utilisant des automates de conduite ;
- les phases d'arrêt (entre deux démarrages, arrêts d'urgence...) et de démarrage sont à définir clairement et doivent faire l'objet d'une vigilance particulière.

Etude comparative des obligations réglementaires

L'INERIS présente le cadre supra national (directive européenne), pouvant conduire à des obligations réglementaires en France et dans les états membres, de la production décentralisée d'hydrogène. Après l'identification des textes de référence (réglementations, guides ou normes) applicables aux électrolyseurs et aux stockages d'hydrogène, l'Institut explique pourquoi le cadre normatif est en cours de révision et en quoi le contexte réglementaire devrait être adapté aux spécificités de l'hydrogène-énergie.

Cadre normatif & Guides	
Numéro	Titre
FD ISO/TR 15916 – 2015	Considérations fondamentales pour la sécurité des systèmes à l'hydrogène
NF M68-003 – 2013	Installation des systèmes mettant en œuvre l'hydrogène
NF ISO 16110-1 :2009	Générateurs d'hydrogène utilisant les technologies de traitement du carburant - Partie 1 : sécurité
ISO 22734-1 :2008	Générateurs d'hydrogène utilisant le procédé d'électrolyse de l'eau – Partie 1. Applications industrielles et commerciales
ISO 22734-2 :2011	Générateurs d'hydrogène utilisant les procédés d'électrolyse à l'eau - Partie 2: Applications résidentielles
NF EN ISO 4126-1 :2013	Dispositifs de sécurité pour protection contre les pressions excessives - Partie 1 : soupapes de sûreté
NF EN ISO 4126-2 :2003	Dispositifs de sécurité pour la protection contre les pressions excessives - Partie 2 : dispositifs de sûreté à disque de rupture
IEC 62282-3-100 Ed. 1.0	Technologies des piles à combustible - Partie 3-100. Technologies des piles à combustible stationnaires - Sécurité
ISO 11114 :2012	Bouteilles à gaz - Compatibilité des matériaux, des bouteilles et des robinets avec les contenus gazeux - Partie 1: matériaux métalliques
ISO/DIS 16111 :2007	Appareils de stockage de gaz transportables — Hydrogène absorbé dans un hydrure métallique réversible
ISO/PRF TS 19880-1	Carburant d'hydrogène gazeux – Stations-service – Partie 1: Exigences générales
Nom	Titre
IGC Doc 121/04/E	Hydrogen Transportation Pipelines
IGC Doc 100/03/E	Hydrogen Cylinders and Transport Vessels
IGC 13-12-E	Oxygen pipeline & piping
IGC 15-06-E	Gaseous hydrogen stations
IGC 60-04-E	Prevention of major accidents
EIGA 087/14	Standard for hydrogen piping systems at user location
HSE – RR715	Installation permitting guidance for H2 and fuel cell stationary applications: UK version

Présentation MERIS – 13/05/2016

INERIS
Institut National de Recherche et de Sécurité pour un Développement Durable

Éléments de discussion

Monsieur Delaire s'interroge sur la disponibilité d'éléments de comparaison de l'impact environnemental de la filière hydrogène-mobilité avec la filière batterie. Luc Bodineau confirme que des premiers éléments d'analyse du cycle de vie (ACV) existent, même s'ils restent incomplets à ce jour. Il cite une étude de 2013 financée par l'ADEME et réalisée par ENEA et Quantis, disponible sous : <https://partage.ademe.fr/data/public/6337f7>

Gérald Hayotte questionne le positionnement de la France et de l'Europe dans le monde sur l'hydrogène. Luc Bodineau indique que la France est plutôt bien placée, en particulier sur transport malgré l'absence relative des constructeurs automobiles français au regard des constructeurs asiatiques, par exemple. Il y a beaucoup d'efforts de recherche et d'innovation privés et publics : le Japon et l'Allemagne ont investi massivement, en particulier sur le véhicule particulier, mais reste le problème du réseau de distribution. En France, de ce fait, l'effort est plus ciblé car il porte sur les flottes captives et les véhicules utilitaires qui tournent autour d'un unique point d'alimentation. Sur le stockage, en termes de power-to-gas, les allemands et danois ont plusieurs démonstrateurs (10) quand il y en a 2 en France.

Francis Glémet aborde la question de la durée de vie et du recyclage d'une pile à hydrogène. Les experts et professionnels de l'hydrogène dans la salle estiment la durée à 10 000 heures a priori, mais elle reste à vérifier en conditions réelles. Quant au recyclage, il n'y a pas d'étude à l'heure actuelle : l'ADEME encourage leur lancement. Pour l'instant, cela reste délicat puisque nous n'en sommes qu'aux premiers prototypes en France, il n'y a donc pas d'enjeux à court terme sur le recyclage. Il existe toutefois des études sur le taux de récupération de platine (taux de 90%).

Monsieur Delaire s'interroge sur l'intérêt de la présence concomitante d'une batterie et d'une pile à hydrogène pour les flottes captives (ex. Lyon et Grenoble). Luc Bodineau indique qu'un véhicule même purement hydrogène aura toujours une batterie pour le démarrage, le temps de chauffe etc. Il y a toujours une hybridation entre une pile (énergie) et une batterie (puissance). L'enjeu d'innovation est bien de déterminer le degré d'hybridation optimal entre l'une et l'autre. Cela a également un intérêt en termes de coût.

Monsieur Salomon revient sur le fait que l'hydrogène est une petite molécule sans odeur et explosive. En France, il y a eu des accidents de gaz naturel par le passé. Cela interroge sur le risque lié à l'injection d'hydrogène dans les canalisations de gaz.

Solène Demonet interroge sur la capacité de production industrielle en France, en dehors de la raffinerie. Luc Bodineau confirme que la production actuelle se fait en grande partie en raffinerie, couplée avec la production de carburant. Il existe un travail collaboratif nommé HyFrance3, réalisé en 2010, coordonné par le CEA-I-tésé et avec 8 autres partenaires de l'AFHYPAC. L'ADEME a participé et a cofinancé ces travaux. L'une des tâches aborde les usages industriels de l'hydrogène : <https://partage.ademe.fr/data/public/9e7089>

Monsieur Le Duigou précise qu'il faut 1 kg d'hydrogène pour faire 100 km avec un véhicule de cat C. Cela signifie qu'il faudrait 10 millions de tonnes d'hydrogène annuelle si on l'utilise dans tout usage possible, et 1 million de tonnes d'hydrogène par an est la production actuelle en France.

Monsieur Argenson revient sur les différents types de piles à combustible pour la mobilité. Il fait le lien avec les terres rares. Monsieur Bodineau confirme qu'il existe au moins 5 catégories de piles à combustible qui se caractérisent par la nature de l'électrolyte utilisé.

Monsieur Argenson cite l'exemple d'un site de La Poste sur lequel des prolongateurs d'énergie sont alimentés par une station avec des panneaux photovoltaïques dans le Jura. Les panneaux sur la station hydrogène ne suffisent pas au vu du nombre de véhicules concernés. Il faudrait avoir un électrolyseur sur un endroit du territoire, qui alimente des stations filles. M Le Duigou indique que pour l'instant il n'y a pas d'électrolyseur au niveau des stations-services à hydrogène : elles sont alimentées par transport routier. On sort alors du problème potentiel de la canalisation (cf REX accidentologie), le transport par camion étant une solution plus souple pour des distances de l'ordre de 50 km ou plus (la canalisation peut être envisagée à partir de 100 km).

Christophe Didier pose la question de l'hydrogène natif. L'ADEME n'a pas d'avis pour l'instant mais se pose la question de la durabilité de ces gisements. Le rendement de l'électrolyse est de 70%. Vis-à-vis des autres types de stockage (en particulier batterie), power to gaz to power est rentable uniquement quand les autres stockages sont saturés.

S'agissant de l'accidentologie, il est demandé à l'INERIS de bien préciser la période concernée par le retour d'expérience. Ce dernier n'en demeure pas moins intéressant en termes de tendance. Monsieur Le Duigou interroge sur l'existence d'une comparaison avec l'accidentologie « gaz naturel », toute énergie égale par ailleurs. Benno Weinberger indique que le REX sur l'hydrogène est tellement faible (peu de cas), qu'il est difficile de sortir des statistiques et d'obtenir des données pour quantifier le risque. Il faut garder en tête que ce sont des technologies émergentes. Ce sont les problèmes de canalisation qui constituent le nombre le plus important d'accidents, que ce soit pour

l'hydrogène ou les autres types de gaz. On retrouve des évènements typiques des accidents d'exploitation de gaz classique.

L'AFHYPAC souligne qu'il y a déjà des usages massifs de l'hydrogène pour l'usage des PAC résidentiels qui montrent un REX avec peu d'accidents (cf Japon). Le déploiement peut être considéré comme suffisant pour ne plus parler que des démonstrateurs (restrictif). Il ne faut pas restreindre ce déploiement à la mobilité terrestre ni sous-exploiter le travail déjà fait sur l'accidentologie. Il est toutefois primordial de pousser sur l'utilisation par des professionnels au départ d'une nouvelle utilisation (même si l'hydrogène n'est pas leur métier : taxi...). Chaque utilisateur est ainsi formé, c'est plus facile à gérer que pour les particuliers, même si c'est aussi simple que de faire le plein d'un véhicule à essence. Les pompiers sont formés pour les secours. A ce jour, Géraldine Dupont indique les quelques véhicules hydrogènes qui circulent dans les flottes sont assurés comme des véhicules classiques. Sur les stations-services, une étude est en cours sur les écarts entre un site industriel et un site accessible au grand public. Des écarts de pression de distribution sont à gérer.

Gérald Hayotte indique qu'il est d'autant plus pertinent d'informer et de former dès à présent que les risques les plus importants liés à l'hydrogène sont relativement bien identifiés, et qu'il existe des solutions pour les maîtriser dans bon nombre d'usages, contrairement aux nanotechnologies, par exemple.

La question est posée par le milieu associatif du réel intérêt financier. L'ADEME indique que le business model s'équilibre dans la mobilité si le prix de l'hydrogène est de l'ordre de 10 Euros/kg (disponible à l'utilisateur). C'est l'évolution réglementaire qui joue, en particulier en milieu urbain (réglementation de l'accès pour les flottes privées). L'AFHYPAC précise qu'un travail d'étude présentant les modèles économiques sera rendu public sous peu. Il présente autant de modèles économiques que d'applications possibles. Un exemple qui fonctionne est celui des chariots élévateurs.

Une consultation du ministère a été envoyée il y a quelques jours dans l'objectif de sortir de l'autorisation la production de l'hydrogène. Elle vise la simplification des dossiers administratifs. Il est relevé par les associations que s'il n'y a pas de pollution pendant la production d'hydrogène par électrolyse, la question se pose par contre pour la partie déchets.

L'INERIS remercie tous les participants pour cette réunion très riche ainsi que l'ADEME pour sa contribution active.

Documents

- Fiche ONG transmise par e-mail avant la réunion : Etat des lieux des connaissances sur la production et le stockage d'hydrogène : analyse préliminaire des dispositifs de sécurité : <http://www.ineris.fr/centredoc/fiche-hydrogene-2016-vf-1461746306.pdf>
- Lien sur le guide de l'ADEME « *Guide d'information sur les risques et les mesures de sécurité liés à la production décentralisée d'hydrogène* » (juin 2015) : <http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide-information-securite-production-decentralise-hydrogene-8505.pdf>

INERIS en bref

Domaines d'expertise de l'INERIS :

RISQUES CHRONIQUES

Évaluation de la toxicité et de l'écotoxicité des substances chimiques. Modélisation et surveillance des atteintes à l'homme et à l'environnement générées par les pollutions, les champs électromagnétiques et dues aux installations et aux activités humaines. Réduction de la pollution des milieux ambiants et sols pollués.

RISQUES ACCIDENTELS

Évaluation des risques (incendie, explosion, rejets toxiques, foudre...) liés aux installations industrielles, aux procédés, aux produits, ainsi qu'aux infrastructures et systèmes de transports (tunnels, ports...). Maîtrise des risques par les dispositions technologiques et organisationnelles. Appui technique dans la mise en œuvre des Plans de Prévention des Risques Technologiques (PPRT).

RISQUES DU SOL ET DU SOUS-SOL

Évaluation et prévention des risques de mouvement de terrain liés aux anciennes exploitations (mines ou carrières), aux stockages souterrains ou à certains sites naturels (versants rocheux, talus, falaises...). Surveillance et auscultation des massifs rocheux ou des ouvrages. Évaluation des risques liés aux eaux souterraines et aux émanations gazeuses du sol.

SÉCURITÉ DES ÉQUIPEMENTS ET DES PRODUITS

Connaissance et classification des produits énergétiques et autres produits dangereux. Fiabilité des dispositifs technologiques de sécurité. Évaluation de la conformité réglementaire et normative des systèmes, matériels et produits dont les produits explosifs et pyrotechniques.

CONSEIL EN MANAGEMENT DES RISQUES

Conseil et accompagnement dans la mise en place de systèmes de management Hygiène, Santé, Sécurité, Environnement (HSSE). Aide à l'intégration des systèmes de management QHSE. Développement d'outils de diagnostic et analyse des causes humaines et organisationnelles après un accident. Suivi et diagnostic réglementaires.

Portail INERIS : www.ineris.fr

Contact INERIS

Céline Boudet, Responsable ouverture et dialogue avec la société
celine.boudet@ineris.fr / 03 44 55 65 95