



**HAL**  
open science

## Transition énergétique : les matériaux métalliques pour la filière hydrogène. Genèse d'un projet de club étudiants / chercheurs du programme ORION

Thierry Grosdidier, Adrien Heinzelmeyer, Antoine Marsigny, Antoine Guitton, Thomas Gries

### ► To cite this version:

Thierry Grosdidier, Adrien Heinzelmeyer, Antoine Marsigny, Antoine Guitton, Thomas Gries. Transition énergétique : les matériaux métalliques pour la filière hydrogène. Genèse d'un projet de club étudiants / chercheurs du programme ORION. CNRIUT 2023, Jun 2023, Saint-Pierre, France. hal-04168804

**HAL Id: hal-04168804**

**<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-04168804>**

Submitted on 22 Jul 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

---

## Transition énergétique : les matériaux métalliques pour la filière hydrogène. Genèse d'un projet de club étudiants / chercheurs du programme ORION

---

Thierry Grosdidier<sup>1,2</sup>

thierry.grosdidier@univ-lorraine.fr

Adrien Heinzelmeyer<sup>1</sup>

adrien.heinzelmeyer@univ-lorraine.fr

Antoine Marsigny<sup>3</sup>

antoine.marsigny@univ-lorraine.fr

Antoine Guitton<sup>1,2</sup>

antoine.guitton@univ-lorraine.fr

Thomas Gries<sup>2,3</sup>

thomas.gries@univ-lorraine.fr

<sup>1</sup> Université de Lorraine, Laboratoire d'Etude des Microstructures et de Mécanique des Matériaux (LEM3)  
UMR CNRS 7239

<sup>2</sup> Université de Lorraine, Laboratoire d'Excellence Design des Alliages Métalliques pour l'Allègement des Structures  
(Labex DAMAS)

<sup>3</sup> Université de Lorraine, Institut Jean Lamour (IJL), UMR CNRS 7198

**Thèmes** – *Science des Matériaux, Métallurgie, Hydrogène, Décarbonation, Fragilité, Stockage solide.*

**Résumé** – *Le présent article traite des besoins de la filière hydrogène. Après une présentation globale de la problématique, des exemples illustrent des recherches ayant pour objectif de produire de l'hydrogène « vert », ainsi que de nouvelles méthodes permettant de le transporter et de le stocker proprement. L'article traite aussi d'un exemple de projet concernant la mise en place d'un club étudiants / chercheurs dans le cadre du programme ORION (Oser la Recherche durant la formatION) de Lorraine Université d'Excellence. Le club étudiants / chercheurs « Matériaux métalliques pour la filière hydrogène » (Met'Hy) est né de consortiums de recherche développés dans le cadre du projet FRCR HyPE<sup>1</sup>, au niveau de la région Grand-Est, de l'Axe 1 (procédés métallurgiques innovants) du Labex DAMAS<sup>2</sup> et du projet LUE Impact ULHyS<sup>3</sup> de l'Université de Lorraine.*

**Mots-Clés** – *Pédagogie BAC+2 à BAC+5, BUT, filière hydrogène, métallurgie.*

<sup>1</sup> HyPE = Production et stockage d'Hydrogène décarboné et son utilisation pour la Production d'Énergie dans des dispositifs sans métaux nobles

<sup>2</sup> DAMAS = Design des Alliages Métalliques pour l'Allègement des Structures

<sup>3</sup> ULHyS = Université de Lorraine Hydrogène Sciences et Technologies

## 1 Introduction

Le réchauffement climatique est sans équivoque et est bien d'origine humaine (Figure 1). Ainsi, il est nécessaire et urgent de recourir à de nouvelles technologies pour limiter les émissions de gaz à effet de serre.

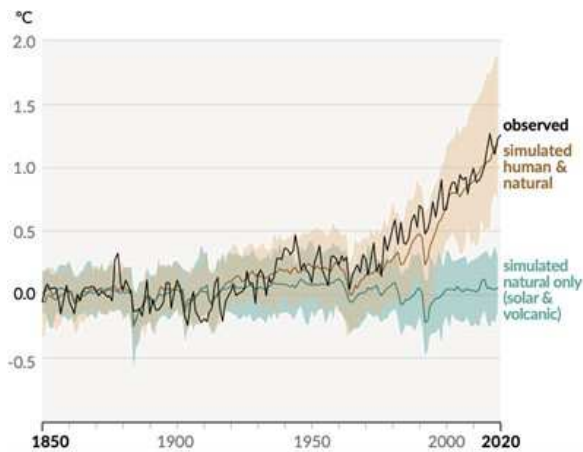


Figure 1 – Evolution de la température en surface de la terre  
[Rapport du GIEC, 2021]

L'hydrogène apparaît comme un maillon essentiel de la transition énergétique à condition d'avoir une production décarbonée (moins de 5% actuellement). Il s'agit d'un vecteur énergétique très versatile qui peut permettre de stocker massivement les énergies renouvelables intermittentes. Les applications de l'hydrogène « vert » sont multiples et vont de la substitution de l'hydrogène issu du gaz naturel dans le secteur industriel jusqu'au transport, y compris lourd (bus, trains, camions). A titre d'exemple, 24 kg d'essence sont nécessaires pour qu'une voiture à moteur thermique moderne parcourt 400 km, alors que la même distance peut être parcourue avec seulement 8 kg d'hydrogène. De plus, le moteur ne rejette que de la vapeur d'eau. Les gouvernements du monde entier appellent à investir dans l'hydrogène dans le cadre de leurs plans de relance post COVID-19. En effet, les technologies de l'hydrogène peuvent renforcer notre économie pour être plus robuste, plus résiliente et plus durable.

Une application prometteuse de l'hydrogène repose dans l'utilisation d'hydrogène dans les processus industriels de transformation des matériaux. De plus, les défis dans l'utilisation de l'hydrogène concernent aussi son stockage et son transport. Le projet de club étudiants - chercheurs « Matériaux métalliques pour la filière hydrogène » du programme ORION (Oser la Recherche durant la FormatION) de Lorraine Université d'Excellence s'inscrit directement dans ce contexte. Trois piliers seront traités :

- (i) les métaux pour le stockage de l'hydrogène ;
- (ii) le transport et la protection contre la fragilisation induite par l'hydrogène ;
- (iii) l'utilisation de l'hydrogène pour l'élaboration propre des métaux.

## 2 Aspects pédagogiques et clubs étudiants / chercheurs du programme ORION

Le dispositif ORION a été retenu le 1er juillet 2020 dans le cadre de l'appel à projets « Structuration de la formation par la recherche dans les initiatives d'excellence » (SFRI) du Programme d'Investissement d'Avenir (France 2030). Il doit permettre de mieux sensibiliser et former les étudiants à la recherche en leur offrant un environnement plus diversifié. L'exposition à la recherche prend différentes formes : cours dédiés, travaux pratiques, écoles thématiques de recherche, ateliers d'innovation, clubs multidisciplinaires étudiants-chercheurs, stages en laboratoires à l'université, immersion à l'international dans les structures de recherche de nos partenaires académiques.

Le club de sciences « Matériaux métalliques pour la filière hydrogène » s'appuiera sur une partie du consortium déjà établi dans le cadre du projet IMPACT ULHyS. En effet, au sein de l'Université de Lorraine, la communauté scientifique travaillant dans le domaine de l'hydrogène a commencé à se fédérer à partir de 2017 pour proposer une approche systémique de la filière. Ce club s'appuiera également sur le projet FRCR HyPE qui vise le déploiement de plateformes techniques communes autour de cette thématique.

Le dispositif ORION est construit dans une logique de progression allant de la découverte de la recherche (BUT2), puis sa pratique (de BUT3 à BAC+5) pour devenir des chercheurs (PhD). Mais les originalités principales d'ORION sont d'une part l'accent mis sur la pratique de la recherche et d'autre part la volonté de mixer les publics (Facultés et Ecoles d'ingénieurs), les niveaux (du BAC+2 au doctorat), les disciplines et les nationalités pour créer une communauté d'étudiants inscrite dans une trajectoire recherche. Le projet « Matériaux métalliques pour la filière hydrogène » s'appuiera sur plusieurs formations où sont impliqués les enseignants chercheurs travaillant sur différents aspects de cette thématique. Ouvert en pratique à l'ensemble des étudiants de l'université de Lorraine, il impliquera en particulier les étudiants du BUT (parcours « Innovation pour l'industrie » et « Conception et production durable », IUT de Metz), les étudiants du master Science et Génie des Matériaux (Faculté des Sciences et Techniques, Nancy) ainsi que des élèves des écoles d'ingénieurs : (i) ENIM, Metz, pour le parcours MAPI « Matériaux Avancés Procédés Innovants » et (ii) EEIGM, Nancy, pour les options « Matériaux pour l'énergie » et « Matériaux pour les mobilités ».

L'animation sera structurée autour de plusieurs axes :

- Séminaires invités par des intervenants nationaux et Internationaux.
- Projets tuteurés qui seront proposés aux étudiants en début d'année. Ils seront pilotés par les chercheurs doctorants.
- Séminaires qui seront proposés par les étudiants de la cohorte ORION (version courte) et des chercheurs doctorants (version longue) dans le but de développer une culture générale scientifique.
- Vulgarisation scientifique par des visites dans des lycées et collèges lorrains seront organisées afin de présenter le monde universitaire et le monde de la recherche aux élèves mais aussi pour échanger autour de ces sujets sociétaux.

### 3 Quelques aspects de la problématique scientifique

Certains aspects de la « filière hydrogène » liés aux matériaux métalliques font partis de l'axes de recherche « procédés métallurgiques innovants » soutenus par le Laboratoire d'Excellence DAMAS (Design des Alliages Métalliques pour l'Allègement des Structures).

#### 3.1 Stockage de l'hydrogène solide sous forme d'hydrures métalliques

Outre sa production « verte », un des freins au déploiement massif de l'hydrogène comme vecteur énergétique est lié à son stockage. Sous forme gazeuse, le stockage hyperbare (700 bar) nécessite des réservoirs à haute résistance mécanique. Sous forme liquide, il faut refroidir l'hydrogène en dessous de - 252 °C dans des réservoirs super-isolés thermiquement. Ces méthodes hyperbares et cryogéniques ont donc un coût énergétique important et posent, en cas de fuite, des contraintes de sécurité majeures. Moyennant une aptitude à former des hydrures métalliques à la stabilité adéquate, plusieurs métaux et composés intermétalliques doivent pouvoir être utilisés pour un stockage solide à forte capacité volumique dans des réservoirs très sûrs et peu consommateurs d'énergie. Plusieurs orientations de la recherche sur le stockage solide sont nécessaires et concernent par exemple : la nature et la mise en forme des matériaux de stockage, « l'activation » de ces matériaux et la conception associée des réservoirs [1].

#### 3.2 Transport de l'hydrogène et protection contre la fragilisation

L'hydrogène, du fait de sa petite taille, peut être facilement absorbé dans un métal, y diffuser et également y rester piégé. Si ces mécanismes peuvent être exploités pour le stockage en phase solide, il n'en reste pas moins que ce piégeage conduit à de la fissuration très

problématique pour la conception de systèmes utilisant des métaux. Un autre enjeu stratégique concerne le transport de l'hydrogène. En effet, l'Europe envisage la mise en place et/ou la conversion de plus de 11000 km de pipelines transportant de l'hydrogène à l'horizon 2030. Par conséquent, plusieurs approches sont proposées pour limiter cette fragilisation ou protéger par des revêtements les pièces sensibles.

#### 3.3 Utilisation de l'hydrogène pour l'élaboration propre des métaux

L'efficacité énergétique des process de combustion à très haute température est un enjeu primordial pour un certain nombre de secteurs : métallurgie, cimenterie, papeterie, etc. Depuis la révolution industrielle, ces industries se sont tournées vers des carburants fossiles, dans un premier temps solide avec le charbon, puis liquides et gazeux avec les gisements pétroliers et gaziers ... tous fort générateurs de CO<sub>2</sub>. Ainsi, la sidérurgie est responsable d'environ 7% des émissions anthropiques de gaz à effet de serre. Une application bien moins répandue mais tout aussi prometteuse de l'hydrogène repose dans l'utilisation d'hydrogène dans ces processus industriels, en particulier pour la réduction des minerais [2].

### 4 Conclusions

L'hydrogène moléculaire H<sub>2</sub>, qui n'existe pratiquement pas dans la nature et dont l'énergie de combustion est trois fois supérieure à un litre d'essence, est considéré comme un possible vecteur d'énergie, notamment pour la valorisation des énergies renouvelables non émettrices de CO<sub>2</sub>. Encore faut-il que l'on sache le produire, le transporter et le stocker proprement. La filière hydrogène présente un fort potentiel de création d'emplois : de 4000 emplois aujourd'hui à plus de 100 000 à l'horizon 2030. Cette filière en plein essor doit faire l'objet d'une attention particulière notamment pour former les talents et ressources nécessaires à son bon développement.

### Références

- [1] K. Edalati, E. Akiba, W. J. Botta, Y. Estrin, R. Floriano, D. Fruchart, T. Grosdidier, Z.J. Horita, J. Huot, H.W. Li, H.J. Lin, Á. Révész and M. J. Zehetbauer, *Impact of Severe Plastic Deformation on Kinetics and Thermodynamics of Hydrogen Storage in Magnesium and Its Alloys*, J. Mater. Sci. Technol. 146, 2023, p. 221-239.
- [2] J.P. Birat, F. Patisson, O. Mirgaux, *Hydrogen Steelmaking. Part 2 : competition with other zero-carbon steelmaking solutions - geopolitical issues*, Matériaux & Techniques, 109, 2021, p. 307-311.