



Fédération HYDROGENE (FRH2)

5^{ème} REUNION PLENIERES FRH2 d'Annecy 17-21 Novembre 2025

Instituts CNRS de Rattachement :
INC et INSIS

Sections du Comité National :
17, 16, 13, 15 (INC), et 10, 12 (INSIS)

Sommaire

Bienvenue aux plénières de la fédération Hydrogène !.....	5
Programme synthétique.....	9
Programme détaillé des sessions en plénière	11
Programme de la session " <i>Stockage</i> " (STO)	15
Programme de la session Basse Température (PACEEP).....	21
Programme de la session <i>Production d'hydrogène par électrolyse haute température et piles à combustible de type SOFC (SO)</i>	31
Programme de la session " <i>Systèmes piles à combustible et électrolyseurs</i> " (SYS)	39
RESUMES DES PRESENTATIONS DES SESSIONS EN PLENIERES	40
RESUMES DES PRESENTATIONS DE LA SESSION STOCKAGE	40
RESUMES DES PRESENTATIONS DE LA SESSION PACEEP	40
RESUMES DES PRESENTATIONS DE LA SESSION "Oxydes Solides"	40
RESUMES DES PRESENTATIONS DE LA SESSION SYSTEMES.....	40

Bienvenue aux plénières de la fédération Hydrogène !

Depuis le 1er janvier 2020, les laboratoires académiques du CNRS et universitaires se sont rassemblés au sein d'une fédération de recherche du CNRS appelée FRH2 (Fédération de Recherche Hydrogène). Cette structure du CNRS, constituée de 30 laboratoires, a comme objectif de promouvoir les activités de recherche académiques françaises sur l'hydrogène autour de quatre axes techniques principaux : la production d'hydrogène, son stockage, et sa conversion en électricité pour des usages en mobilité et en stationnaire. FRH2 participe activement à la construction du nouveau paysage "hydrogène" français en menant une politique scientifique d'envergure afin de lever des verrous scientifiques cohérents avec le développement de la filière industrielle. FRH2 à travers ses 2 axes transverses "formation" et "plateformes" vise aussi à mettre en avant les compétences en enseignement et les nombreux outils disponibles dans ses laboratoires.

L'un des objectifs de la fédération est d'organiser des plénières qui permettent à l'ensemble de ses membres actifs de se rencontrer au moins une fois par an, de communiquer, d'échanger sur leurs dernières activités et de monter des consortiums. Ce workshop est ouvert à toute la communauté française et internationale du domaine de l'hydrogène.

Les quatre réunions plénières de la FRH2 passées ont été des succès avec notamment plus de 260 participants, 139 présentations orales et de très nombreux posters à La Grande Motte en 2024. Les plénières 2025 d'Annecy vont permettre à nouveau de faire le point sur les recherches en cours et à venir sur les dispositifs de stockage de l'hydrogène, les types de piles à combustibles ou électrolyseurs, ainsi que les systèmes associés.

Comme à chaque "plénières de la FRH2", le programme comprend de nombreuses sessions orales parallèles qui permettront à tous, notamment nos jeunes doctorants, de présenter et de discuter longuement leurs travaux devant la communauté. Au programme de ces 4 journées on retrouvera aussi une demi-journée dédiée aux présentations d'industriels.

Cette réunion n'aurait pu se tenir sans le soutien financier du CNRS et des laboratoires de la fédération mais aussi de nos partenaires institutionnels comme le CEA, et sans le dynamisme des membres du bureau de la Fédération et des animateurs de sessions parallèles : Sylvie Castagnet et Patricia Derango (session stockage), Christophe Coutanceau, Marian Chatenet et Valérie Keller (session Production d'hydrogène décarboné à basse température (Electrolyse et Mécanismes photo assistés) et piles à combustibles à membranes polymères), Jean-Marc Bassat et Annie Le Gal La Salle (session Production d'hydrogène par électrolyse haute température et piles à combustible de type SOFC), Christophe Turpin et Nadia Yousfi-Steiner (session Systèmes piles et électrolyseurs), qu'ils en soient remerciés.

Un grand merci au laboratoire IRCELYON pour la prise en charge de l'organisation locale notamment Valérie Meille et Philippe Vernoux qui ont travaillé avec les prestataires. Merci également au directeur, Christophe Geantet, personnel administratif (Géraldine CHAPUIS) et à l'ensemble des membres de cet unité.

Je compte sur vous tous pour faire de ces plénières d'Annecy une opération réussie, génératrice de collaborations fructueuses et de labellisations de projets.

Olivier JOUBERT (IMN, Nantes), directeur de la fédération de recherche Hydrogène et
Daniel HISSEL (FEMTO-ST, Belfort), directeur adjoint

ORGANISATION DE LA FRH2

la Fédération hydrogène. Créée en 2020 FRH2 rassemble plus de 300 chercheurs permanents (chercheurs du CNRS, enseignants chercheurs universitaires et ingénieurs) issus de 30 laboratoires engagés activement dans le domaine de l'hydrogène.

La mission de la Fédération de Recherche est d'unir et de coordonner les efforts de ses équipes travaillant dans le périmètre de la production d'hydrogène par électrolyse, de son stockage, et de sa conversion en électricité à travers les Piles à Combustible

Equipe de Direction

Directeur : Olivier Joubert (IMN-Nantes)

Directeur Adjoint : Daniel Hissel (FEMTO ST - Belfort)

Responsables d'axe :

- Production d'hydrogène décarboné : Jean-Marc Bassat (ICMCB-Bordeaux) et Valérie Keller (ICPEES-Strasbourg)
- Stockage : Sylvie Castagnet (Institut P' - Poitiers) et Patricia De Rango (Institut Néel-Grenoble)
- Mobilité : Marian Chatenet (LEPMI-Grenoble) et Nadia Yousfi-Steiner (FEMTO ST - Belfort),
- Production d'énergie et usages industriels : Annie Le Gal La Salle (IMN-Nantes) et Christophe Turpin (LAPLACE- Toulouse)
- Formation : Florence Druart (LEPMI-Grenoble) et Gilles Taillades (ICG-Montpellier)
- Plateformes : Olivier Rallières (LAPLACE-Toulouse) et César Steil (LEPMI - Grenoble)
- Relations internationales : Christophe Coutanceau (IC2MP-Poitiers) et Claudia Zlotéa (ICMPE-Thiais)

Bureau de direction :

Il est composé du Directeur, du Directeur Adjoint et des responsables d'axe en y associant Fermin Cuevas, ancien responsable d'axe entre 2020 et 2024.

Le Conseil

Il est composé des représentants de chaque Laboratoire nommés par leur Directeur d'Unité respectifs, du bureau de direction et d'invités permanents représentants les instituts de rattachement de la FRH2 (INC et INSIS). Son rôle est consultatif sur la stratégie de l'unité, ses ressources et son organisation.

Liste des laboratoires de la Fédaratio Hydrogène et leurs représentants :

CIRIMAT (UMR5085 -Toulouse) : Pascal LENORMAND, Christophe Tenailleau
ENERGYLAB (EA4079-La Réunion) : Michel BENNE, Jean-Jacques AMANGOUA KADJO
FCLAB (UAR2200-Belfort) : Marie-Cécile PERA, David BOUQUAIN
FEMTO ST (UMR6174-Belfort) : Pascal BRIOIS, Nadia YOUSFI-STEINER
GREMI (UMR7344 -Orléans) : Amaël CAILLARD et Anne-Lise THOMANN
IC2MP (UMR7285-Poitiers) : Christophe COUTANCEAU, Teko NAPPORN
ICGM (UMR5253-Montpellier) : Deborah JONES, Gilles TAILLADES
ICMCB (UMR5026-Bordeaux) : Jean-Louis BOBET, Jean-Marc BASSAT
ICMMO (UMR8182-Orsay) : Pierre MILLET et Loïc ASSAUD
ICMPE (UMR7182-Thiais) : Claudia ZLOTEA
ICPEES (UMR7515 -Strasbourg) : Gwénaëlle KERANGUEVEN, Spyridon ZAFEIRATOS
IEM (UMR5635- Montpellier) : Yaovi HOLADE, Umit DERMICI
IJL (UMR7198-Nancy) : Vanessa FIERRO, Alain CELZARD
IMN (UMR6502-Nantes) : Annie Le GAL LA SALLE, Eric QUAREZ
IRCER (UMR6638-Limoges) : Pierre-Marie GEFFROY
IRCELYON (UMR5256-Lyon) : Philippe VERNOUX et Valérie MEILLE
IRCP(UMR8247-Paris) : Armelle RINGUEDE et Virginie LAIR
IREENA (EA4642-St Nazaire) : Jean-Christophe OLIVIER, Mohamed MACHMOUM
ISCR (UMR6226-Rennes) : Bruno FABRE, Mona BAHOUT
LAPLACE (UMR5213-Toulouse) : Christophe TURPIN; Olivier RALLIERES
LEMTA (UMR7563-Nancy) : Gael MARANZANA, Julia MAINKA
LEPMI (UMR5279-Grenoble) : Marian CHATENET, Florence DRUART
LGF (UMR5307-St Etienne) : Jean-Paul VIRICELLE, Mathilde RIEU
LRCS (UMR7314-Amiens) : Raphaël JANOT
LTeN (UMR6607-Nantes) : Bruno AUVITY
NEEL (UPR2940-Grenoble) : Patricia DE RANGO, Laetitia LAVERSENNE
PPRIME (UPR3346-Poitiers) : Anthony THOMAS, Sylvie CASTAGNET
SPE (UMR6134-Corse) : Christian CRISTOFARI, Marc MUSELLI
SPMS (UMR8580-Paris) : Guilhem DEZANNEAU
UCCS (UMR8181-Lille) : Rose-Noëlle VANNIER

Programme synthétique

Programme des Plénières FRH2
17 - 21 novembre 2025, Annecy

	Lundi 17 novembre	Mardi 18 novembre		Mercredi 19 novembre		Jeudi 20 novembre		Vendredi 21 novembre	
		8:50 – 10:30	Sessions parallèles STO/PACEEP/SO/SYS	8:50 – 10:30	Sessions parallèles STO/PACEEP/SO/SYS	8:50 – 10:30	Sessions parallèles STO/PACEEP/SO/SYS	8:50 – 10:30	Sessions parallèles STO/PACEEP/SO/SYS
		10:30 – 11:00	break	10:30 – 11:00	break	10:30 – 11:00	break	10:30 – 11:00	break
		11:00 – 12:30	Sessions parallèles STO/PACEEP/SO/SYS	11:00 – 12:30	Sessions parallèles STO/PACEEP/SO/SYS	11:00 – 12:30	Sessions parallèles STO/PACEEP/SO/SYS	11:00 – 12:30	Sessions parallèles STO/PACEEP/SO/SYS
		12:30-14:00	Déjeuner	12:30-14:00	Déjeuner	12:30-14:00	Déjeuner	12:30-14:00	Déjeuner
15:00 – 16:00	Assemblée Générale FRH2 (uniquement les représentants des laboratoires de la FRH2)	14:00 – 16:00	Sessions parallèles STO/PACEEP/SO/SYS		temps libre pour échanges ou découverte de l'écosystème local	14:00 – 15:30	session plénières industriels		
16:00 – 16:30	break	16:00 – 16:30	break			15:30 – 16:00	break		
16:30 – 17:20	Discours Introductifs	16:30 – 18:00	Prix de thèse			16:00 – 17:00	session plénières industriels		
17:20-19:00	Conférences introductives	18:00 – 19:30	Session Posters + Apéro						
19:00-21:00	Dîner	19:30 – 21:00	Dîner suivi Karaoké	17:45 – 18:30	Présentation plénière	18:30 – 19:00			
				18:30 – 19:30	Session Posters + Apéro				
				19:30 – 21:00	Dîner suivi soirée dansante	19:00 – 21:00	Dîner		

5^{ème} REUNION PLENIERES FRH2 d'Annecy 17-21 Novembre 2025

Programme détaillé des sessions en plénière

Lundi 17 Novembre 2025

15h00 – 16h00 : **Réunion du Conseil de la FRH2** (direction de la FRH2 et les représentants des laboratoires)

16h – 16h30 : Pause-Café

16h30 – 17h20 : **Ouverture des plénières 2025**

Olivier Joubert (*directeur de la FRH2*)

Jean-Marc Bassat (*Chargé de mission à CNRS-Chimie*)

Christophe Geantet (*DU IRCE LYON*)

17h20 – 18 40: Conférences Introductives

17h20 – 17h50 **PLENIERE 1 : Couplage des infrastructures électriques et hydrogène en Région Auvergne-Rhône-Alpes**

Oumou LY *Chargée de Mission Stratégique, NaTran, St Etienne*

Ony RABETSIMAMANGA *Chargée d'affaires – Stratégie, Storengy France, Paris*

Timothée DAVID *Directeur des affaires publiques Auvergne-Rhône-Alpes RTE, Lyon*

17h50 – 18h10 **PLENIERE 2 : L'énergie des marges : l'hydrogène comme technique de crise en France au XXe siècle**

Nicolas SIMONCINI

Maître de conférences Histoire et sociologie des techniques, FEMTO-ST; Belfort

18h10 – 18h40 **PLENIERE 3 : Sécurité et hydrogène**

Nabiha CHAUMEIX

Directrice de recherche CNRS, directrice du laboratoire ICARE, Orléans

18h40 – 19h00 **PLENIERE 4 : l'électronique de puissance : des solutions innovantes pour l'alimentation des électrolyseurs de forte puissance**

Thierry MEYNARD

Directeur de recherche CNRS, LAPLACE, Toulouse

19h00 – : Diner

Mardi 18 Novembre 2025

8h50 – 12h30 : Sessions orales parallèles (cf programme détaillé par axe)

12h30 – 14h00 : Pause-déjeuner

14h00 – 16h00 : Sessions orales parallèles (cf programme détaillé par axe)

16h30 – 18h00 : Remise des prix de these de la FRH2 à Clotilde Roberte et Rémi Bacabe

En presence du jury : Olivier Joubert (Professeur, Nantes), Sophie Didierjean (Professeure, Nancy), Sylvie Castagnet (Directrice de recherche CNRS, Poitiers), Valérie Keller (Directrice de recherche CNRS, Strasbourg), Christophe Turpin (Directeur de recherche CNRS, Toulouse), Jean-Louis Bobet (Professeur, Bordeaux)

16h30 – 17h00 **PLENIERE 5** : Optimisation d'un système Pile Hydrogène / Batteries / Supercondensateurs pour une application portuaire, intégrant les contraintes d'usage et les aspects sociétaux-environnementaux

Clotilde ROBERT

17h00 – 17h30 **PLENIERE 6** : Développement de pile à combustible à cathode à flux régénérable chimiquement

Rémi BACABE

17h30 – 18h00 : remise des prix

18h30 – : Apéritif et Diner

Mercredi 19 Novembre 2025

8h50 – 12h30 : Sessions orales parallèles (cf programme détaillé par axe)

12h30 – 14h00 : Pause-déjeuner

Après-midi de découverte de l'écosystème local (libre).

17h45 – 18h00 **PLENIERE 7 : Point d'avancement sur la creation du reseau de plateformes H2 au CNRS**

Marie-Cecile Pera

Professeur, FEMTO-ST et FCLAB, Belfort

18h00 – 18h30 **PLENIERE 8 : RHP, le réseau haute pression du CNRS**

Stefan Klotz

Directeur de recherche CNRS, et membre du comité de pilotage du réseau de technologie des hautes pressions, Institut de minéralogie, de physique des matériaux et de cosmochimie, Paris

19h00 – : Diner

Jeudi 20 Novembre 2025

8h50 – 12h30 : Sessions orales parallèles (cf programme détaillé par axe)

12h30 – 14h00 : Pause-déjeuner

14h00 - 17h30 : **session plénière "Industriels"**

Chairman Daniel HISSEL

14h00 – 14h20 **PLENIERE 9 : Filière hydrogène en Région Auvergne-Rhône-Alpes**

Laurence Minne

Directrice de projet hydrogène, Direction de l'environnement et de l'écologie positive, Conseil régional Auvergne-Rhône-Alpes, Lyon

14h20 – 14h40 **PLENIERE 10 : Adele Hydrogen's Breakthrough in Scalable Non-PGM Materials for Alkaline Electrolyzers**

Huong DOAN,

Senior electrochemist and Lab manager, Adele Hydrogen SAS (Lyon)

14h40 – 15h00 **PLENIERE 11 : Green H2 @Syensqo: Innovative materials and their applications for the energy transition**

Bertrand PAVAGEAU

R&I Part. & Tech. Dev. Leader, Green Hydrogen Platform, SYENSQO (Pessac)

15h00 – 15h20 **PLENIERE 12 : Développement des LT-PEM à hydrogène Axane : coût, performance, durabilité, et demain ?**

Johan ANDRE

Air Liquide

15h20 – 15h40 **PLENIERE 13 : Development of Advanced Diagnostic and Testing Solutions for Degradation Studies of Fuel Cells and Electrolysers**

Guillaume KESSLER

Senior Market Specialist, HORIBA Business Development Alternative Energy Solutions (Vénissieux)

15h40 – 16h00 : Pause-Café

Chairman Olivier JOUBERT

16h00 – 16h20 **PLENIERE 14 : Mobilité et motorisation H2, projets et moyen d'essai au CRMT**
Olivier MARCHAND

Directeur Innovation et Développement, CRMT (Lyon)

16h20 – 16h40 **PLENIERE 15 : SRT Microcéramique : montée en capacité d'une ligne SOC made in France pour l'hydrogène industriel**

Romain BILLARD

Docteur-Ingénieur Matériaux – Expert Cellule Hydrogène, SRT microcéramique (Vendôme)

16h40 – 17h00 **PLENIERE 16 : Stratégie Michelin pour les membranes Piles et Electrolyseurs H2**

Fabien DUFOUR

Manager & Expert Matériaux Composites (Recherche avancée), Centre de Recherche et de Technologie de Ladoux, MICHELIN (Cebazat)

19h00 – : Diner

Vendredi 21 Novembre 2025

8h50 – 12h30 : Sessions orales parallèles (cf programme détaillé par axe)

12h30 – 14h00 : Déjeuner

14h00 : Fin de la Réunion plénières 2025 de la FRH2

Fédération de recherche Hydrogène

Programme de la session "Stockage" (STO)

Responsables scientifiques : **Sylvie Castagnet et Patricia de Rango**

Mardi 18 novembre 2025

8h50 - 9h15. Mot de bienvenue - Sylvie Castagnet et Patricia de Rango

9h15 – 10h30 : **Chairwoman Anne Maynadier**

9h15 – 9h40

STO1 - Développement d'une approche d'équivalence en termes de fragilisation par l'hydrogène entre chargement gazeux et chargement cathodique pour des aciers

S. Coop-Phane^{1,2}, A. Oudriss¹, L. Briottet², X. Feaugas¹

¹LaSIE UMR 7356, La Rochelle Université, avenue Michel Crépeau 17000, La Rochelle

²Univ. Grenoble Alpes, CEA, LITEN, DTCH, LCA, F-38000 Grenoble, France

9h40 – 10h05

STO2 - Influence de la formulation chocs sur la tenue du PA11 en décompression : application au liner de réservoirs hyperbares type IV

M. Ramarosaona^{1,2}, S. Castagnet¹, D. Halm¹, H-A. Cayzac², P. Papin³

¹INSTITUT P' Département PMM - CNRS, ISAE-ENSMA, Université de Poitiers

²ARKEMA – CERDATO Centre R&D de Serquigny

³Air Liquide – Centre R&D aux Loges -en-Josas

10h05 – 10h30

STO3 - Damage assessment of hydrogen-exposed PA11 liners via structural and mechanical analysis

Barthélémy Gros¹, Hervé Mathis², Jean-François Gérard¹, Xavier P. Morelle¹, Paul Sotta¹

¹Laboratoire Ingénierie des Matériaux Polymères (IMP), UMR CNRS 5223 – INSA de Lyon, 17 Avenue Jean Capelle, 69621 Villeurbanne, France.

²CEA Le Ripault, Centre d'Etudes du Ripault, 37260 Monts, France.

10h30 – 11h00 : Pause

11h00 – 12h30 : **Chairman Laurent Briottet**

11h00 – 11h25

STO4 - Damage detection in type IV hydrogen tank liner after rapid gas decompression

I. KARIM¹; D. CHAPELLE¹; A. MAYNADIER¹; F. THIEBAUD¹, M-H. KLOPFER²

¹Université Marie et Louis Pasteur, CNRS, institut FEMTO-ST, F-25000 Besançon, France

²IFP Energies nouvelles, 1-4 Av. du Bois Préau, 92852 Rueil-Malmaison, France

11h25 – 11h50

STO5 - Simulation de la propagation de fissures de fatigue assistée par l'hydrogène gazeux à très haute pression

PERRIER-MICHON Augustin¹, NAIT-ALI Azdine¹, CHARLES Yann², HÉNAFF Gilbert¹, GUEGUEN Mikael¹, HALM Damien¹

¹ Institut Pprime, ISAE-ENSMA, Chasseneuil du Poitou, France

² LSPM, Université Sorbonne Paris-Nord, Villetaneuse, France

11h50 – 12h15

STO6 – On hydrogen entry through oxide layer grown on Cr-Mo steel

AKASH Akash^{1,3}, Frantz Martin¹, Christine Blanc², Manjunath Naik², Alixe Dreano³, Frédéric Christien³

¹ Université Paris Saclay, CEA, Service Recherche en Corrosion et Comportement des Matériaux, Gif sur Yvette, France

² CIRIMAT, Université de Toulouse, Toulouse INP, CNRS, 4 allée Émile Monso, 44362, Toulouse cedex 04, France

³ Mines Saint-Etienne, CNRS UMR 5307 LGF, Centre SMS, 42023 Saint-Etienne, France

12h15 – 12h30 : **Présentation flash des posters (3 minutes / poster)**

STO7 - Impact of Fe thin film deposition on the hydrogen absorption properties of Ti

Anthony Alhayek^{1,3}, Patricia de Rango², Jaafar Ghanbaja³, Sylvie Migot³, Vincent Fournée³, Thierry Grosdidier¹, Julian Ledieu³.

¹ Laboratoire d'Etude des Microstructures et de Mécanique des Matériaux, Université de Lorraine, UMR CNRS 7239, 7 rue Félix Savart, F-57073, Metz, CEDEX 03, France.

² Université Grenoble Alpes, CNRS, Institut Néel, 38000, Grenoble, France.

³ Institut Jean Lamour, Université de Lorraine, UMR7198-CNRS, Campus ARTEM, Nancy, France.

STO8 - Ammonia synthesis from solar-assisted chemical looping processes

Emma Fernandez^{1,2}, Nicolas Bion¹, Stéphane Abanades²

¹ CNRS, Université de Poitiers, Institut de Chimie des Milieux et Matériaux de Poitiers (IC2MP), Poitiers, France

² CNRS, Procédés Matériaux et Energie Solaire (PROMES), Odeillo Font-Romeu, France

STO9 - Numerical Investigation of an Opposite-Phase Thermally Driven Hydrogen Compressor for Improved Heat Recovery

H. Sumbhaniya^{a,b}, V Nicolas^a, K Mozet^b, G Maranzana^b, A Celzard^{a,c}, G Sdanghi^b, V Fierro^a

^a Université de Lorraine, CNRS, IJL, F-88000 Epinal, France

^b Université de Lorraine, CNRS, LEMTA, F-54000 Nancy, France

^c Institut Universitaire de France, F-75231 Paris, France

STO28 – Definition of a representative mechanical test for polymers used in liners of type IV hydrogen storage tanks

Florent Alexis¹, Mitia Ramarosaona¹, Hervé Mathis², Sylvie Castagnet¹, Damien Halm¹

¹ Institut Pprime (CNRS - ISAE-ENSMA - Université de Poitiers), Poitiers, France

² CEA Le Ripault, Monts, France

14h00 – 16h00 : **Réunion du projet PEPR-H2 HYPERSTOCK**

Mercredi 19 novembre 2025

8h50 – 10h30 : Chairman Vincent Nicolas

8h50 – 9h15

STO10 - Tuning the TiVCrNbMo alloys composition for solid-state hydrogen storage: enhanced performance under room temperature cycling

Andrei AGAFONOV and Claudia ZLOTEA

Univ. Paris-Est Creteil, CNRS, ICMPE, UMR 7182, 2 Rue Henri Dunant, 94320 Thiais, France

9h15 – 9h40

STO11 - Microstructure and Hydrogen Storage Properties of Mg-Gd-Ni Alloys Containing LPSO Phases

Najib EL RHAZFOURI, Etienne GAUDIN, Jean-Louis BOBET

University of Bordeaux, ICMCB, 87 Avenue du Dr. A. Schweitzer, 33608 Pessac, France

9h40 – 10h05

STO12 - Development of a demonstrator (prototype) to study the hydrolysis reaction under real conditions

Bachar KASSEM¹, Jean-Louis Bobet¹, Umit B. Demirci²

¹*University of Bordeaux, ICMCB, 87 Avenue du Dr. A. Schweitzer, 33608 Pessac, France*

²*IEM, CNRS, University of Montpellier, 34090, Montpellier, France*

10h05 – 10h30

STO13 - Liquid Hydrogen boil-off mitigation via MOFs and MOFs/carbon hybrids

L. Jimenez-Lopez¹, J. Park², R. Morales-Ospino¹, A. Celzard^{1,3}, H. Oh², V. Fierro¹

¹*IJL, Université de Lorraine, CNRS, F-88000 Epinal, France*

²*Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST), Ulsan 44919, Republic of Korea*

³*Institut Universitaire de France (IUF), 75005 Paris, France*

10h30 – 11h00 : Pause

11h00 – 12h15 : Chairwoman Claudia Zlotea

11h00 – 11h25

STO14 - Synthesis of hydroboranes and borohydrides for hydrogen storage

Lilian Hoareau, Alexis Mifleur, Thibault Cantat, Jean-Claude Berthet

Université Paris-Saclay, CEA, CNRS, NIMBE, 91191 Gif-sur-Yvette

11h25 – 11h50

STO15 - Pressure-Powered Electrochemistry: Unlocking Hydride Precursors for Regeneration of a Solid-State Hydrogen Storage Complex Metal Hydrides

E. Ugaddan^{1,2*}, U. Demirci², T. Charpentier³ and P. Hajiyev¹

¹*LITEN, CEA, Grenoble Alpes University, 38000 Grenoble, France*

²*IEM, CNRS, University of Montpellier, 34090, Montpellier, France*

³*NIMBE, CEA, University of Paris-Saclay,, 91191, Gif-sur-Yvette, France*

11h50 – 12h15

STO16 - TiVCr-based High Entropy Alloys for solid-state hydrogen storage

Léa Abou-Samra¹, Aude Bailly¹, Jean-Marc Joubert², Maria Diaz-Lopez¹, Richard Haettel¹, Emmanuel Verloop¹, Patricia De Rango¹, Laetitia Laversenne¹

¹*Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, Institut Néel, 38000 Grenoble, France*

²*Univ. Paris-Est Créteil, CNRS, ICMPE, UMR7182, 94320 Thiais, France*

14h00 – 16h00 : Réunion du projet PEPR-H2 SOLHYD

Jeudi 20 novembre 2025

8h50 – 10h30 : **Chairman Nicolas Bion**

8h50 – 9h15

STO17 - L'acide formique pour le stockage d'hydrogène

Cédric Fischmeister¹, Shengdong Wang,¹ Haiyun Huang,¹ Liwei Guo,¹ Christian Bruneau,¹ Raphael Verron,¹ Emmanuel Puig,² Pierre Sutra,² Alain Igau²

¹ Univ Rennes, CNRS, ISCR (Institut des Sciences Chimiques de Rennes) – UMR 6226 F-35042 Rennes, France.

² CNRS, LCC (Laboratoire de Chimie de Coordination). Université de Toulouse, UPS, INPT. 205 route de Narbonne, BP 44099. 31077 Toulouse Cedex 4, France

9h15 – 9h40

STO18 - Structural and Hydrogenation Properties of $Y_{0.88}Ni_{3-x}Mn_x$ Alloys

Junxian Zhang¹, Ghofrane Fedloulk¹, Judith Monnier¹, Laetitia Laversenne², Lei Lei³, Sanliang Ling³

¹Univ Paris Est Créteil, CNRS, ICMPE UMR 7182, 2 rue Henri Dunant, 94320 Thiais, France

²University Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, Institut Néel, 38000, Grenoble, France

³Advanced Materials Research Group, Faculty of Engineering, University of Nottingham, Nottingham, NG7 2RD, UK

9h40 – 10h05

STO19 - Estimation en ligne de l'état de charge d'un système de stockage solide de l'hydrogène

Amina YAHIA, Djafar CHABANE, Salah LAGHROUHE, Abdoul N'DIAYE, Abdesslem DJERDIR
Université Marie et Louis Pasteur, UTBM, CNRS, Institut FEMTO-ST, FCLAB, 90000 Belfort, France

10h05 – 10h30

STO20 - Modélisation multi-échelle d'un réacteur à lit ruisselant pour l'hydrogénation du dibenzyltoluène comme LOHC

Casimir MAUDET^{1,2}, François Rousset¹, Marc Clausse¹, et Isabelle Pitault²

¹Univ. Lyon, INSA Lyon, CNRS, CETHIL, UMR 5008, Villeurbanne, France

²Univ. Lyon, UCBL Lyon 1, CNRS, LAGEPP, UMR 5007, Villeurbanne, France

10h30 – 11h00 : Pause

11h00 – 12h15 : **Chairwoman Isabelle Pitault**

11h00 – 11h25

STO21 - Déshydrogénation du perhydrobenzyl-toluène (LOHC) : avancées en catalyse et cinétique

Valérie Meille, Nataliia Marchenko, Mohamad Kharma, Laurent Piccolo, Nuno Batalha
IRCELYON, CNRS – UCBL, Campus de la Doua, VILLEURBANNE

11h25 – 11h50

STO22 - Cold-rolling of Ti based alloys : How does plastic deformation improve the hydrogen sorption ?

Thierry Grosdidier^{1,3}, Anthony Alhayek^{1,2}, Julian Ledieu², Jing Wen^{1,3}, Vincent Fournée², Sylvie Migot², Jaafar Ghanbaja², Jacques Huot⁴, Patricia de Rango⁵

¹ Université de Lorraine, CNRS, Arts et Métiers Institute of Technology, Laboratoire d'Etude des Microstructures et de Mécanique des Matériaux (LEM3), F-57000 Metz, France.

² Université Lorraine, CNRS, IJL, F-54000 Nancy, France

³ LABORATOIRE D'EXcellence "Design of Alloy Metals for Low-mAss Structures" (LABEX-DAMAS), 7 Rue Félix Savart, 57073, Metz, France.

⁴ Université du Québec. Trois-Rivières, Hydrogen Research Institute, Trois-Rivières, Canada.

⁵ Université Grenoble Alpes, CNRS, Institut Néel, 38000, Grenoble, France.

11h50 – 12h15

STO23 - Amidoboranes bimétalliques pour le stockage de l'hydrogène

Matthias Jollain¹, Alexandre Bernard¹, Christine Surcin¹, Maxence Vincent², Umit B. Demirci², Raphaël Janot¹

¹ Laboratoire de Réactivité et Chimie des Solides (LRCS), CNRS UMR 7314, Université de Picardie Jules Verne, 15 rue Baudelocque, 80039, Amiens, France

² Institut Européen des Membranes (IEM), CNRS UMR 5635, Université de Montpellier, ENSCM, 34090 Montpellier, France

Vendredi 21 novembre 2025

8h50 – 10h30 : **Chairman Cédric Fischmeister**

8h50 – 9h15

STO24 - Study of the hydrodynamic phenomena of three-phase reactors: hydrogenation and dehydrogenation of Liquid Organic H₂ Carriers

MURLO A.^{1, 2}, CHAPPAZ A.¹, PANZONE C.¹, PITAULT I.²

¹CEA, Grenoble, 38000, France

²Université Claude Bernard, Lyon, 69100, France

9h15 – 9h40

STO25 - The role of Al addition on the hydrogen sorption properties of TiVZrNbHf high entropy alloy

Claudia Zlotea, Faye Greaves¹, Vivian Nassif², Maria Alfredsson³, Alan V. Chadwick³, Ryan Parmenter³, Jakub Cizek⁴, Oksana Melikhova⁴, Lei Lei⁵, David M. Grant⁵, Martin Dornheim⁵, Sanliang Ling⁵, Patrick Cullen⁶

¹Univ. Paris Est Creteil, CNRS, ICMPE, UMR 7182, 2 Rue Henri Dunant, 94320 Thiais

²University Grenoble Alpes, CNRS, Institut Néel, 38000 Grenoble, France

³Materials Energy and Electronics Group, School of Chemistry and Forensic Sciences, University of Kent, Canterbury, Kent CT2 7NH, UK

⁴Faculty of Mathematics and Physics, Charles University, V Holesovickach 2, Prague 8 18000, Czech Republic

⁵Advanced Materials Research Group, Faculty of Engineering, University of Nottingham, Nottingham NG7 2RD, UK

⁶School of Engineering and Materials Science, Queen Mary University of London, Mile End Road, London E1 4NS, UK

9h40 – 10h05

STO26 - To a better knowledge of alkylcarbazoles as LOHC

Isabelle Pitault¹, Yang Wu¹, Aurélie Galfré¹, Carine Julcour², Téo Jorge², Anne-Marie Billet², Isabelle Polaert³, Ruddybel Benjamin Tiburcio³, Alain Ledoux³

¹LAGEPP, CNRS-UCBL, 69100 Villeurbanne

²LGC, CNRS-INPT, 31000 Toulouse

³LSPC, INSA-Rouen, 76800 Saint-Étienne-du-Rouvray

10h05 – 10h30

STO27 - Propriétés de composés ternaires T-Mg-M (T = Terre rare, M=Ni, Co)

V. Paul-Boncour¹, Y. Verbovytskyy², I. Zavaliy², R. Denys³, V. Shtender⁴

¹Univ Paris Est Créteil, CNRS, ICMPE, UMR 7182, 2 rue Henri Dunant, 94320 Thiais, France

²Karpenko Physico-Mechanical Institute, NAS of Ukraine, 5 Naukova St., 79060 Lviv, Ukraine

³HYSTORSYS AS, Kjeller, Norway

⁴Department of Chemistry, Ångström Laboratory, Uppsala University, Uppsala 75121, Sweden



Fédération de recherche Hydrogène

Programme de la session Basse Température (PACEEP)

Responsables scientifiques : **Marian Chatenet, Valérie Keller et Christophe Coutanceau**

Mardi 18 novembre 2025 – Session parallèle 1

8h30 – 10h30 : Feina Xu

8h30 – 9h00 **PACEEP 1 : Méthodologie de modélisation de la dégradation des PEMFC à l'échelle macroscopique et simulation sur des longues durées**

Guillaume SERRE, Sylvie Escribano

Univ. Grenoble Alpes, CEA, LITEN, 38000 Grenoble, France

9h00 – 9h30 **PACEEP 2 : Impact de la dynamique de bulles sur l'électrolyse de l'eau**

Nicolas Cazanove^{1, 2}, Thomas Mabit¹, Hiba Saada¹, Florian Scholkopf¹, Hamid Ben Ahmed², Laurent Courbin¹ et Marie-Caroline Jullien¹

¹Univ Rennes, CNRS, IPR (Institut de Physique de Rennes) - UMR 6251, F-35000 Rennes

²ENS Rennes, CNRS, IETR, Campus de Ker Lann, 11 Av. Robert Schuman, 35170 Bruz.

9h30 – 10h00 **PACEEP 3 : Modeling of Anion Exchange Membrane Electrolysis: Investigation of the Dual Ion-Transport Pathways**

Erwan Tardy, Marine Cornet, Florent Vandenberghe, Yann Bultel, Antoine Bonnefont, Florence Druart

Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, Grenoble INP, LEPMI, F-38000 Grenoble, France

10h00 – 10h30 **PACEEP 4 : Une approche couplée expérimentale et modèle pour l'estimation in-situ des paramètres effectifs de transport de l'eau dans une membrane AEM (PiperION)**

V. Leduc, G. Sdanghi, F. Xu, J. Dillet, S. Didierjean, G. Maranzana

LEMTA, Univ. de Lorraine, CNRS, 54500 Vandœuvre-lès-Nancy, France

10h30 – 11h00 : Pause

Mardi 18 novembre 2025 – Session parallèle 2

8h30 – 10h30 : Dodzi Zigah

8h30 – 9h00 **PACEEP 5 : Production of green hydrogen from olivine and seawater using power ultrasound**

Sergey I. Nikitenko, Tony Chave

9h00 – 9h30 **PACEEP 6 : Matériaux de types hydrotalcite et pérovskite pour la photo-électro-catalyse et la production de dihydrogène**

C. Tenailleau, Z. Poujol, P. Lenormand, P.L. Taberna

CIRIMAT, Université de Toulouse, INP, CNRS, 118 Route de Narbonne, 31062 Toulouse cedex 9 - France

9h30 – 10h00 **PACEEP 7 : Doped perovskite oxides for the photo-electro-catalytic and photo-catalytic production of hydrogen**

Manuel Antuch

Univ. Lille, CNRS, Centrale Lille, Univ. Artois, UMR 8181, UCCS, Unité de Catalyse et Chimie du Solide, Lille F-59000, France

10h00 – 10h30 **PACEEP 8 : High-Entropy Oxide as a New Class of Photoelectrocatalysts for Water Splitting**

Dodzi Zigah¹, Magan Himanshu², Mohammad Slim¹, Imene Rayane¹, Adrien Moll², David Berardan², Nita Dragoe², Claudia Gomes De Moraes¹, Junsoo Han³, Emilie Gaudry⁴, Thomas Cottineau⁵, Emmanuel Maisonhaute⁶

¹IC2MP, Université de Poitiers, CNRS, 86073, Poitiers, France ; ²SP2M, ICMO, Univ Paris Saclay, CNRS, Orsay, France ; ³ LISE, CNRS, Sorbonne Université, F-75005, Paris, France ;

⁴Université de Lorraine, CNRS, IJL UMR 7198, Campus Artem, 2 Allée André Guinier, 54011 Cedex Nancy, France ; ⁵ICPEES UMR7515—CNRS—Université de Strasbourg, 25 rue Becquerel, 67087 Strasbourg, France ; ⁶IPCM CNRS, Sorbonne Université, F-75005, Paris, France.

10h30 – 11h00 : Pause

11h00 – 12h30 : **Olivier Lottin**

11h00 – 11h30 **PACEEP 9 : Local and global performance and degradation of PEMFC membrane and active layers at 95°C**

Aouatef Ouhammi, Guillaume Etienne, Julia Mainka, Jérôme Dillet, Assma El Kaddouri, Olivier Lottin

LEMTA, CNRS, Université de Lorraine, Nancy, France.

11h30 – 12h00 **PACEEP 10 : Impact of high frequencies current ripples on PEMFC materials degradation**

Morgane Stodel¹, Raphaël Chattot², Christophe Turpin³, Pascal Lenormand¹, Christophe Tenailleau¹

¹CIRIMAT, Université de Toulouse, Toulouse INP, CNRS, 31062 Toulouse cedex 9, France ; ²ICGM, Univ. Montpellier, CNRS, ENSCM, 34095 Montpellier cedex 5, France ; ³LAPLACE, Toulouse INP, Université de Toulouse, CNRS, 31071 Toulouse cedex 4, France.

12h00 – 12h30 **PACEEP 11 : Étude de l'impact de l'interface membrane-électrode sur la performance et la durabilité des piles à combustible à membrane échangeuse de protons**

Joïc Parisot, Assma El Kaddouri, Jérôme Dillet, Olivier Lottin

Université de Lorraine, CNRS, LEMTA, F-54000 Nancy, France

12h30 – 14h00 : Déjeuner

14h00 – 16h00 : **Stéphane Chevalier**

14h00 – 14h30 **PACEEP 12 : Dynamic accelerated stress test based on a real-life heavy duty driving cycle and applied to a segmented PEM fuel cell fed with dry air**

D. Mohamed^{1,2}, J.-P. Poirot-Crouvezier¹, S. Didierjean²

¹Univ. Grenoble Alpes, CEA, LITEN, DEHT, 38000 Grenoble, France ; ²LEMTA, CNRS, Université de Lorraine, 54000 Nancy, France.

14h30 – 15h00 PACEEP 13 : PEM Fuel Cell Durability under Accelerated Stress Test by Voltage Cycling: Effect of High Operating Temperature

Mylène Robert¹, Arnaud Morin¹, Laure Guétaz², Joël Pauchet¹, Jens Mitzel³, Pawel Gazdzicki³

¹Univ Grenoble Alpes, CEA, Liten, DEHT, 38000 Grenoble, France ; ²Univ Grenoble Alpes, CEA Liten, DTNM, 38000 Grenoble, France ; ³German Aerospace center (DLR), Institute of Engineering Thermodynamics, Pfaffenwaldring 38-40, 70569 Stuttgart, Germany.

15h00 – 15h30 PACEEP 14 : Direct Observation of the pH in the Local Reaction Environment using Ratiometric Fluorescent Probes

Paul Chassagne¹, Mathieu Gervais¹, Amandine Brige¹, Alexandr Oshchepkov¹, Gilles Ulrich¹, Elena R. Savinova¹, Pascal Didier², Julien Massue¹, Tristan Asset¹

¹ICPEES, UMR 7515 CNRS-ECPM-Université de Strasbourg, 25 rue Becquerel, 67087 Strasbourg Cedex 2, France ; ²Laboratoire de Bioimagerie et Pathologies, UMR 7021 CNRS, Université de Strasbourg, Faculté de Pharmacie, 74 Route du Rhin, 67401 Illkirch Cedex, France

15h30 – 16h00 PACEEP 15 : Operando characterization of PEM water content using infrared spectroscopic imaging

Kevin Krause, Stéphane Chevalier

Arts et Métiers Institut de Technologie, CNRS, Université de Bordeaux, Bordeaux INP, Institut de mécanique et d'ingénierie (I2M), Bâtiment A11, 351 Cours de la Libération, 33405 Talence, France

Mercredi 19 novembre 2025 : – Session parallèle 1

8h30 – 10h30 : Elodie Pahon

8h30 – 9h00 PACEEP 16 : Vers une meilleure compréhension des mécanismes de rodage dans la pile à combustible à membrane échangeuse de protons

Gaspard Langlois^{1,2,3}, Fabian Van der Linden¹, Julien Durst¹, David Bouquain², Marian Chatenet³, Elodie Pahon²

¹Symbio, Saint-Fons, France ; ²Université de Marie et Louis Pasteur, FEMTO-ST, FCLAB, UTBM, CNRS, Belfort, France ; ³Université Grenoble Alpes, Université Savoie Mont-Blanc, CNRS, Grenoble INP, LEPMI, Grenoble, France

9h00 – 9h30 PACEEP 17 : Understanding of the limiting phenomena to reach PEMFC nominal performance during break-in phase

Charline RÉMY, Fabrice MICOUD, Sébastien ROSINI, Arnaud MORIN

Univ. Grenoble Alpes, CEA, Liten, 38000 Grenoble, France

9h30 – 10h00 PACEEP 18 : Evaluation of the adhesion between a catalyst-coated membrane and various types of GDLs for PEMFC

Jérémie Chatelain, Christophe Carral, Julien Giboz, Bruno Previdello, Marian Chatenet, Patrice Mele

Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, Grenoble INP, LEPMI, 38000 Grenoble, France

10h00 – 10h30 PACEEP 19 : Carbon nanotube-based porous material as a novel gas diffusion layer for proton exchange membrane fuel cell (PEMFC)

Guillaume Donadey¹, Emeline Charon¹, Arnaud Morin², Mathieu Pinault

¹Université Paris-Saclay, CEA, CNRS, NIMBE, 91191, Gif-sur-Yvette/France ; ²Univ. Grenoble Alpes, CEA, LITEN, 38000, Grenoble/France

10h30 – 11h00 : Pause

11h00 – 12h30 : **Marian Chatenet**

11h00 – 11h30 **PACEEP 20 : Spectroscopic Investigation of the Pt/Ionomer Electrochemical Interface during Oxygen Reduction Reaction**

S. Moura Lopes¹, Jean-Blaise Brubach², R. Ramos¹, A. Morin¹

¹Univ. Grenoble Alpes, CEA, Liten, 38000 Grenoble, France ; ²Synchrotron SOLEIL, L'Orme des Merisiers, BP 48-Gif-sur-Yvette CEDEX, F-91192, France.

11h30 – 12h00 **PACEEP 21 : Next generation of improved High Temperature Membrane Electrode Assembly for Aviation**

Manon Prioux¹, Arnaud Morin¹, Nikolaos Theodoropoulos², Emory De Castro², George Paloumpis²

¹Université Grenoble Alpes / CEA Liten, Grenoble, France ; ²Advent Technologies / Patras, Greece.

12h00 – 12h30 **PACEEP 22 : How to properly carry out electrochemical characterizations by cyclic voltammetry in PEMFC stack?**

Raphaël Riasse, Fabrice Micoud, Damien Gloriod, Guillaume Laphitz, Marine Tregaro, Sébastien Rosini

Univ. Grenoble Alpes, CEA, Liten, 38000 Grenoble, France

12h30 – 14h00 : Déjeuner

Mercredi 19 novembre 2025 : – Session parallèle 2

9h00 – 10h30 : **Philippe Vernoux**

9h00 – 9h30 **PACEEP 23 : Highly selective Ni-Cu catalyst for HMF electrooxidation**

Z. Yan, I.R. Garduno-Ibarra, A. Boreave, F. Dappozze, J. Gonzalez-Cobos, L. Massin, M.S. Prévot, L. Retailleau-Mevel, P. Vernoux

Univ. Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, CNRS – UMR 5256, IRCELYON, 69626 Villeurbanne Cedex, France.

9h30 – 10h00 **PACEEP 24 : Eco-friendly microwave-assisted synthesis of ceramic-based catalysts for LOHCs hydrogenation**

Limor Ben Neon¹, Issam Nciri², Martin Drobek¹, Mikhael Bechelany¹, Christophe Coutanceau², Karine De Oliveira², Anne Julbe¹

¹Institut Européen des Membranes (IEM); CNRS, ENSCM, Univ Montpellier; Montpellier, 34095, France ;

²Institut de Chimie Des Milieux et Des Matériaux de Poitiers (IC2MP), Université de Poitiers, UMR 7285 CNRS, 1 Rue Marcel Doré, CEDEX 9, 86073 Poitiers, France

10h00 – 10h30 **PACEEP 25 : 5-HMF Electro-oxidation in Near-neutral and Acidic Conditions over Ru/C Catalyst : Tailoring Selectivity with Operating Conditions**

Emilie Guillier, Laurence Retailleau, Mathieu Prévot, Philippe Vernoux

IRCELYON, 2 Av. A. Einstein, F-69626 Villeurbanne Cedex, France

10h30 – 11h00 : Pause

11h00 – 11h30 **PACEEP 26 : Efficient Biomass-Assisted Hydrogen Generation with Atomically Engineered Pd–Ni Interfaces on Carbon Microfibers**

Zahra Hagheh Kavousi,^{a,b} Clemence Badie,^c V. Claman-Cenac,^d V. Campalli,^c Massomeh Ghorbanloo,^b Qing Wang,^d Hazar Guesmi,^d Lionel Santinacci,^e Mikhael Bechelany,^a
^aIEM Montpellier, UMR, 5635, Univ Montpellier, ENSCM, CNRS, 34090 Montpellier, France ; ^bDepartment of Chemistry, Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran ; ^cAix Marseille Univ, CNRS, CINaM, Marseille 13009 ; ^dICGM – UMR 5253, Institut Charles Gerhardt Montpellier (ICGM) – UMR 5253, University of Montpellier, CNRS, 34090 Montpellier, France ; ^eFrench Research Network on Hydrogen (FRH2), Research Federation IUF, CNRS, BP 32229, Nantes CEDEX 3 44322, France ; ^fInstitut Universitaire de France (IUF), 75005 Paris, France

11h30 – 12h00 **PACEEP 27 : Électrolyseur d'électroreformation de la biomasse cellulosique : Influence du type de glucose (D-, α -D-, β -D-glucose)**

Zahra Hagheh Kavousi¹, Amira Ben Abderrahmane¹, Sophie Tingry¹, David Cornu¹, Mikhael Bechelany^{1,2}, Yaovi Holade^{1,3}

¹Institut Européen des Membranes, IEM, UMR 5635, Univ Montpellier, ENSCM, CNRS, France ; ²Functional Materials Group, Gulf University for Science and Technology, Mubarak Al-Abdullah, Kuwait ; ³Institut Universitaire de France (IUF), Paris, France.

12h00 – 14h00 : Déjeuner

Jeudi 20 novembre 2023

8h30 – 10h00 : **Sylvie Escribano**

8h30 – 9h00 **PACEEP 28 : A Sensitivity study on PEMFC short-stacks for HD transport**

Marine Trégaro¹, Sylvie Escribano¹, Rami Al-Khamissi², Pawel Gazdzicki², Eva Fensterle³, Florian Wilhelm³

¹Univ. Grenoble Alpes, CEA, LITEN, DEHT, 38000, Grenoble, France ; ²German Aerospace Center (DLR), Institute of Engineering Thermodynamics, 70569 Stuttgart, Germany ; ³Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), 89081 Ulm, Germany.

9h00 – 9h30 **PACEEP 29 : PEMFC95 : Medium temperature PEMFC: impact of the drying processes of catalyst layers on their microstructure and performance**

V. Claman-Cenac¹, C. Nayoze-Coynel¹, M. Prat², M. Quintard², J. Pauchet¹

¹Univ. Grenoble Alpes, CEA, LITEN, DEHT, 38000, Grenoble, France ²Toulouse Institute of Fluid Mechanics (IMFT), 31400, Toulouse, France

9h30 – 10h00 **PACEEP 30 : Carbon-capped PtNi/C as active and durable oxygen reduction reaction catalysts in hot and dry PEMFC conditions**

Quentin Labarde¹, Thomas Gaumont¹, Laetitia Dubau¹, Fabrice Micoud², Marian Chatenet¹

¹Laboratoire d'électrochimie et de physico-chimie des matériaux et des interfaces (LEPMI) – Univ. Grenoble Alpes, 38000 Grenoble, France ; ²Univ. Grenoble Alpes, CEA, Liten, 38000 Grenoble, France

10h00 – 10h30 **PACEEP 31 : Multiscale porous carbon supports for PEMFC electrocatalysts**

M. Han¹, M. Heitzmann¹, F. Duclairoir², H. Mendil-Jakani², L. Dubois²

¹Univ. Grenoble Alpes, CEA, Liten, DEHT, 38000 Grenoble, France ; ²Univ. Grenoble Alpes, CEA, Irig, DIESE, 38000 Grenoble, France

10h30 – 11h00 : Pause

11h00 – 12h30 : **Corinne Lagrost**

11h00 – 11h30 **PACEEP 32 : Electro-catalyseurs à base d'ions cobalt et de métaux de transition du groupe VI pour la réaction d'évolution de l'oxygène (OER)**

Lucica Gabriela Boc^{1,2,3}, Clément Falaise², Loïc Assaud^{1,3}

¹Université Paris-Saclay, ICMMO, CNRS, 17 avenue des Sciences, 91400 Orsay ; ²Université Paris-Saclay, ILV, UVSQ, CNRS, 45 avenue des Etats Unis, 78000 Versailles ; ³Université Paris Sciences & Lettres, IMAP, 10 rue Vauquelin, 75005 Paris

11h30 – 12h00 **PACEEP 33 : Growth of Mo₂C-based Electrocatalysts onto Carbon Felt for Alkaline HER process**

Corinne Lagrost^{1,2}, Guillaume Dubois¹, Franck Tessier¹, Stéphane Cordier¹, Fabien Grasset³

¹Univ Rennes, CNRS, ISCR (Institut des Sciences Chimiques de Rennes) – UMR6226, F-35000 Rennes, France ; ²Univ Rennes, CNRS, ScanMAT – UAR 2025, F-35000 Rennes, France ; ³CNRS-Saint-Gobain-NIMS, IRL 3629, Laboratory for Innovative Key Materials and Structures (LINK), NIMS, Tsukuba 305-0044, Japan.

12h00 – 12h30 **PACEEP 34 : Operando study of nickel electrode interfacial properties during hydrogen oxidation/evolution : surface state and local pH dynamics**

Amandine Brige,^a Mathieu Gervais,^a Paul Chassagne,^a Antoine Bonnefont,^b Angel Boshs-Cruz,^c Fabrice Bournel,^c Jean-Jacques Gallet,^c Elena Savinova,^a Alexandr Oshchepkov,^{a,d} Tristan Asset^a

^aInstitut de Chimie et Procédés pour l'Energie, l'Environnement et la Santé, 67087 Strasbourg ; ^bLab. d'Electrochimie et Physicochimie des Matériaux et des Interfaces, 38402 St Martin d'Hères ; ^cLaboratoire de Chimie Physique – Matière et Rayonnement, 75005 Paris ; ^dCBI, ESPCI Paris, Université PSL, CNRS, 75005 Paris.

Vendredi 21 novembre 2023

8h30 – 10h30 : Têko Napporn

8h30 – 9h00 **PACEEP 35 : Carbon Shells for Poison Tolerant Pt-based PEMFC Catalysts**

Weliton S. Fonseca, Franck K. Bouho, Sirine B. Latifa, Têko W. Napporn, Christophe Coutanceau
CNRS, Université de Poitiers, Institut de Chimie des Milieux et Matériaux de Poitiers-IC2MP, Poitiers, France.

9h00 – 9h30 **PACEEP 36 : Tuning the intrinsic catalytic activity of W and V doped MoS_x for hydrogen evolution reaction**

Ching-Thian Moi^{1,2}, Céline Rivaux¹, Adina Morozan², Vincent Artero², Pascale Chenevier¹

¹Univ. Grenoble Alpes, CEA, CNRS, Grenoble INP, IRIG, SYMMES, 38000 Grenoble, France ; ²Univ. Grenoble Alpes, CNRS, CEA, IRIG, Laboratoire de Chimie et Biologie des Métaux, 38000 Grenoble, France

9h30 – 10h00 **PACEEP 37 : AFM characterization of TiO_xNy thin films applied to BPP and PTL in a PEM water electrolyzer**

Divino Salvador Ramirez-Rico^a, Khaoula Chergui^b, Stéphane Rioual^b, Benoit Lescop^b, Loïc Assaud^c

^aICMMO-ERIEE, Université Paris-Saclay, UMR CNRS 8182, 91405 Orsay, France ; ^bUniv Brest, CNRS, Lab-STICC - UMR 6285, Brest/France ; ^cIMAP, University Paris Sciences & Letters, ESPCI, CNRS, ENS, 10 rue Vauquelin, 75005 Paris, France

10h00 – 10h30 **PACEEP 38 : Direct Seawater Electrolysis with Stabilized High-Performance NiCr Anodes**

Hiba Saadaa^b, Bruno Fabre^a, Gabriel Loget^c, Gwénaëlle Benoit^b, Joudi Dabboussi^a, Corinne Lagrost^a

^aCNRS, ISCR (Institut des Sciences Chimiques de Rennes)–UMR6226, Univ Rennes, Rennes F-35000, France ; ^bEKIUM - 50 rue Antoine de Saint-Exupéry, 29490 Guipavas, France ; ^cUniv. Bordeaux, CNRS, Bordeaux INP, ISM-UMR 5255, Pessac 33607, France.

10h30 – 11h00 : Pause

11h00 – 11h30: **Gaël Maranzana**

PACEEP 39 : Fe Single Atoms on MoS₂ for Efficient Hydrogen Production in PEM Electrolyzers

Zakaria Anfar¹, Haitham Maslough^{1,2,3}, Mathilde Moderne¹, Jiefeng Liu¹, Yuwei Yang⁴, Loïc Assaud^{2,3}, Mikhael Bechelany¹, Chrystelle Salameh¹, Nicholas M. Bedford^{4,5}, Damien Voiry¹

¹*Institut Européen des Membranes, IEM, UMR 5635, Univ Montpellier, CNRS, ENSCM, 34095 Montpellier Cedex 5, France* ; ²*Institut de Chimie Moléculaire et des Matériaux d'Orsay (ICMMO) – ERIEE, Université Paris Saclay, CNRS, 17 Avenue des Sciences, 91400 Orsay, France* ; ³*Institut des Matériaux Poreux de Paris, Univ. PSL, ESPCI, ENS, CNRS, 10 rue Vauquelin, 75005 Paris, France* ; ⁴*School of Chemical Engineering, The University of New South Wales, Sydney, NSW 2052, Australia* ; ⁵*Department of Chemistry, Colorado School of Mines, Golden, CO 80401 USA.*

11h30 – 12h00 PACEEP 40 : Effet de la pression cathodique et de l'architecture de la cellule sur la perméation d'hydrogène et les performances d'un électrolyseur PEM

Kolo Hamadou Soro, Giuseppe Sdanghi, Jérôme Dillet, Kevin Mozet, Tien Dung Le, Gael Maranzana
Université de Lorraine, LEMTA, 2 Av. de la Forêt de Haye, 54500 Vandœuvre-lès-Nancy

12h00 – 12h30 PACEEP 41 : Caractérisation in situ d'une cellule d'électrolyse à membrane échangeuse de proton fonctionnant à plus haute température (jusqu'à 150°C)

W. Abderrahmane, F. Xu, J. Dillet, S. Didierjean, G. Sdanghi, G. Maranzana
LEMTA, Université de Lorraine, CNRS, F-54000 Nancy, France

Session Posters PACEEP

PACEEP 42 : Temperature Effects on CO Tolerance: GDE Study with Pt -based PEMFC Catalysts

Sirine B. Latifa, Weliton S. Fonseca, Franck K. Bouho, Têko W. Napporn, Christophe Coutanceau
CNRS, Université de Poitiers, Institut de Chimie des Milieux et Matériaux de Poitiers-IC2MP, Poitiers, France

PACEEP 43 : Atomic Layer Deposition of MoS₂ on GaAs/Si:p Epilayers for Efficient Photoelectrochemical Hydrogen Production

Zakaria Anfar¹, Vincent Astie², Fatima Merhi³, FranceYoan Léger⁴, Nicolas Bertru⁴, Jean-Manuel Decams², Bruno Fabre⁵, Gabriel Loget³, Charles Cornet⁴, Chrystelle Salameh¹, Damien Voiry¹

¹Institut Européen des Membranes, IEM, UMR 5635, Université Montpellier, ENSCM, CNRS, Montpellier, France ; ²Annealsys SAS, 139 rue des Walkyries, Montpellier, France ; ³ISM-UMR 5255, Univ. Bordeaux, CNRS, Bordeaux INP, Pessac 33607, France ; ⁴Univ Rennes, INSA, CNRS, Institut FOTON - UMR 6082, F-35000 Rennes, France ; ⁵ISCR-UMR6226, Univ Rennes, CNRS, F-35000 Rennes, France.

PACEEP 44 : Impact of Ionomer Type and Content on PEMFC Catalyst Layers at medium Temperatures up to 110°C

Matthieu Tempelaere, Christine Nayoze-Coynel, Armelle Fabulet Arnaud Morin
Univ. Grenoble Alpes, CEA, LITEN, DEHT, 38000, Grenoble, France

PACEEP 45 : Analyse des dégradations induites par une source d'énergie intermittente, sur un électrolyseur basse température

Lisa Duguet¹, Gareth Keeley¹, Frédéric Fouda-Onana¹, Guillaume Serre¹, Yann Bultel²

¹Univ. Grenoble Alpes, CEA, LITEN, 38000 Grenoble, France ; ²Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, Grenoble INP, LEPMI, 38000 Grenoble, France.

PACEEP 46 : Exploration du potentiel de la 2-vinylpyridine pour la conception de membranes échangeuses d'anions par polymérisation plasma

Costes Raphaël^{1,2}, Badaire Stéphane², Achille Aurélie², Aissou Karim¹, Quemener Damien¹, Roualdès Stéphanie¹

¹Institut Européen des Membranes (IEM), UMR 5635, Univ Montpellier, ENSCM, CNRS, Montpellier, France ; ²Manufacture française des pneumatiques Michelin, Rue Bleue, 63118 Cébazat, France.

PACEEP 47 : Modélisation d'une cellule d'électrolyse à membrane échangeuse d'anions et estimation des paramètres inconnus

J.C. Martinez Rosales¹, H. Gopi Kuppusamy¹, X. Shen², J. Dillet¹, F. Xu¹, G. Sdanghi¹, S. Didierjean¹, P.A. Bonnefon³, V. Badets², L. Ruhlmann², G. Maranzana¹

¹LEMETA, Univ. de Lorraine, CNRS, 54500 Vandœuvre-lès-Nancy, France ; ²UMR CNRS 7177, Université de Strasbourg, Institut de Chimie ; ³Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, Grenoble INP, LEPMI.

PACEEP 48 : Innovative fillers to improve membrane performance in alkaline electrolyzers

Marion Goujon^{1,3,4}, Corinne Lagrost¹, Yann Leroux¹, Fabien Grasset², Cécile Rossignol³, Cristina Iojoiu³, Solène Bertolotto⁴, Arthur Pacquelet⁴, Samuel Marlin⁴

¹Institut des Sciences Chimiques de Rennes (ISCR), UMR 6226/ Univ.Rennes France ; ²Laboratory for Innovative Key Materials and Structures, IRL 3629, Tsukuba, Japan ; ³Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, Grenoble INP-UGA, LEPMI, 38000 Grenoble, France ; ⁴Saint-Gobain Recherche Provence, Cavaillon, France.

PACEEP 49 : Observations des transformations du catalyseur Ni lors des réactions d'électrooxydation à l'aide de la spectroscopie SERS in situ

Zhengke Tu,^{1,2} Jing Sun,² Anne Bonhommé,² Stephane Loridant,² Masahiro Kunimoto,³ Philippe Vernoux,² Takayuki Homma,¹ Jesús González Cobos²

¹*Department of Advanced Science and Engineering, Waseda University, 169-8555, Tokyo, Japan ;*

²*IRCELYON, UMR 5256, CNRS, 2 Avenue A. Einstein, 69100, Villeurbanne, France ;* ³*Global Center for Science and Engineering, Waseda University, 169-8555, Tokyo, Japan*

PACEEP 50 : Microstructural Analysis and Modeling of Alkaline Electrolyzer Electrodes from Advanced Imaging Techniques

Erwan Tardy¹, Louis Remacle¹, Kavita Kumar¹, Huong Doan², Vincent Trouche², Olivier Bucheli²

¹ Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, Grenoble INP, LEPMI, F-38000 Grenoble, France

² Adele Hydrogen SAS, 132 Rue Bossuet, 69006 Lyon, France

PACEEP 51 : Transition Metal Sulfides (TMS) as promising catalysts for HER in an Anion Exchange Membrane Water Electrolyzer (AEMWE)

Tatiana Yaakoub¹, Boniface Kokoh¹ and Têko W. Napporn¹

¹ IC2MP UMR 7285 CNRS Université de Poitiers, 86073 Poitiers, France

PACEEP 52 : Elaboration Of Ni-Based Nanomaterial Through An Easily Scalable Synthesis Towards The Oer In An AEMWE

Arno Steimlé¹, Frederic Fouda-Onana², Boniface Kokoh¹ and Têko W. Napporn¹

¹IC2MP UMR 7285 CNRS Université de Poitiers, 86073 Poitiers Cedex 9, France

²CEA-Liten, 38004, Grenoble, France

PACEEP 53 : Exploring electrochemical activity of Transition Metal Nitrides Nanomaterials toward Oxygen Evolution and Reduction reactions (OER/ORR)

Rania N. Ouaddour¹, Andrei I. Pastukhov², Dodzi Zigah¹, Paulo Olivi³, Andrei V. Kabashin² and Têko W. Napporn¹.

¹ IC2MP UMR 7285 CNRS Université de Poitiers, 86073 Poitiers cedex 9. France.

² LP3 UMR 7341 CNRS Université Aix-Marseille, 13288, Marseille, France,

³Departamento de Química Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto 14040-901, Brazil



Fédération de recherche Hydrogène

Programme de la session Production d'hydrogène par électrolyse haute température et piles à combustible de type SOFC (SO)

Responsables scientifiques : **Annie Le Gal La Salle et Jean-Marc Bassat**

Mardi 18 novembre 2025

9h00 - 10h20 : Electrode à air
Chairlady

9h00 - 9h20 **SO1 : Alternative Oxygen Electrodes for SOEC: Towards Reduced Use of Critical Raw Materials**

Léa Marty^{*1,2}, B. Castay¹, E. Grindler¹, A. Ringuedé², K. Tarasov¹, O. Celikbilek¹

(1) CEA, LITEN, DTNM, Univ. Grenoble Alpes, Grenoble 38000, France

(2) IRCP, Chimie Paris, 11 rue Pierre et Marie Curie, Paris 75005, France

9h20 - 9h40 **SO2 : Optimisation d'électrode à air sans cobalt pour les cellules céramiques à conduction protonique**

Maëlys Charleux^{1,2}, Lionel Combemale¹, Pascal Briois², Gilles Caboche¹

(1) ICB Université de Bourgogne, 9 Avenue Alain Savary, 21078 Dijon, France

(2) Université Marie et Louis Pasteur, UTBM, CNRS, Institut FEMTO-ST UMR6174, 25200 Montbéliard, France

9h40 - 10h00 **SO3 : Etude de phases $\text{Sr}_3\text{Fe}_2\text{O}_{7-\delta}$ substituées comme électrode à oxygène pour l'application SOEC**

L. Ambard, A. Demourgues, J.M. Bassat et J. Gamon

ICMCB – CNRS, 87 Avenue Dr A. Schweitzer, 33600 PESSAC

10h00 - 10h20 **SO4 : Preliminary Studies of Stabilizing SOEC Anode LSCF Material - Improvement of oxygen electrodes for HTE**

El Chawich Ghenwa, Grindler Elisa, Castay Blandine, Celikbilek Ozden, Arnal Simon, Laurencin Jerome
Grenoble Alpes, CEA/LITEN, 17 rue des Martyrs, 38054 Grenoble Cedex 9, France

10h20 - 10h40 **SO5 : Novel BaTiO₃-Based Electrode Materials for SOFC Optimization**

Valerie Theuns^{*1}, Donovan Ledru², Marie-Hélène Chambrier², Aurélie Rolle¹, Anne-Sophie Mamede¹,
Héloïse Tissot¹, Elise Berrier¹

(1) Lille, CNRS, Centrale Lille, Univ. Artois, UMR 8181 – UCCS – Unité de Catalyse et Chimie du Solide, F-59000 Lille, France

(2) Univ. Artois, CNRS, Centrale Lille, Univ. Lille, UMR 8181 – UCCS, F-62300 Lens, France

10h40 - 11h00 : Pause

11h00 – 12h40 : Electrode à air (suite)

Chairman: ?

11h00 - 11h20 SO6 : Electrode à oxygène à base de PrO_{2-x} imprégné pour pile à combustible céramique protonique (PCFC)

L. Rocco^{1,*}, M. Charleux², S. Fourcade¹, F. Mauvy¹

(1) Univ. Bordeaux, CNRS, Bordeaux INP, ICMCB, UMR 5026, Pessac, France

(2) Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, UMR CNRS 6303, Dijon, France

11h20 - 11h40 SO7 : Influence of gas phase impurities on the oxygen exchange kinetics of mixed conducting oxides

Clément Nicollet

Nantes-Université, CNRS UMR 6502 – IMN – Institut des Matériaux de Nantes Jean Rouxel, 44300 Nantes, France

11h40 - 12h00 SO8 : Electrochemical Stability of a SOFC under Marine-Relevant Sodium Chloride Aerosol Exposure: Long-Term Testing and Reactivity Insights

Stefan Henfling^{1,*}, Annie Le Gal La Salle², Olivier Joubert², Marie Lamard¹, Julien Manzi³, Bertrand Morel³

(1) CEA, CEA Tech Pays de la Loire, 44340 Bouguenais, France

(2) Nantes-Université, CNRS UMR 6502 – IMN – Institut des Matériaux de Nantes Jean Rouxel, 44300 Nantes, France

(3) CEA/LITEN, CEA Centre de Grenoble, 38054, Grenoble, France

12h00 - 12h20 SO9 : Diagnostic électrochimique d'une nouvelle électrode à oxygène architecturée pour application SOFC

F. Brunet-Coy, S. Fourcade, F. Mauvy

CNRS, Université de Bordeaux, Institut de Chimie de la Matière Condensée de Bordeaux (ICMCB), 87 Av. Dr. Schweitzer, F-33608 Pessac Cedex, France

12h20 - 12h40 SO10 : Mesures de la conductivité électrique en température du LSC et LSCF, matériaux d'électrode à oxygène pour les SOFC/SOEC

M. Massoule, S. Alamome, D. Vincent, A. Pereira, S. Di Iorio, B. Morel^{*}

Univ. Grenoble Alpes, CEA-Liten, 38000 Grenoble, France

12h40 - 14h00 : Déjeuner

14h00 – 16h00 : Cellules complètes

Chairlady: ?

14h00 - 14h20 SO11 : Optimisation du procédé de mise en forme des cellules de types PCE(F)C

Paul Pers, Jeanne Boissadie, Gilles Taillades

Institut Charles Gerhardt de Montpellier, Université de Montpellier, 1919 Route de Mende 34293 Montpellier cedex 5, France

14h20 - 14h40 SO12 : Électrolyse assistée par l'oxydation du méthane

M. Legrée, C. Comminges, N. Bion

CNRS, Université de Poitiers, Institut de Chimie des Milieux et Matériaux de Poitiers-IC2MP, Poitiers, France

14h40 - 15h00 **SO13 : Toward Hydrogen-Powered Aircraft: SOFC Performance, Durability, and Operating Challenges**

V. B. Vilela, C. Rossignol, L. Dessemond, F. Fournet-Fayard, C. Jourdin and M. C. Steil

Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, Grenoble INP (Institute of Engineering and Management), LEPMI, 38000, Grenoble, France

15h00 - 15h20 **SO14 : Long-term operation of electrolysis stacks: component stability, design scale-up & system integration**

J. Aicart⁽¹⁾, B. Gonzalez⁽¹⁾, S. Di Iorio⁽¹⁾, K. Couturier⁽¹⁾, A. Laplace⁽²⁾, K. Vulliez⁽¹⁾, M. Petitjean⁽¹⁾, F. Bosio⁽¹⁾, G. Cubizolles⁽¹⁾

(1) Univ. Grenoble Alpes, CEA-Liten, 38000, Grenoble, France,

(2) Univ. Montpellier, CEA-ISEC, 30207, Bagnols-sur-Cèze, France

15h20 - 15h40 **SO15 : De la production d'hydrogène par électrolyse de la vapeur d'eau à 600°C : technologies, défis et développements nécessaires du point d'un point de vue matériaux**

R. Costa

German Aerospace Center, Institute of Engineering Thermodynamics, Pfaffenwaldring 38-40, 70569 Stuttgart, Germany

15h40 - 16h00 **SO16 : Production d'hydrogène sous pression par électrolyse haute température: le projet européen PressHyous**

Marie Petitjean (1), Claire Houzé (1), Jérôme Aicart (1), Karl Vulliez (1), Christian Tantolin (1), Julie Mouglin (1), Ibrahim Dünder (2), Andrei Denissenko (2), Philippe Aubin (3), Romain Jordan (3), Jan van Herle (3), Nicolas Valaye (4), Aurélien Breton (4), Nicolas Massué (4), Patrice Tochon (4), Gabriel Magnaval (5), Manuele Margni (5), Simon Haanschoten (6), Daan Kok (6), Eduardo Da Rosa Silva (7), Robert Makkus (7), Marjut Suomalainen (8), Jari Pennanen, Meire Domingos (9), François Maréchal (9)

(1) Univ. Grenoble Alpes – CEA/LITEN, 38054 Grenoble, France

(2) Elcogen, Valukoja 23, 11415 Tallinn, Estonia

(3) Group of Energy Materials, Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne (EPFL), Sion, Switzerland

(4) GENVIA SAS, Plaine Saint Pierre, 34500 Béziers, France

(5) Haute école d'ingénierie HES-SO Valais, Switzerland

(6) HyGear B.V., Westervoortsedijk 73, 6827 AV Arnhem, the Netherlands

(7) Sustainable Technologies for Industrial Processes, TNO, Westerduinweg 3, Petten, 1755LE, The Netherlands

(8) VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo, Finland

(9) Industrial Process and Energy Systems Engineering group, Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne (EPFL), Sion, Switzerland

Mecredi 19 novembre 2025

9h00 - 10h20 : Electrode à combustible

Chairman : ?

9h00 - 9h20 **SO17 : Nanoparticules de céria dopé au nickel : vers des électrodes plus performantes pour les cellules d'électrolyse à oxydes solides**

Hadrane Bachchar¹, Mathias Barreau^{1,2}, Fengchen Zhou¹, Anastasia Pappa¹ et Spyridon Zafeiratos¹

(1) Institut de Chimie et Procédés pour l'Energie, l'Environnement et la Santé (ICPEES), ECPM, UMR 7515 CNRS – Université de Strasbourg, 25 rue Becquerel, 67087 Strasbourg Cedex 02, France

(2) Université de Caen Normandie, ENSICAEN, CNRS, LCS, 14000 Caen, France

9h20 - 9h40 **SO18 : Matériau de cathode à base de ferrite de lanthane pour l'électrolyse du CO₂ à haute température**

Kaisse Hamada, Cécile Rossignol, Nicolas Sergent, Franck Fournet-Fayard, Marlu César Steil and Laurent Dessemond

Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, Grenoble INP, LEPMI, 38000 Grenoble, France*

**Institute of Engineering and Management Univ. Grenoble Alpes*

9h40 - 10h00 **SO19 : New materials for hydrogen electrode of Solid Oxide Electrolysis Cells (SOEC)**

Laura Huc¹, Christophe Tenailleau¹, Sandrine Duluard¹, Logane Malié¹, Julien Vulliet², Marlu César Steil³, Pascal Lenormand¹

(1) CIRIMAT, Université de Toulouse, Toulouse INP, CNRS, France

(2) CEA/Le Ripault, DMAT, F-37260 Monts, France

(3) Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mt Blanc, LEPMI, Grenoble INP, CNRS, F-38000 Grenoble

10h00 - 10h20 **SO20 : Single-Phase Ni-Doped GDC: A Novel Oxide Material as a Potential Fuel Electrode Candidate for Solid Oxide Electrolysis**

Sara Taleb, Victor Zapata-Ramirez, Alexandre Meriau, Eric Quarez, Clément Nicollet, Olivier Joubert

Nantes-Université, CNRS UMR 6502 – IMN – Institut des Matériaux de Nantes Jean Rouxel, 44300 Nantes, France

10h20 - 10h30 **Questions/réponses sur la thématique**

10h30 – 11h00 : Pause

11h00 - 12h00 : Electrode à combustible (suite)

Chairlady : ?

11h00 - 11h20 **SO21 : Influence de la nature des plastifiants dans la formulation de coulage en bande NiO-3YSZ sur le séchage et les comportements mécaniques des bandes crues pour les applications de piles à combustible**

C. Guillet¹, E. Bechade¹, E. Bichaud², R. Billard², C. Bourgès¹, P-M. Geffroy¹

(1) IRCER, UMR7315, 12 Rue Atlantis, 87280 Limoges, France

(2) SRT Microcéramique, 4 Rue de Mons, 41100 Vendôme, France

11h20 - 11h40 **SO22 : New Anode Materials for Solid Oxide Fuel Cells powered with various gas mixtures**

Duyen Nguyen¹, Olivier Joubert¹, Yilin Luo², Anne-Cécile Roger², Éric Quarez¹, Annie Le Gal La Salle¹

Nantes-Université, CNRS UMR 6502 – IMN – Institut des Matériaux de Nantes Jean Rouxel, 44300 Nantes, France

(1) Nantes Université, CNRS, Institut des Matériaux de Nantes Jean Rouxel, IMN, F-44000 Nantes, France

(2) Université de Strasbourg, CNRS, ICPEES – URM 7515, F- 67087 Strasbourg, France

11h40 - 12h00 **SO23 : Effect of fuel composition on the performance and stability of solid oxide fuel cells**

Gudaysew T. Yenesew,¹ Annie Le Gal La Salle¹, Gilles Taillades², Paul Pers², Clément Nicollet¹, Eric Quarez¹, Olivier Joubert¹

(1) Nantes-Université, CNRS UMR 6502 – IMN – Institut des Matériaux de Nantes Jean Rouxel, 44300 Nantes, France

(2) Institut Charles Gerhardt de Montpellier, ICGM, 1919 route de Mende, 34293, Montpellier, France

12h00 - 12h30 **Questions/réponses sur la thématique**

Jeudi 20 novembre 2025

9h00 - 10h30 : Electrolytes

Chairman : ?

9h00 - 9h20 **SO24 : Innovative, flexible Electrochemical devices based on proton-conducting ceramic electrolytes**

J. Boissadie, P. Pers, G. Taillades

Institut Charles Gerhardt de Montpellier, Université de Montpellier, 1919 Route de Mende 34293 Montpellier cedex 5, France

9h20 - 9h40 **SO25 : New proton-conducting ceramics for hydrogen production by electrolysis**

R. Mendez¹, Y. Leconte², A. Zaki³, G. Dezanneau¹

(1) Université Paris-Saclay, CentraleSupélec, CNRS, Laboratoire de Génie Electrique et Electronique de Paris, 91192, Gif-sur-Yvette, France

(2) Université Paris-Saclay, CEA, CNRS, NIMBE, LEEL, 91191, Gif-sur-Yvette, France.

(3) Université Paris-Saclay, CentraleSupélec, CNRS, Laboratoire Structures, Propriétés et Modélisation des Solides, 91192, Gif-sur-Yvette, France

9h40 - 10h00 **SO26 : Effect of Zn substitution on densification, stability and conductivity of proton conducting $\text{BaZr}_{0.6-x}\text{Ce}_{0.4}\text{Zn}_x\text{O}_{3-x}$**

Théo Legret^{1,*}, Olivier Joubert, Eric Quarez

Nantes-Université, CNRS UMR 6502 – IMN – Institut des Matériaux de Nantes Jean Rouxel, 44300 Nantes, France

10h00 - 10h20 **SO27 : Studies of ammonia decomposition for the production of pressurized hydrogen in reactors based on proton-conducting ceramic membranes**

A. Guibert, O. Joubert, C. Nicollet

Nantes-Université, CNRS UMR 6502 – IMN – Institut des Matériaux de Nantes Jean Rouxel, 44300 Nantes, France

10h20 - 10h40 **SO28 : Etude des performances électrochimiques de l'électrode composite ESB-LSM sur électrolyte ESB / YSZ dans les SOFC basse température**

Ikram El-Otmani^{1,2}, Aurélie Rolle¹, Pascal Briois², Rose-Noëlle Vannier¹

¹Univ.Lille, CNRS, Centrale Lille, Univ. Artois, Unité de Catalyse et Chimie du Solide, UMR CNRS 8181, 59651 Villeneuve d'Ascq

²Univ. Franche-Comté-UTBM, FEMTO-ST, UMR CNRS 6174, 2 place Lucien Tharradin 25200 Montbéliard

10h30 – 11h00 : Pause

11h00 - 12h00 : Electrodes à combustible (suite)

Chairlady : ?

11h00 - 11h20 **SO29 : Improvement of the anodic half-cell in a metal-supported architecture using water-based processing**

Logane Malié, Sandrine Duluard, Patrick Rozier

CIRIMAT, Université de Toulouse, 118 route de Narbonne, 31062 Toulouse/France

11h20 - 11h40 **SO30 : Structural, microstructural and electrical characterization of anode coated impregnated FeCrAl metal support for the application of intermediate temperature – metal supported solid oxide fuel cell (MS-IT-SOFC)**

S. Dattamandal, D. Fasquelle

11h40 - 12h00 SO31 : Electrochemical conversion of propane in a SOE Cell: Influence of anode material on the propylene selectivity

T.G. Rocha¹, F. Fournet-Fayard¹, M.C. Steil¹, S. Loridant², L. Dessemond¹

(1) Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, LEPMI, 38000 Grenoble, France

(2) Université Claude Bernard Lyon I, CNRS, IRCELYON, F-69626, Villeurbanne, France

12h00 - 12h30 : Mise en bouche pour la session Méthodes / Modélisation...

Chairlady : ?

12h00 - 12h30 Fiaxell : les derniers produits... pour des mesures plus performantes ?

Vendredi 20 novembre 2025

9h00 - 10h20 : Méthodes / Modélisation

Chairman : ?

9h00 - 9h20 SO32 : Echange isotopique polarisé dans des systèmes de type SOEC/SOFC : une nouvelle méthode analytique pour l'étude de la mobilité de l'oxygène

Clément Comminges¹, Alexandre Manon¹, Alexandre Nau¹, Thomas Belin¹, Arnaud Mazurier¹, Jean-Marc Bassat², Nicolas Bion¹

(1) Institut de Chimie des Milieux et Matériaux de Poitiers (IC2MP), Université de Poitiers, CNRS, UMR 7285, 4 Rue Michel Brunet, TSA 51106, F-86073 Poitiers 9, France

(2) Institut de Chimie de la Matière Condensée de Bordeaux (ICMCB), Université de Bordeaux, CNRS, 87 Avenue du Dr. Albert Schweitzer, F33600, Pessac, France

9h20 - 9h40 SO33 : Méthodologie de criblage haut-débit pour le développement de nouvelle couche barrière pour électrolyseur haute température par pulvérisation cathodique magnétron

Matthieu Ramond^{1,2}, Sébastien Fourcade¹, Gunay Yildirim², Yolande Murat², Frédéric Le Cras^{1,2,3}, Fabrice Mauvy¹

(1) CNRS, Univ. Bordeaux, Bordeaux INP, ICMCB – UMR 5026, 87 Av. du Dr Schweitzer 33608 Pessac, France

(2) CEA, CEA TECH Nouvelle Aquitaine, 28 Avenue Gustave Eiffel, 33600 Pessac, France

(3) Univ. Grenoble Alpes, CEA, LITEN, 38054 Grenoble, France

9h40 - 10h00 SO34 : Optimisation de revêtements protecteurs d'interconnecteurs métalliques pour la production d'hydrogène par électrolyse à haute température

Ndeye Saly Diouf^{1,2}, Ioana Popa², Maria-Rosa Ardigo-Besnard², Pascal Briois¹

(1) Université Marie et Louis Pasteur, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, CNRS, Institut FEMTO-ST (UMR 6174), F-25200 Montbéliard, France

(2) Université Bourgogne Europe, CNRS, Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne ICB (UMR 6303), F-21000 Dijon, France

10h00 - 10h20 SO35 : Modélisation de l'oxydation du nickel à l'origine de la fissuration de la zircone dans les cellules à électrolyte solide

Sylvain Fournier¹, Maxime Hubert¹, Thomas David¹, Aurélien Doitrand², Gergely Molnár³, Sylvain Meille², Jérôme Laurencin¹

(1) Univ. Grenoble Alpes, CEA-Liten, DTCH

- (2) Univ. Lyon, INSA Lyon, CNRS UMR5510, MatéIS
(3) Univ. Lyon, INSA Lyon, CNRS UMR5259, LaMCoS

10h20 - 10h30 **Questions/réponses sur la thématique**

10h30 – 11h00 : *Pause*

11h00 - 12h30 : Méthodes / Modélisation (suite)

Chairlady : ?

11h00 - 11h20 **SO36 : Co-electrolysis coupled experimental-numerical study: mapping operating parameters for stable syngas during cell's lifetime**

Silvère Panisset, Marie Petitjean, Jérôme Aicart
CEA, LITEN, Grenoble

11h20 - 11h40 **SO37 : Etude numérique du comportement en régime transitoire d'une cellule d'électrolyse à carbonates fondus (MCEC)**

Durand Tsiatsipy^{1,2}, Dominique Grondin¹, Jonathan Deseure³, Krishna Busawon², Jean-Jacques Kadjó¹
(1) ENERGY-Lab, Université de La Réunion, 15 Avenue René Cassin 97400 Saint-Denis, France
(2) Université des Mascareignes, Avenue de la Concorde, Roches Brunes, Rose Hill, Maurice
(3) Université Grenoble Alpes, Université Savoie Mont Blanc, CNRS, Grenoble INP, LEPMI, 38000 Grenoble, France

11h40 - 12h00 **SO38 : Modélisation macroscopique multiphysique d'un stack de pile à combustible à oxyde solide (SOFC)**

Takarli Zineb¹, Daniela Chrenko¹, Amine Jaafar², Christoph Turpin², Marie- Cécile Péra¹
(1) Université Marie et Louis Pasteur, UTBM, CNRS, institut FEMTO-ST, FCLAB, F-90000 Belfort, France.
(2) LAPLACE, Université de Toulouse, CNRS, Toulouse INP, UPS, Toulouse, France.

12h00 - 12h30 **Questions/réponses sur la thématique**

Posters

SO39 :Caractérisations électrochimiques et infiltration catalytique des cellules SOFC fonctionnant sous biogaz

Ariel KABWAYA KONGOLOJA^{1,2}, Lionel COMBEMALE¹, Pascal BRIOIS², Gilles CABOCHE¹
(1) Laboratoire ICB, Dijon, France
(2) Université Marie et Louis Pasteur, UTBM, CNRS, Institut FEMTO-ST UMR6174, 25200 Montbéliard, France

SO40 : Study of Dense Ceria-Based Interface Layers for Enhanced Stability in High-Temperature Electrolysis Cells

Omar Rahmouni¹, Eric Aubry¹, Alain Billard¹, Monica Bernal Salamanca¹, Giulio Cordaro², Armelle Ringuedé², Pascal Briois¹
(1) Université Marie et Louis Pasteur, UTBM, CNRS, Institut FEMTO-ST (UMR6174), F-25200 Montbéliard
(2) Université PSL, Chimie ParisTech, CNRS, Institut de Recherche de Chimie Paris, Paris, France

SO41 : Performant and Efficient Planar Proton-conducting Electrolysis Reactor: the PEPPER project

Remi Costa, and the PEPPER consortium
German Aerospace Center, Institute of Engineering Thermodynamics, Pfaffenwaldring 38-40, 70569 Stuttgart, Germany



Fédération de recherche Hydrogène

Programme de la session "Systèmes piles à combustible et électrolyseurs" (SYS)

Responsables scientifiques : **Nadia Yousfi Steiner et Christophe Turpin**

Mardi 18 novembre 2025

La plage de 8h30 à 10h30 a été libérée pour permettre à la communauté « systèmes H₂ » de pouvoir suivre la session 1 parallèle de l'axe « Basse Température » avec 4 présentations qui auraient pu très bien être également positionnées dans l'axe « systèmes H₂ ». Présentations PACEEP 1 à PACEEP 4.

11h00 – 12h30 : **Chairing xx**

11h00 – 11h30 **SYS 1 : Optimisation des performances et de la durabilité des systèmes hydrogène en utilisant un jumeau numérique avancé (OPUS-H2)**

Raphaël Gass, Dominique Grondin, Cédric Damour, Michel Benne

ENERGY-Lab, Université de La Réunion, Saint-Denis, France

11h30 – 12h00 **SYS 2 : Digital Twin for PEMFC Diagnostics and Prognostics**

VinothKumar NATESAN, Elena BREAZ, Fei GAO, Nadia YOUSFI STEINER

Université Marie et Louis Pasteur, UTBM, CNRS, Institut FEMTO-ST, FC Lab, F-90000 Belfort, France

12h00 – 12h30 **SYS 3 : Approches de diagnostic basées sur l'impédancemétrie pour le suivi de l'état de santé des piles à combustible et batteries lithium-ion en usage embarqué**

Jules MILLET¹, Daniel DEPERNET¹, Ali SARI², Frédéric GUSTIN³, Hugo HELBLING²

¹*UTBM, Institut FEMTO-ST, FCLAB, CNRS, Belfort, France*

²*Université Claude Bernard Lyon 1, Ampère, UMR5005, INSA Lyon, Ecole Centrale de Lyon, CNRS, Villeurbanne, F-69100, France*

³*Université de Franche-Comté, Institut FEMTO-ST, FCLAB, CNRS, Belfort, France*

14h00 – 16h00 : **Chairing xx**

14h00 – 14h30 **SYS 4 : Multiscale and Multiphysics 1D Modeling of a PEM Water Electrolyser**

Simone PIEROBON¹, Roberta TITTARELLI², Zhongliang LI¹, Florence DRUART³

¹*Université Marie et Louis Pasteur, CNRS, institut FEMTO-ST, F-90000 Belfort, France*

²*Université Marie et Louis Pasteur, SUPMICROTECH, CNRS, institut FEMTO-ST, F-25000 Besançon, France ; ³Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, Grenoble-INP, LEPMI, 38000 Grenoble, France*

14h30 – 15h00 **SYS 5 : Modélisation du vieillissement d'un électrolyseur de type PEM dans un contexte de vieillissement accéléré**

Damien QUERE¹, Antony PLAIT¹, Daniel HISSEL², Christophe TURPIN¹ ;

¹ LAPLACE, UMR 5213, CNRS, Toulouse INP, Université Paul Sabatier, Toulouse, France ;

² Université Marie et Louis Pasteur, Institut Universitaire de France (IUF), UTBM, CNRS, Institut FEMTO-ST, Belfort, France

15h00 – 15h30 **SYS 6 : Quantification du vieillissement induit sur des piles à combustibles et électrolyseurs PEM pour des applications de stratégies de gestion de puissance**

Théo Lenoir¹, Daniela Chrenko¹, Robin Roche¹, Samir Jemei¹, Mickaël Hilairt² ;

¹ Université Marie et Louis Pasteur, UTBM, CNRS, institut FEMTO-ST, FCLAB, F-90000 Belfort, France ;

² Ecole Centrale de Nantes - LS2N, UMR CNRS 6004

15h30 – 16h00 **SYS 7 : Caractérisation et étude du transport de matière dans le compresseur électrochimique à hydrogène**

M.A. Diop¹, G. Sdanghi¹, J. Dillet¹, G. Maranzana¹, S. Didierjean¹ ;

¹ LEMTA, Univ. de Lorraine, CNRS, 54500 Vandœuvre-lès-Nancy, France

Mercredi 19 novembre 2025

8h50 – 10h30 : **Chairing xx**

8h50 – 9h20 **SYS 8 : Dégradations d'une PEMFC en phases de démarrages et arrêts**

Wafa Hafsa Saidouni^{1,2}, Marielle Marchand¹, David Gérard¹, Samir Jemei², David Bouquain²

¹ Ampère, Renault group, France

² Université Marie et Louis Pasteur, UTBM, CNRS, Institut FEMTO-ST, FCLAB, F-90000 Belfort, France

9h20 – 9h50 **SYS 9 : Quantification of PEMFC degradation during start-up/shutdown phases in real stack configuration**

Guillaume LAPHITZ¹, Fabrice MICOUD¹, Éric PINTON¹, Nicolas MARIAGE¹, Raphaël RIASSE¹, Yann BULTEL²

¹ Univ. Grenoble Alpes, CEA, LITEN, 38000, Grenoble, France

² Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, Grenoble INP, LEPMI, 38000 Grenoble, France

9h50 – 10h20 **SYS 10 : Modélisation de l'arrêt-démarrage à froid d'un stack PEMFC**

Mattéo Gantzer¹, Stefan Giurgea², Daniel Hissel¹, Nadia Yousfi-Steiner¹

¹ Université Marie et Louis Pasteur, UTBM, CNRS, institut FEMTO-ST FCLAB, F-90000 Belfort, France

² Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, UTBM, CNRS, institut FEMTO-ST FCLAB, F-90000 Belfort, France

10h30 – 11h00 : **Pause**

11h00 – 12h40 : **Chairing xx**

11h00 – 11h30 **SYS 11 : 1-D fuel cell model identification and observer design**

QiAn HE¹, Zhongliang LI¹, Fabien HAREL^{2,3}, Nadia YOUSFI STEINER¹, Daniel HISSEL^{1,4}

¹ Université Marie et Louis Pasteur, CNRS, institut FEMTO-ST, F-90000 Belfort, France

² CNRS, institut FEMTO-ST, F-90000 Belfort, France

³ Univ Eiffel, ENTPE, EMob-Lab, Lyon, France

11h30 – 12h00 **SYS 12 : Gestion d'énergie de systèmes multi-stacks : Quand tout fonctionne**

Jihane Ait El Majhoub^{1,2}, Jean-Christophe OLIVIER¹, Mohamed Machmoum¹, Salah Laghrouche²

¹IREENA, UR 4642, Nantes Université,

²FEMTO-ST, UMR 6174, Université Marie et Louis Pasteur

12h00 – 12h30 **SYS 13 : Développement d'un banc pédagogique pile à combustible dans le cadre du projet GENHYO**

Maëlie HEULS¹, Thomas JARRY¹, François PARACHE¹, Antony PLAIT¹, Olivier RALLIERES¹, Amine JAAFAR¹, Bruno SARENI¹, Christophe TURPIN¹

LAPLACE, Université de Toulouse, CNRS, Toulouse INP, Toulouse, France

Jeudi 20 novembre 2025

8h50 – 10h30 : **Chairing xx**

8h50– 9h20 **SYS 14 : Développement d'un modèle d'estimation de durée de vie de piles à combustible pour les applications ferroviaires**

¹Hung, Johnson Ruo Ting, ¹D-arbigny, Julien, ²Piffard, Maxime, ²Rosini, Sebastien, ¹Gauthier, Stephane, ²Morin, Benoit, ²Gerard, Mathias

¹Alstom, 50 Rue du Dr Guinier, 65600 Séméac, France

²Univ. Grenoble Alpes, CEA, LITEN, F-38000 Grenoble, France

9h10 – 9h30 **SYS 15 : Impact de l'altitude sur les performances d'un système pile à combustible à compresseur centrifuge**

Benoît MORIN¹, Lucas STILLITANO²

¹CEA LITEN – 17 Av. des Martyrs, 38000 Grenoble

²École de l'air et de l'espace – Chemin St Jean, 13300 Salon-de-Provence

9h30 – 9h50 **SYS 16 : Development of a High Power, High Voltage DC-DC Converter for Fuel Cell Electric Vehicles with 800V DC Bus**

Badis SILAT¹, Arnaud GAILLARD¹, Nicolas ALLALI³, Daniel HISSEL^{1,2}

¹Université Marie et Louis Pasteur, UTBM, CNRS, Institut FEMTO-ST, FCLAB, F-90000 Belfort, France

²Institut Universitaire de France (IUF)

³VALEO Power Division, Cergy St-Christophe - France

10h30 – 11h00 : Pause

11h00 – 12h40 : **Chairing xx**

11h00 – 11h30 **SYS 17 : Energy Storage in Fully Renewable Island Power Systems: A Case to Move Towards Rolling Horizon-Based Optimization**

Mirabelle Scholten¹, Robin Roche¹, Dominique Grondin², Halima Ikaouassen¹

¹ Université Marie et Louis Pasteur, UTBM, CNRS, institut FEMTO-ST, F-90000 Belfort, France

²ENERGY-lab, Université de La Réunion, Saint-Denis, France

11h20 – 11h40 **SYS 18 : Modélisation et Optimisation d'un réseau énergétique (électricité et hydrogène) insulaire. Application au cas de la Corse.**

M. Chin Choi¹, T. Moustapha Mai¹, M. Hajjaji¹, S. Jemei², C. Cristofari¹

¹UMR CNRS 6134 Renewable Energy Laboratory, Scientific Centre Georges Peri, University of Corsica, F20000 Ajaccio, France

²Université Marie et Louis Pasteur, Laboratoire FEMTO-ST, 90000 Belfort, France

Vendredi 21 novembre 2025

8h50 – 10h20 : Chairing xx

8h50 – 9h20 SYS 19 : Développement d'un outil d'estimation d'humidité pour les stacks PEMFC

Martin SERINE^{1,2}, Julie AUBRY², Zhixue ZHENG¹, Daniel HISSEL^{1,3}

¹ Université Marie et Louis Pasteur, UTBM, CNRS, institut FEMTO-ST, FCLAB, F-90000, Belfort, France ;

² SYMBIO, St-Fons, France ; cInstitut Universitaire de France (IUF), Paris, France

9h20 – 9h50 SYS 20 : Identification de défaut en stack PEMFC par tomographie magnétique et utilisation d'un algorithme de descente de gradient

Leonard Freisem^{1,2}, Olivier Chadebec¹, Gilles Cauffet¹, Yann Bultel², Raphael Riasse³, Fabrice Micoud³, Sebastien Rossini³

¹Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, G2ELab, Grenoble, France

²Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie-Mont Blanc, CNRS, Grenoble INP, LEPMI, Grenoble, France

³Univ. Grenoble Alpes, CEA LITEN, Grenoble, France

9h50 – 10h20 SYS 21 : Protocole de Test Sans Gaz Actif pour les piles à combustible à membrane échangeuse de protons à basse température

Jegado Tifenn, Santiago Suarez, Amine Jaafar, Christophe Turpin

Université de Toulouse, LAPLACE, UMR CNRS INP-UPS, ENSEIHT, 2 rue Camichel, BP 71 22, 31071 Toulouse Cedex 07, France

10h30 – 11h00 : Pause

Session Posters SYS

SYS 22 : Méthodologie de dimensionnement de systèmes multi-stack de type PEM, étude de la dégradation et des performances

Alexandre Bouvard^{1,2}, Simon Morando¹, Didier Chamagne², David Bouquain²

¹SYMBIO, 10 rue Specia, 69190 Saint-Fons

² Université Marie et Louis Pasteur, UTBM, CNRS, Institut FEMTO-ST, FCLAB, F-90000 Belfort, France

SYS 23 : Cation Contamination Redistribution Throughout the PEMFC MEA: Towards the Establishment of Regeneration Protocols

Zoé Gomez¹, Florence Dubelley¹, Corine Bas¹, Mégan Vincenot², Jérôme Dillet², Assma El Kaddouri², Olivier Lottin², Julien Durst³

¹Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie-Mont Blanc, CNRS, Grenoble INP, LEPMI, 38000 Grenoble, France

²Univ. Lorraine, CNRS, LEMTA, 54500 Vandoeuvre-lès-Nancy, France

³SYMBIO, 10 rue Specia, 69190 Saint-Fons, France

SYS 24 : Numerical approach for ageing phenomena identification of PEMFC using the Distribution of Relaxation Time (DRT) method

Laurine TURPIN^{a,b}, Quentin CACCIUTTOLO^a, Boyang XU^a, Zhixue ZHENG^b, Marie-Cécile PÉRA^b

^aIFP Energies nouvelles, Rond-point de l'échangeur de Solaize, BP3, 69390 Solaize, France

^b Université Marie et Louis Pasteur, CNRS, Institut FEMTO-ST, FCLAB, F-90000, Belfort, France

Fédération de recherche Hydrogène

**RESUMES DES PRESENTATIONS DES SESSIONS EN
PLENIERES**

**REUNION PLENIERES FRH2 d'Annecy,
17-21 novembre 2025**

PLENIERE 5 : Tracteurs portuaires hydrogène : penser au-delà de la performance énergétique

Clotilde Robert¹, Alexandre Ravey², Daniel Hissel³

¹*clotilde.robert@umlp.fr*, ²*alexandre.ravey@utbm.fr*, ³*daniel.hissel@umlp.fr*

^{1,2}Université Marie et Louis Pasteur, ²UTBM, CNRS, FEMTO-ST, Rue Thierry Mieg, 90010 Belfort Cedex, France

Les ports sont des terrains stratégiques pour expérimenter des technologies bas carbone, notamment à hydrogène. Leur fonctionnement structuré et la régularité des usages facilitent l'électrification de la mobilité lourde, dans un contexte où les activités portuaires représentent plus de 3 % des émissions mondiales de GES [1]. Réduire cet impact suppose de dépasser la seule performance énergétique et de penser les technologies dans leur ensemble : usages, impacts environnementaux et implications sociales.

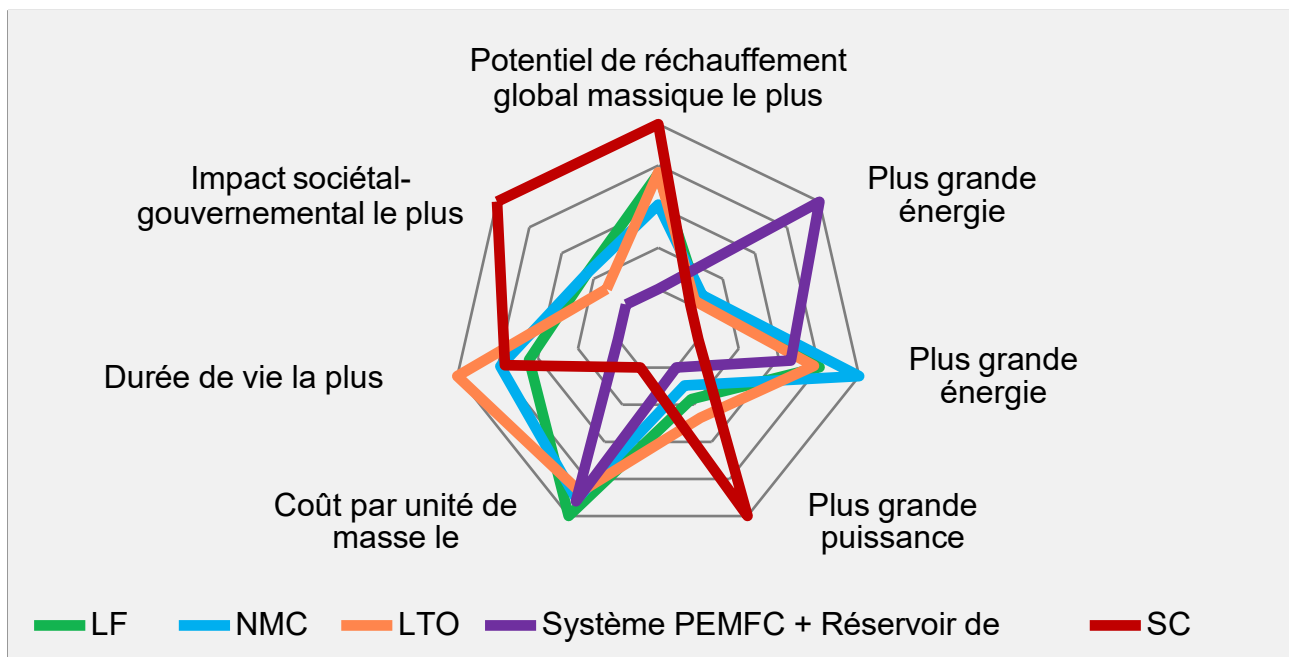


Figure 1. Comparaison multicritère des composants énergétiques inclus dans la chaîne de traction

Mes travaux de recherche ont porté sur l'évaluation multicritère de chaînes de traction pour tracteurs portuaires combinant batteries, pile à combustible et supercondensateurs [2]. Trois architectures ont été modélisées et simulées sous MATLAB/Simulink sur des cycles de conduite réels, avec des stratégies de gestion d'énergie fondées sur la logique floue. Ces solutions ont ensuite été comparées selon des critères techniques, environnementaux, économiques et sociétaux.

L'approche développée croise modélisation énergétique, analyse de cycle de vie, étude de la criticité des matériaux et évaluation des risques sociaux. Elle met en évidence les limites d'une évaluation uniquement technico-économique, et plaide pour une prise en compte élargie des enjeux de durabilité dans le développement des chaînes de traction hydrogène [3], [4].

Remerciements à Raphaël Perey, ex-affilié à GAUSSIN, pour la supervision industrielle de la thèse.

- [1] L. Bilgili and A. I. Ölçer, "IMO 2023 strategy-Where are we and what's next?," *Mar. Policy*, vol. 160, p. 105953, Feb. 2024. [2] C. Robert, "Optimisation d'un système pile à hydrogène / batteries / supercondensateurs pour une application portuaire, intégrant les contraintes d'usage et les aspects sociétaux-environnementaux," phdthesis, Université Bourgogne Franche-Comté, 2024. [Online]. Available: <https://theses.hal.science/tel-04916874>
- [3] C. Robert, A. Ravey, R. Perey, and D. Hissel, "Global warming potential and societal-governmental impacts of the hydrogen ecosystem in the transportation sector," *Int. J. Hydrog. Energy*, vol. 66, pp. 55–65, May 2024.
- [4] C. Robert, A. Ravey, R. Perey, and D. Hissel, "Global warming potential of batteries for vehicle applications, from production to recycling," *J. Energy Storage*, vol. 124, p. 116777, Jul. 2025.

PLENIERE 10 : Adele Hydrogen's Breakthrough in Scalable Non-PGM Materials for Alkaline Electrolyzers

Huong Doan¹, José Carlos Martinez Rosales², Nicky Bogolowski³, Louis Remacle⁴, Olivier Bucheli¹, Vincent Trouche¹, Gaël Maranzana², Jean-Francois Drillet³, Erwan Tardy⁴, Marian Chatenet⁴, Kavita Kumar⁴

¹Adele Hydrogen SAS, 132 Rue Bossuet, 69006 Lyon, France

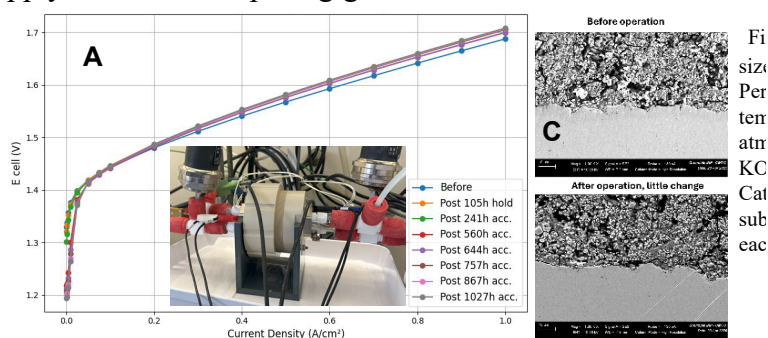
²Université de Lorraine, CNRS, LEMTA, F-54000 Nancy, France

³DECHEMA Research Institute, Theodor-Heuss-Allee 25, D-60486 Frankfurt am Main, Germany

⁴Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, Grenoble INP, LEPMI, 38000 Grenoble, France

In April 2025, France revised its National Hydrogen Strategy, lowering the 2030 electrolysis capacity target from 6.5 GW to 4.5 GW, while maintaining a €9 billion investment envelope and reinforcing its focus on industrial value chains and scalable technologies [1,2]. This adjustment stresses the urgent need for electrolysis solutions that combine durability, efficiency, and scalability to deliver bankable hydrogen production within realistic deployment frameworks. Alkaline liquid electrolysis (AEL) is a more mature technology compared to alkaline exchange membrane (AEM), with inherently higher ionic conductivity, it provides a robust and scalable pathway for hydrogen production. Adele Hydrogen's nickel-based high-entropy alloy (HEA) electrodes demonstrate that this material is fully compatible with AEL and AEM systems, and free of PGMs and CRMs.

HEAs derive their remarkable properties from the multi-principal element effect; the combination of lattice distortion, sluggish diffusion, and the cocktail effect yields materials with exceptional corrosion resistance, mechanical stability, and catalytic activity [3]. Harnessing these features, Adele's Ni-based HEA electrodes achieve record performance of 1.67 V at 1 A/cm² in single-cell zero-gap AEL operation. Independent validations confirmed our results: in AEL, UCT (Prague) and DTU (Denmark) observed no degradation during 216 h and 700 h current-hold tests with mixed anolyte/catholyte, while DECHEMA demonstrated 1027 h operation (Figure 1) with only minor performance loss under no-mixing conditions; in AEM, LEMTA verified stability over 200 h, all at 1 A/cm² constant current. With no evidence of degradation or corrosion post constant current or dynamic testing (EIS), Adele's products set a new benchmark in electrochemical performance and durability. Compared to recent work at 3.5 A/cm², Adele's single cell reaches 2.3 V, 200 mV lower [4]. These findings are consistent with the predicted stability of HEAs and are reinforced by advanced characterization at LEPMI (SEM, TEM, XPS, XRD, ICP-MS, *etc.*), as shown in Figure 1. Beyond the scientific breakthrough, Adele Hydrogen is focused on industrial integration and scalability. Our electrodes are designed as drop-in products, compatible with existing electrolyzer architectures, while also enabling performance improvements in next-generation stacks, supporting both current AEL systems and emerging AEM designs. Furthermore, our scalable process—free of wet chemistry constraints—has already enabled the production of 1 m × 1 m electrodes, positioning us to support the electrode supply needs of European gigafactories.



References

- [1] Enerdata. (2024, July 23). *France lowers hydrogen production targets to 4.5 GW by 2030*.
- [2] Clean Hydrogen Observatory. (2025). *France – National hydrogen strategy*.
- [3] Yeh, J.-W. et al. (2004). *Advanced Engineering Materials*, 6, 299-303.
- [4] Demnitz, M., van der Schaaf, J., & de Groot, M. T. (2025). *J. Electrochem. Soc.*, 172, 014504

Fédération de recherche Hydrogène

**RESUMES DES PRESENTATIONS DE LA SESSION
STOCKAGE**

**Responsables scientifiques : Sylvie Castagnet et Patricia
de Rango**

**REUNION PLENIERES FRH2 d'Annecy,
17-21 novembre 2025**

STO1-Développement d'une approche d'équivalence en termes de fragilisation par l'hydrogène entre chargement gazeux et chargement cathodique pour des aciers

S. Coop-Phane^{1,2}, A. Oudriss¹, L. Briottet², X. Feaugas¹

¹LaSIE UMR 7356, La Rochelle Université, avenue Michel Crépeau 17000, La Rochelle

²Univ. Grenoble Alpes, CEA, LITEN, DTCH, LCA, F-38000 Grenoble, France

La fragilisation par l'hydrogène des métaux peut se produire en milieux gazeux [1], [2] ou dans un électrolyte par voie cathodique [3], [4]. Certaines études suggèrent une possible équivalence en termes de concentration d'hydrogène entre les deux modes de chargement [5] tandis que d'autres travaux mettent en évidence des plages de surtension cathodique permettant d'obtenir des activités d'hydrogène équivalentes à des pressions de dihydrogène sur des matériaux d'application [6], [7]. En revanche, l'équivalence en termes d'endommagement n'a pas été entièrement étudiée alors qu'elle offre une alternative intéressante.

Ce travail porte sur l'étude d'une équivalence en termes d'endommagement entre chargement cathodique et chargement gazeux sur des aciers. Une approche de type ingénieur a été effectuée en utilisant la réduction de section $Z\%$ comme objet de comparaison entre les deux modes de chargement. Pour ce faire, des essais de traction in situ ont été menés à différentes pressions de dihydrogène et différentes surtensions en milieu NaCl 3,5 % désaérée.

Un domaine d'équivalence en termes d'endommagement entre les deux modes de chargement en hydrogène a pu être identifié sur un acier martensitique trempé et revenu (QTM) via un indicateur mécanique fondé sur la réduction de section $Z\%$. En outre, des analyses fractographiques semblent confirmer une similarité des mécanismes d'endommagement en proche surface entre les deux modes de chargement malgré des conditions de surface très différentes. Néanmoins, il a été montré que le domaine d'équivalence (i.e l'adsorption d'hydrogène) est délimité par deux processus limitants lors du chargement par voie cathodique. A ces phénomènes s'ajoute l'évolution de la surface se produisant pendant le chargement cathodique dans ces conditions. La suite de cette étude portera sur un formalisme cinétique basé sur des essais de perméation électrochimique avec le même milieu de chargement que les essais de traction in situ (i.e NaCl 3,5 % désaéré).

Les auteurs remercient le soutien de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) dans le cadre du programme France 2030 avec la référence ANR-22-PEHY-0004 (projet PEPRH2-HYperStock).

[1] C. Bosch, L. Briottet, T. Couvant, M. Frégonèse, and A. Oudriss, 'Mechanical Tests in Corrosive Environments and Under Gaseous Hydrogen', in *Mechanics - Microstructure - Corrosion Coupling*, Elsevier, 2019, pp. 481–505. doi: 10.1016/B978-1-78548-309-7.50021-1.

[2] J. Chêne, 'L'hydrogène dans les matériaux métalliques en relation avec les interactions plasticité-environnement', in *PlastOx 2007 - Mécanismes et Mécanique des Interactions Plasticité - Environnement*, Argelès-sur-Mer, France: EDP Sciences, 2009, pp. 131–145. doi: 10.1051/ptox/2009010.

[3] T. Depover, A. Laureys, D. Pérez Escobar, E. Van Den Eeckhout, E. Wallaert, and K. Verbeken, 'Understanding the Interaction between a Steel Microstructure and Hydrogen', *Materials*, vol. 11, no. 5, p. 698, Apr. 2018, doi: 10.3390/ma11050698.

[4] A. Oudriss *et al.*, 'Consequence of the diffusive hydrogen contents on tensile properties of martensitic steel during the desorption at room temperature', *Materials Science and Engineering: A*, vol. 598, pp. 420–428, Mar. 2014, doi: 10.1016/j.msea.2014.01.039.

[5] J. O. Bockris and P. K. Subramanyan, 'The equivalent pressure of molecular hydrogen in cavities with metals in terms of the overpotential developed during the evolution of hydrogen', *Electrochimica Acta*, vol. 16, p. 2169 to 2179, 1971.

[6] E. Koren, C. M. H. Hagen, D. Wang, X. Lu, and R. Johnsen, 'Investigating electrochemical charging conditions equivalent to hydrogen gas exposure of X65 pipeline steel', *Materials & Corrosion*, vol. 75, no. 3, pp. 315–321, 2023, doi: 10.1002/maco.202313931.

[7] Q. Liu *et al.*, 'Equivalent Hydrogen Fugacity during Electrochemical Charging of 980DP Steel Determined by Thermal Desorption Spectroscopy', *Adv Eng Mater*, vol. 20, no. 1, p. 1700469, Jan. 2018, doi: 10.1002/adem.201700469.

STO2 - Influence de la formulation chocs sur la tenue du PA11 en décompression : application au liner de réservoirs hyperbares type IV

M. Ramarosaona^{1,2}, S. Castagnet¹, D. Halm¹, H-A. Cayzac², P. Papin³

¹ INSTITUT P² Département PMM - CNRS, ISAE-ENSMA, Université de Poitiers

² ARKEMA – CERDATO Centre R&D de Serquigny

³ Air Liquide – Centre R&D aux Loges -en-Josas

La décompression de gaz dans les polymères est connue pour générer des endommagements de type cavités ou fissures allant à la rupture dans les composants utilisés ¹⁻³. Cette problématique, compromettant la fonction d'étanchéité des composants polymères des réservoirs hyperbares, est au cœur des études menées pour le développement des infrastructures de stockage et de distribution d'hydrogène gazeux. La vitesse de décompression, la température, le cumul des cycles de mise en pression – décompression⁴ et la présence d'additifs⁵ dans les composants polymères sont les principaux facteurs influençant la formation d'endommagements de décompression³. Pour assurer la mise en forme des liners et en optimiser le comportement mécanique, les polymères peuvent être formulés (nucléants, plastifiants, stabilisants thermiques, modifiants chocs...). Il est alors important de comprendre l'impact de ces additifs sur l'état post-décompression.

La présente étude vise à caractériser le comportement mécanique et l'état microstructural résiduel de trois formulations de PA11 post-exposition à un cycle de pression-décompression d'hydrogène. Une formulation de référence, un PA11 pur, et deux formulations avec différents taux de modifiants chocs sont à l'étude. Les cycles de pression d'hydrogène sont réalisés à 70 MPa avec une décompression très rapide en 15 secondes. Le but de cette condition drastique est de se mettre dans le cas d'une RGD (Rapid Gas Decompression), favorable à l'apparition d'endommagements de décompression, et ainsi exacerber les faiblesses de chaque formulation.

Les résultats sur un cycle de pression-décompression sur le PA11 pur, sans renforts chocs, montrent un effet non-négligeable de la pression sur le comportement mécanique en traction résiduel (après désorption complète) à travers une remontée de la contrainte au premier seuil de plasticité. Cette rigidification du matériau identifiée au premier seuil suggère une réduction de la mobilité de la phase amorphe sous l'effet de la pression du gaz, avec une microstructure sondée en WAXS qui reste intacte. L'absence de signature de nano-cavités aux SAXS explique un comportement mécanique affecté principalement par la mise en pression, sans présence d'endommagements après la décompression. Les mêmes résultats ont été obtenus sur des échantillons ayant vu 3 et 8 cycles de pression - décompression d'hydrogène, démontrant une absence d'effet de cumul sur la modification apportée par le premier cycle.

Ces tendances se retrouvent dans le PA11 à faible taux de renforts chocs, indiquant un comportement principalement déterminé par la base PA11 pour cette formulation. En présence d'un taux plus élevé de renforts chocs, des mécanismes de décohésion sont identifiés à l'interface renforts-matrice, ayant pour origine l'absorption d'hydrogène dans les particules de renforts. Ces prémices d'endommagement annihilent la signature mécanique de la rigidification de la phase amorphe en traction. Ils constituent également, à terme, des possibles sites d'amorçage de fissures et d'endommagements macroscopiques du liner.

(1) Dewimille, B.; Martin, J.; Jarrin, J. Behaviour of Thermoplastic Polymers during Explosive Decompressions in a Petroleum Environment. *J. Phys. IV France* **1993**, 03 (C7), C7-1559-C7-1564. <https://doi.org/10.1051/jp4:19937243>.

(2) Fujiwara, H.; Ono, H.; Ohyama, K.; Kasai, M.; Kaneko, F.; Nishimura, S. Hydrogen Permeation under High Pressure Conditions and the Destruction of Exposed Polyethylene-Property of Polymeric Materials for High-Pressure Hydrogen Devices (2)-. *International Journal of Hydrogen Energy* **2021**, 46 (21), 11832–11848. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.12.223>.

(3) Yamabe, J.; Koga, A.; Nishimura, S. Failure Behavior of Rubber O-Ring under Cyclic Exposure to High-Pressure Hydrogen Gas. *Engineering Failure Analysis* **2013**, 35, 193–205. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.01.034>.

(4) Ono, H.; Nait-Ali, A.; Castagnet, S. Damage Evolution in Unfilled EPDM during Various Types of Repeated Hydrogen High-Pressure Cycles. *Int J Fract* **2023**, 242 (2), 153–167. <https://doi.org/10.1007/s10704-023-00707-w>.

(5) Yamabe, J.; Nishimura, S. Influence of Carbon Black on Decompression Failure and Hydrogen Permeation Properties of Filled Ethylene-Propylene-Diene-Methylene Rubbers Exposed to High-Pressure Hydrogen Gas. *Journal of Applied Polymer Science* **2011**, 122 (5), 3172–3187. <https://doi.org/10.1002/app.34344>.

STO3 - Damage assessment of hydrogen-exposed PA11 liners via structural and mechanical analysis

Barthélémy Gros¹, Hervé Mathis², Jean-François Gérard¹, Xavier P. Morelle¹, Paul Sotta¹

¹*Laboratoire Ingénierie des Matériaux Polymères (IMP), UMR CNRS 5223 – INSA de Lyon, 17 Avenue Jean Capelle, 69621 Villeurbanne, France.*

²*CEA Le Ripault, Centre d'Etudes du Ripault, 37260 Monts, France.*

PA11 is a semi-crystalline polymer currently used as a promising liner material in hyperbaric hydrogen storage vessels for transport applications [1]. This study focuses on trying to detect early microstructural damage (for instance in the form of nano-cavities) in PA11 liners that were exposed to rapid decompression from different high H₂ saturation pressures and at different decompression rates. The primary goal is to determine in which critical operating conditions damage can occur in such liners.

For that purpose, PA11 specimens were exposed to high pressure compression-fast decompression cycles and then were structurally characterized by Ultra-Small-Angle X-ray Scattering (USAXS) to monitor potential residual damage. Indeed, USAXS is a powerful technique to detect early damage by nano-cavitation in polymer materials [2] and polyamides have been shown to exhibit cavitation-type of damage under other loading conditions, such as fatigue [3].

In parallel, virgin and exposed specimens were also studied through in-situ USAXS monitoring during tensile deformation to investigate whether their exposition history would modify their mechanical response and associated deformation scenario.

Indeed, another interesting specificity of PA11 is that, under tensile loading at room temperature, it exhibits a sequential plasticity activation phenomenon with two consecutive stress thresholds, called double yielding (DY) [4]. The first yield point is intimately connected to the plasticization of the amorphous phase, while the stress increment up to the second yield point is associated to the crystalline phase. A secondary goal is thus to determine whether DY can be used as a sensitive probe for microstructural damage assessment in semi-crystalline polymers used under extreme and complex mechanical loading conditions that do not always enable in-situ monitoring. Ideally, compared to the use of synchrotron based structural analysis such as USAXS, this simple characterization, would enable determining if damage occurs in the amorphous or crystalline phase (or both), based on the amplitudes and positions of the two yield points.

Acknowledgements:

The authors acknowledge support from the French ANR under France 2030 program (project PEPRH2-HYPERSTOCK-004) as well as the support from ESRF synchrotron facility (ID02 beamline operated by T. Narayanan and M. Sztucki). The authors express their gratitude to Hyperstock consortium partners, namely Pprime Institute, IFPen and Femto-ST, for their help in exposing PA11 specimens to various H₂ compression-decompression cycles.

References:

- [1] C. Le Talludec et al. "Consequences of repeated hyperbaric hydrogen exposures on mechanical properties and microstructure of polyamide 11". *Polym. Test.* **2024**, 140, 108581.
- [1] A. Charvet, C. Vergelati, P. Sotta, D.R. Long, "Damage Mechanisms of Plasticized Cellulose Acetate under Tensile Deformation Studied by Ultrasmall-Angle X-ray Scattering". *Macromolecules* **2019**, 52, 6613–6632.
- [3] E. Mourglia-Seignobos, D.R. Long, L. Odoni, L. Vanel, P. Sotta, C. Rochas, "Physical Mechanisms of Fatigue in Neat Polyamide 6,6". *Macromolecules* **2014**, 47, 3880–3894.
- [4] Gros, B., Gérard J.-F., Sotta, P., Morelle, X. "Double yielding in PA11: discriminating the mechanical contributions of the amorphous and crystalline fractions." *Polymer* **2025**, 128844.

STO4 - Damage detection in type IV hydrogen tank liner after rapid gas decompression

I. KARIM¹; D. CHAPELLE¹; A. MAYNADIER¹; F. THIEBAUD¹, M-H. KLOPPER²

¹*Université Marie et Louis Pasteur, CNRS, institut FEMTO-ST, F-25000 Besançon, France*

²*IFP Energies nouvelles, 1-4 Av. du Bois Préau, 92852 Rueil-Malmaison, France*

Type IV hydrogen tank, which uses a polymeric liner, is considered one of the most suitable options for hydrogen storage or transportation, in particular for fuel cell vehicles. Compared to earlier designs with metallic shell, the polymeric version provides a higher gravimetric efficiency and eliminates the risk of hydrogen embrittlement associated with steel [1]. The liners currently in use, often extruded and welded or rotomolded, are designed to serve both as a mechanical support for the composite reinforcement and as a gas-tight barrier. A drawback, however, is that hydrogen can slightly diffuse through the polymer, particularly under high pressure, to reach an equilibrium saturated state. In case of emergency, a rapid tank emptying procedure may be required. During this Rapid Gas Decompression (RGD), the hydrogen trapped inside the material might generate internal stresses, leading to potential structural damage. Although such defects have been observed and documented in elastomers [2], their occurrence detection and characterization remain a challenge for thermoplastic materials today.

This study discusses the RGD consequences on three semi-crystalline polymers (Polyamide 6, Polyamide 11 and High-density polyethylene), under particularly extreme conditions. RGD tests were performed thanks to IFPEN facilities. For each of the three studied materials, plates of different dimensions are placed in a chamber at 90 MPa of H₂ and 80 °C until saturation is reached, then rapidly decompressed at a rate of 420 MPa/min down to 0.5 MPa. The samples are kept at this low pressure for 5 hours before starting the second cycle. In total, four pressurization–decompression cycles are performed.

Internal damage, expected in the form of cavities is investigated using ultra-small-angle X-ray scattering (USAXS). The USAXS/SAXS measurements are carried out at the ESRF facility in Grenoble, France. For each material, three exposed samples and one unexposed reference sample are analyzed. Scattering patterns are recorded across the available q -range, from 0.0016 to 7 nm⁻¹. A qualitative comparison of the $I(q)$ scattering curves reveals noticeable differences between exposed and unexposed samples, indicating the presence of new, approximately spherical scatterers.

The possible induced degradation of the mechanical properties is also assessed by tensile testing. Exposed and reference samples are tested at room temperature with a crosshead speed of 5 mm/min. Surprisingly, the results show no significant differences between the two states, despite what was observed on elastomers damaged by RGD [3]. This tends to indicate that rapid decompression does not affect the macroscopic mechanical performance of the considered polymers. Further investigations through permeability tests and viscoelastic dynamic analysis are required to assess whether the detected damage affects the functional performance of the decompressed liners.

[1] Jin, Z., Su, Y., Lv, H., Liu, M., Li, W., Zhang, C., 2023. Review of Decompression Damage of the Polymer Liner of the Type IV Hydrogen Storage Tank. *Polymers* 15, 2258. <https://doi.org/10.3390/polym15102258>

[2] Castagnet, S., Mellier, D., Nait-Ali, A., Benoit, G., 2018. In-situ X-ray computed tomography of decompression failure in a rubber exposed to high-pressure gas. *Polymer Testing* 70, 255–262. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2018.07.017>

[3] Quentin Gardavaud, PhD thesis, Université de Bourgogne Franche-Comté, Sciences Physiques pour l'Ingénieur et Microtechniques, Doctorate in Mechanics « Contribution à l'étude de l'influence des paramètres de pression sur les élastomères soumis à une décompression rapide d'hydrogène » Defended on September 18, 2023.

STO5 - Simulation de la propagation de fissures de fatigue assistée par l'hydrogène gazeux à très haute pression

PERRIER-MICHON Augustin¹, NAIT-ALI Azdine¹, CHARLES Yann², HÉNAFF Gilbert¹, GUEGUEN Mikael¹, HALM Damien¹

¹ Institut Pprime, ISAE-ENSA, Chasseneuil du Poitou, France

² LSPM, Université Sorbonne Paris-Nord, Villetaneuse, France

L'intensification de l'utilisation de l'hydrogène comme vecteur d'énergie soulève des questions de dimensionnement des structures vis-à-vis de la fragilisation par l'hydrogène. En effet, lors de la conception d'un réservoir de stockage d'hydrogène gazeux ou d'un pipeline, il est nécessaire d'augmenter la pression du gaz pour maximiser la quantité stockée ou transportée, tout en réduisant le poids et le coût de la structure. Il est donc crucial de disposer d'outils numériques pour évaluer la durabilité des composants métalliques d'une structure en contact avec de l'hydrogène gazeux à très haute pression et en présence d'un défaut tel qu'une fissure. A ce titre, la compréhension et la simulation de l'effet de l'hydrogène sur le comportement d'une fissure à l'échelle de l'agrégat métallique polycristallin constituent un premier pas vers un meilleur dimensionnement de structures macroscopiques. A cette échelle, les cycles de sollicitation mécanique endommagent le matériau, tandis que la présence d'hydrogène affecte sa ductilité et sa résistance à la fissuration. Il en résulte une augmentation de la vitesse de propagation de la fissure par rapport à celle observée sous atmosphère inerte et un changement dans le mode de rupture allant d'intergranulaire à transgranulaire selon les conditions de chargement. L'objectif de cette étude est de développer et d'éprouver un modèle numérique de propagation de fissures de fatigue assistée par l'hydrogène gazeux à l'échelle d'un agrégat polycristallin.

Dans ce modèle couplé, le chargement cyclique induit une propagation de la fissure modifiant la répartition en hydrogène dissous qui se concentre alors en pointe de fissure. Cette présence locale d'hydrogène accélère alors la propagation de la fissure. Le modèle est construit sur la thermodynamique des processus irréversibles : chaque phénomène physique est représenté par une variable d'état et son gradient. L'avancée de la fissure est modélisée à l'aide d'un modèle d'endommagement à gradient. La longueur caractéristique de ce modèle d'endommagement non-local est représentée par un tenseur d'ordre deux et varie donc localement d'un grain à l'autre en fonction de l'orientation du cristal. Ce nouveau modèle d'endommagement permet de représenter la rupture par clivage, mode de rupture observé expérimentalement dans le régime de fissuration fortement accéléré par l'exposition à l'hydrogène gazeux. Sur cette base la concentration d'hydrogène favorise l'endommagement du matériau et donc une avancée de la fissure. De même, chaque cycle mécanique engendre un dommage contrôlant la propagation de la fissure.

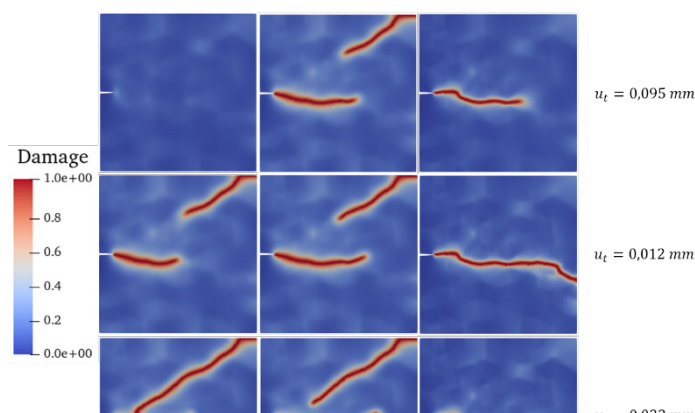


Figure 1: Cartographie du champ d'endommagement à trois instants de chargements u_t et trois concentrations initiales en hydrogène C_0 testées

La figure 1 illustre la propagation d'une fissure dans le cas d'un agrégat métallique polycristallin pour trois concentrations d'hydrogène initiale différentes C_0 en pointe de fissure. La vitesse et le trajet de fissuration dépendent de la concentration initiale. Par la suite, le cumul des dommages engendré par des chargements cycliques sera introduit. De plus, le comportement mécanique d'un grain à cette échelle pourrait être modéliser par une loi de plasticité cristalline.

STO7 - Impact of Fe thin film deposition on the hydrogen absorption properties of Ti

Anthony Alhayek^{1,3}, Patricia de Rango², Jaafar Ghanbaja³, Sylvie Migot³, Vincent Fournée³, Thierry Grosdidier¹, Julian Ledieu³.

¹*Laboratoire d'Etude des Microstructures et de Mécanique des Matériaux, Université de Lorraine, UMR CNRS 7239, 7 rue Félix Savart, F-57073, Metz, CEDEX 03, France.*

²*Université Grenoble Alpes, CNRS, Institut Néel, 38000, Grenoble, France.*

³*Institut Jean Lamour, Université de Lorraine, UMR7198-CNRS, Campus ARTEM, Nancy, France.*

The solid-state storage of hydrogen in the form of reversible metal hydrides offers numerous advantages, including high volumetric density and safety, in comparison with the cryogenic liquid and high-pressure gas vessels storages¹. One of the first requirement towards this phase transformation consists in the activation of the storage materials. The approaches proposed to promote the first absorption of H₂ vary from materials design including the selection of the stoichiometry and morphology of the alloys, to materials treatment with for instance severe plastic deformation^{2,3} and/or heat treatments. In our study, a surface engineering route has been selected which implies the structural and chemical modifications of the extreme surface of an alloy under controlled conditions.

More precisely, the surface of a commercially pure Ti (grade 2) sample has been modified with a nanometer-thick Fe film deposited by physical vapor deposition under ultra-high vacuum. This model system aims to explore the surface evolution during activation and the impact of Fe on hydrogen sorption kinetics. The surface characterization before and after hydrogenation was conducted using x-ray photoelectron spectroscopy and transmission electron microscopy to reveal the chemical state of the elements, the overall film thickness and morphology, and the associated elemental distribution. After hydrogenation at 550°C, the Fe thin film transforms into Fe-rich clusters. Their surface selvedge distribution and size differ considerably depending on the initial Fe film thickness. This work demonstrates how such surface engineering by depositing a nanometer thick Fe thin film on commercial Ti can drastically improve the H₂ absorption kinetics.

[1] A. Züttel, *Materials Today*, **2022**, 6, 24-33.

[2] K Edalati, J Matsuda, H Iwaoka, S Toh, E Akiba, Z Horita, *Int. J. Hydrogen Energy*, **2013**, 38, 4622.

[3] M Novelli, K Edalati, S Itano, HW Li, E Akiba, Z Horita, T Grosdidier *Int. J. Hydrogen Energy*, **2020**, 45, 5326-5336.

STO8 - Ammonia synthesis from solar-assisted chemical looping processes

Emma Fernandez^{1,2}, Nicolas Bion¹, Stéphane Abanades²

¹CNRS, Université de Poitiers, Institut de Chimie des Milieux et Matériaux de Poitiers (IC2MP), Poitiers

²CNRS, Procédés Matériaux et Energie Solaire (PROMES), Odeillo Font-Romeu, France

Ammonia is the second most produced chemical worldwide, vital for fertilizer production and increasingly recognized as a promising carrier for hydrogen storage and long-distance distribution. Yet, more than 90% of global NH₃ synthesis still relies on the Haber–Bosch process, which is highly energy-intensive and responsible for over 420 Mt of CO₂ emissions annually. Decarbonizing ammonia synthesis is thus a pressing challenge for both agriculture and energy transition.^[1,2]

An innovative alternative is the Chemical Looping for Ammonia Synthesis (CLAS), which divides the reaction into two thermochemical steps mediated by nitrogen-containing solids (nitrides). In the first step, the material is nitrified under N₂ to form a nitrogen-rich phase. In the second step, the nitride is exposed to H₂ or H₂O to generate NH₃. A new cycle starting with N₂ permits the regeneration of the nitride phase.^[3] This approach avoids the kinetic competition between N₂ and H₂ observed in the conventional direct reaction, operates under moderate pressures, and allows the most endothermic regeneration step to be driven by concentrated solar heat, offering a pathway to carbon-free synthesis.^[4]

Recent studies have highlighted both opportunities and challenges. Simple nitrides such as FeN, CrN, BN, and Si₃N₄ exhibit poor activity, while Li₃N, Ca₃N₂, and Mg₃N₂ show complete hydrolysis at relatively low temperatures (~200 °C). ZrN stands out with peak reactivity at ~750 °C, whereas Sr-based systems demonstrate effective nitridation at 407 °C and hydrogenation at 339 °C, facilitated by the co-formation of hydrides and imides. More complex ternary nitrides, such as Co–Mo–N phases, also appear promising. These findings point to the need for identifying materials that combine high activity with long-term cyclability under solar-relevant conditions.^[2,5,6]

Key methodologies will be developed in the synthesis and characterization of nitrides (XRD, SEM, vibrational spectroscopies), ¹⁵N/¹⁴N isotopic exchange and thermogravimetric analysis to assess chemical conversion. The use of dedicated concentrated solar reactors, such as those at the PROMES laboratory in Odeillo, will enable the demonstration of nitride regeneration under concentrated solar thermal fluxes up to 1.5 kW and temperatures over 1500 °C.^[2,3,5]

Together, these developments outline a novel pathway toward a solar-driven, modular and renewable ammonia production process.

[1] C. Smith, A. K. Hill, L. Torrente-Murciano, *Energy Environ. Sci.* **2020**, *13*, 331.

[2] Z. Zhang, H. Zhang, H. Jiang, L. Li, *J. Mater. Chem. A* **2024**, *12*, 33334.

[3] S. Abanades, B. Rebiere, M. Drobek, A. Julbe, *Chem. Eng. Sci.* **2024**, *283*, 119406.

[4] W. Gao, J. Guo, P. Wang, Q. Wang, F. Chang, Q. Pei, W. Zhang, L. Liu, P. Chen, *Nat. Energy* **2018**, *3*, 1067.

[5] D. Notter, T. Elias Abi-Ramia Silva, M. E. Gálvez, B. Bulfin, A. Steinfeld, *Mater. Horiz.* **2024**, *11*, 4054.

[6] S. Abanades, B. Rebiere, M. Drobek, A. Julbe, *Chem. Eng. Sci.* **2024**, *283*, 119406.

STO9 - Numerical Investigation of an Opposite-Phase Thermally Driven Hydrogen Compressor for Improved Heat Recovery

H. Sumbhaniya^{a,b}, V Nicolas^a, K Mozet^b, G Maranzana^b, A Celzard^{a,c}, G Sdanghi^b, V Fierro^a

^a*Université de Lorraine, CNRS, IJL, F-88000 Epinal, France*

^b*Université de Lorraine, CNRS, LEMTA, F-54000 Nancy, France*

^c*Institut Universitaire de France, F-75231 Paris, France*

The experimental hydrogen compression setup presented so far [1,2] served as a proof of concept, primarily aimed at assessing performance in terms of maximum compression pressure. However, it was not designed with energy efficiency in mind. In particular, the mass of the tank was significantly greater than that of the activated carbon contained, and a large portion of the cooling capacity was lost during heating, leading to high liquid nitrogen consumption.

In this study, we are presenting a **novel thermally driven hydrogen compressor operating in opposite phase**. This optimized system integrates two thermally insulated tanks functioning in alternating phases. The objective is to recover the cooling capacity from the tank undergoing heating and use it to cool the tank in its cooling phase. The results presented in this meeting will focus on the development of a 3D numerical model to simulate the adsorption/desorption compressor behavior under this new configuration. This model will then be expanded to integrate new data related to the system design, materials, and fluids in order to enhance heat transfer. Once established and validated against experimental results, the model will provide a framework to explore alternative material solutions and boundary conditions aimed at improving heat transfer.

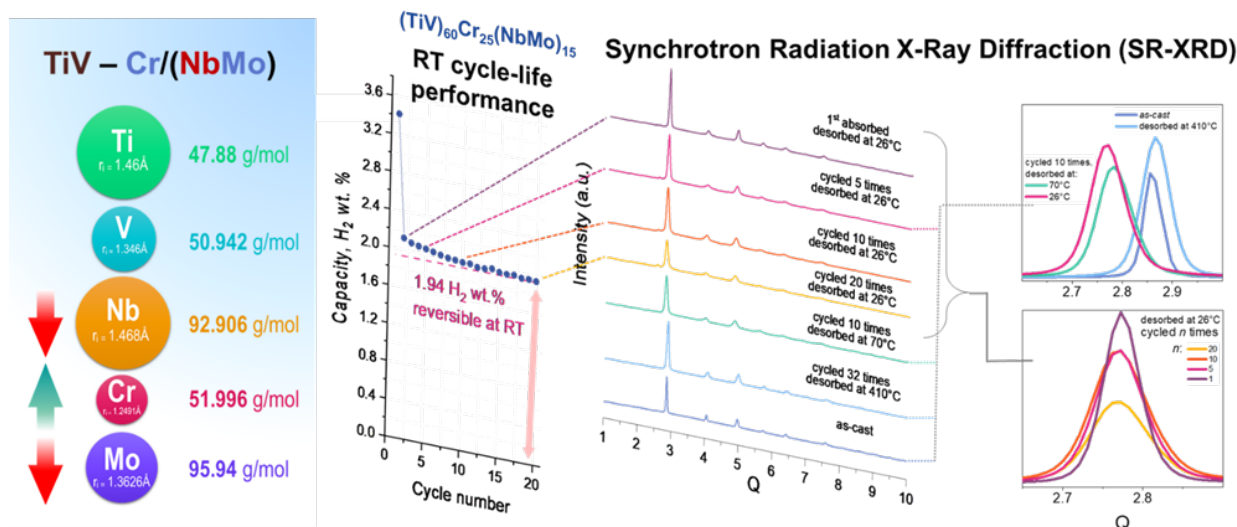
References

- [1] G. Sdanghi, V. Nicolas, K. Mozet, S. Schaefer, G. Maranzana, A. Celzard, V. Fierro, A 70 MPa hydrogen thermally driven compressor based on cyclic adsorption-desorption on activated carbon, *Carbon* 161 (2020) 466–478. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2020.01.099>.
- [2] V. Nicolas, G. Sdanghi, K. Mozet, S. Schaefer, G. Maranzana, A. Celzard, V. Fierro, Numerical simulation of a thermally driven hydrogen compressor as a performance optimization tool, *Appl. Energy* 323 (2022) 119628. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119628>.

STO10 - Tuning the TiVCrNbMo alloys composition for solid-state hydrogen storage: enhanced performance under room temperature cycling

Andrei AGAFONOV¹ and Claudia ZLOTEA¹

¹Univ. Paris-Est Creteil, CNRS, ICMPE, UMR 7182, 2 Rue Henri Dunant, Thiais 94320, France



Hydrogen energy represents an eco-friendly alternative to conventional energy sources. In recent decades, substantial advancements have been made in the production of green hydrogen. However, one of the major challenges hindering its widespread adoption lies in the difficulties associated with hydrogen storage and transportation. A promising solution involves solid-state storage using metal-hydride (MH) systems, particularly hydrides based on *bcc* TiVCrNb high-entropy alloys (HEAs) [1]. These materials offer relatively high hydrogen storage capacities, but the resulting hydrides tend to be too stable. In terms of the application, the aim is twofold: on the one hand, it is necessary to reduce the stability of the formed hydrides, on the other hand, to stabilize the reversible capacity to the highest level by tuning the alloy's composition. Among the HEAs variety the TiVCrNbMo had previously shown excellent potential for thermodynamic tuning but suffered from relatively low capacity in RT cycling tests [2,3]. Thus, here we attempted to reduce the content of the heaviest elements (Nb and Mo) in the alloy composition to increase the total and reversible capacities of the alloys, while maintaining optimal non hydride-forming metals (Mo and Cr) contents to ensure sufficient destabilization of the hydride phase.

Two alloys' series (TiV)₅₀Cr_{50-x}(NbMo)_x ($x = 25, 20, 15$) and (TiV)₆₀Cr_{40-x}(NbMo)_x ($x = 20, 15$) were synthesized. As expected, all alloys form single-phase *bcc* solid solutions, which was confirmed by XRD and SEM. A series of hydrogenation tests were carried out to evaluate the thermodynamic and cycle-life performance properties of all the compositions. For the lowest Nb and Mo content alloys, it was possible to achieve a reversible capacity during RT-cycling (desorption between cycles: primary dynamic vacuum at RT) between 1.9 and 2.1 H₂ wt. % in the first 20 cycles while maintaining a relatively high degree of destabilization of the hydride phases (ΔH_{abs} was around -50 kJ/mol for the most stable composition and -32 kJ/mol for the most destabilized one). High-energy synchrotron X-ray diffraction (SR-XRD) measurements were carried out at the ID15A beamline at ESRF, Grenoble (France) to quantify the change in structure and crystallinity during cycling.

This work is part of the PEPR H2 - SOLHYD project (ANR-22-PEHY-0007), funded by the French National Research Agency (ANR) through the France 2030 programme.

[1] Magnus M. Nygård et al, The Average and Local Structure of TiVCrNbD_x ($X = 0, 2, 2.8$) from Total Scattering and Neutron Spectroscopy. *Acta Mater.* **2021**, 205, 116496

[2] Zeineb Nefzi et al, Promising Multicomponent Cubic Alloys for Hydrogen Storage: Insights from First-Principles Calculations and Machine Learning. *ACS Appl. Energy Mater.* **2025**, 8, 6, 3327–3337

[3] Andrei Agafonov et al, Promising Alloys for Hydrogen Storage in the Compositional Space of (TiVNb)_{100-x}(Cr,Mo)_x High-Entropy Alloys. *ACS Appl. Mater. Interfaces* **2025**, 17, 29, 41991–42003

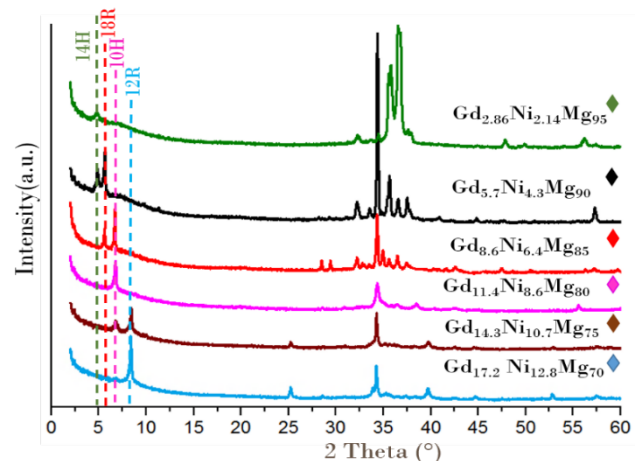
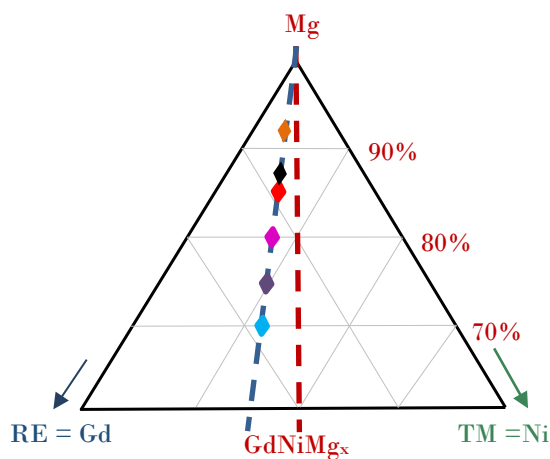
STO11 - Microstructure and Hydrogen Storage Properties of Mg-Gd-Ni Alloys Containing LPSO Phases

Najib EL RHAZFOURI, Etienne GAUDIN, Jean-Louis BOBET

University of Bordeaux, ICMCB, 87 Avenue du Dr. A. Schweitzer, 33608 Pessac, France

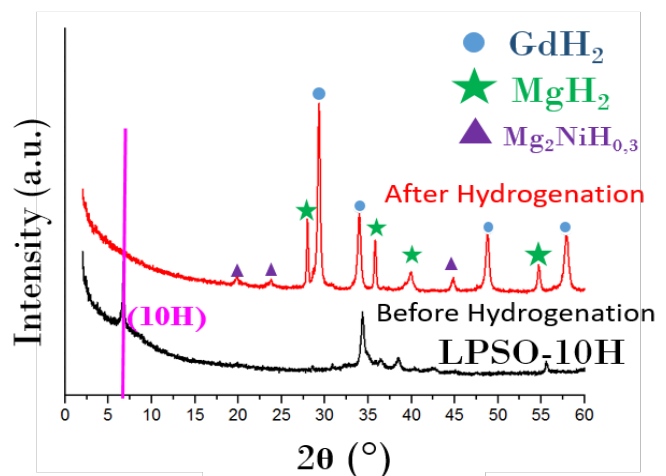
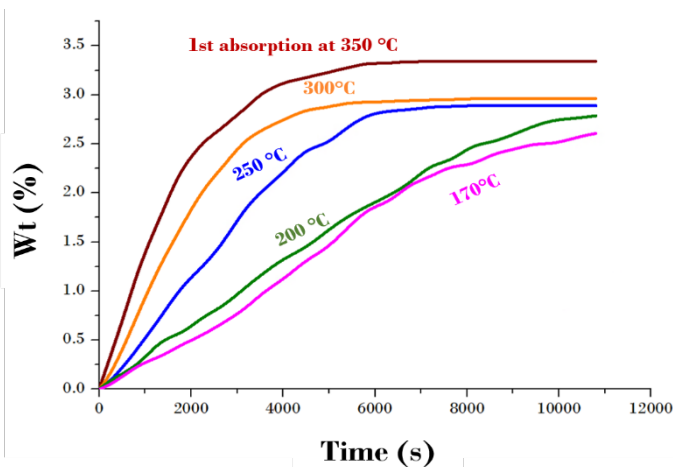
Magnesium is considered as an excellent candidate because it can absorb hydrogen up to 7.6% of its weight; the main advantage is its lightness. It is also abundant, inexpensive and safe for human health. However, magnesium has certain disadvantages, such as slow sorption kinetics and hydride stability requiring catalyst and high temperatures [1]. Binary alloys have been widely studied so the search for new **magnesium-rich ternary phases** could be of interest. Among these alloys, long-period stacking-ordered phases (**LPSO**) could be promising. Their very specific crystallographic structure in which the transition metals and rare earths are positioned in interstitial sites in a hexagonal lattice of magnesium could make them candidates for hydrogen storage [2].

In this work, Mg-Ni-Gd alloys with different Ni and Gd contents were prepared. The X-ray diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscopy (SEM) analysis indicate that depending on the magnesium content, while maintaining a (RE=4/TM=3) ratio, different types of LPSO structures (12R, 10H, 18R, and 14H) have been formed. The $\text{Gd}_{11.4}\text{Ni}_{8.6}\text{Mg}_{80}$ composition give rise to a pure LPSO phase 10H. Its hydrogenation properties were



investigated at temperatures between 170 and 300 °C. After hydrogenation, a decomposition of the structure to hydrides MgH_2 , GdH_2 and Mg_2NiH_4 has been proven.

This work is part of the PEPR H2 - SOLHYD project (ANR-



22-PEHY-0007), funded by the French National Research Agency

(ANR) through the France 2030 programme.

[1] Legrée, M., Gaudin, E., Huot, J., & Bobet, J. L. (2024), International Journal of Hydrogen Energy, 51, 695-701.

[2] Kishida, K., Nagai, K., Matsumoto, A., Yasuhara, A., & Inui, H. (2015). Acta Materialia, 99, 228-239.

STO12 - Development of a demonstrator (prototype) to study the hydrolysis reaction under real conditions

Bachar KASSEM¹, Jean-Louis Bobet¹ and Umit B. Demirci

¹*University of Bordeaux, ICMCB, 87 Avenue du Dr. A. Schweitzer, 33608 Pessac, France*

²*IEM, CNRS, University of Montpellier, 34090, Montpellier, France*

The transition to low-carbon energy systems has renewed interest in **on-demand hydrogen generation** via **hydrolysis of solid materials**, notably **magnesium-based alloys** and **chemical hydrides** such as **borohydrides**. These solids combine **high hydrogen content**, **safe storage**, and the potential for **compact, point-of-use supply** for **PEM fuel cells**. To move beyond lab proofs of concept, this PhD centers on **materials–process co-development** and the **design of demonstrators** capable of testing under **realistic, scalable conditions** with continuous monitoring (P, T, pH, flow) and rigorous kinetic analysis.

I will first **define specifications** for handling both **BH (borohydrides)** and **Mg-based** materials and **size/design** the **prototype** reactor system. Experiments will systematically vary **material composition** (including additives and media), **temperature**, **initial/final pressure**, and **form factor** (powders vs pellets) to quantify impacts on **hydrogen yield** and **kinetics**. **Post-mortem analyses** (phase/structure) will link performance to mechanisms and degradation pathways.

Results — materials tested and key findings:

We investigated hydrogen generation by hydrolysis using **MgNiC**, **AZ91C**, **MSRC**, and **NaBH₄**, pressed into **100 mg** pellets at **20–120 bar** and tested at **0–55 °C** in aqueous media (including 3.5 wt% NaCl). The data show that **higher compaction pressure** lowers porosity and **slows the kinetics** (longer induction, harder pellet breakup), while **higher temperature accelerates the reaction** and **increases final yield**. **Avrami fits** (parameters *n*, *k*) capture the sigmoidal conversion curves and quantify the effects of pressing and temperature; diffusion/shrinking-core models will be explored for early/late deviations. The **high-pressure setup** enables **direct H₂ pressure measurement** and **yield calculation** versus reactant quantity, paving the way for larger-scale tests with continuous monitoring (P–T–pH–flow).

Expected Outcomes and Next Steps:

The project will deliver: Guidance for **scale-up** (heat/mass transfer, by-product management, form factor) and **prototype design** that bridges lab screening and fuel-cell-compatible operation.

This work is part of the PEPR H2 - SOLHYD project (ANR-22-PEHY-0007), funded by the French National Research Agency (ANR) through the France 2030 programme.

STO13 - Liquid Hydrogen boil-off mitigation via MOFs and MOFs/carbon hybrids

L. Jimenez-Lopez¹, J. Park², R. Morales-Ospino¹, A. Celzard^{1,3}, H. Oh², V. Fierro¹

¹IJL, Université de Lorraine, CNRS, F-88000 Epinal, France

²Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST), Ulsan 44919, Republic of Korea

³Institut Universitaire de France (IUF), 75005 Paris, France

Hydrogen storage remains one of the central obstacles to advancing clean energy technologies, with liquid hydrogen (LH₂) in particular suffering from boil-off losses due to its cryogenic conditions [1]. This work examines the viability of metal–organic frameworks (MOFs), both in their unmodified state [2] and as composites with carbon-based additives, as cryo-adsorbents to reduce LH₂ evaporation. The study focuses on MOFs integrated with graphene oxide (GO), exfoliated graphite (EG), and quantum dots (QDOTs), assessing their impact on hydrogen retention and dormancy enhancement. To the best of our knowledge, this represents the first comprehensive evaluation of MOF–carbon composites for LH₂ boil-off mitigation. The materials investigated showed significant improvements in boil-off temperature at 1 bar, with increases ranging from 48% to 152%. While MOF-5 and MIL-100(Fe) displayed trends consistent with their hybrids, MIL-101(Cr) revealed a marked difference. In particular, the incorporation of GO generated additional ultramicroporosity, resulting in a 39% rise in boil-off temperature compared to pristine MIL-101(Cr). Supermicropores in the 0.7–2 nm range were identified as especially effective for hydrogen retention, with lower pore volumes linked to longer dormancy times. These results highlight the importance of tailoring pore structure and accounting for density limitations to guide the design of next-generation cryo-adsorption hydrogen storage systems.

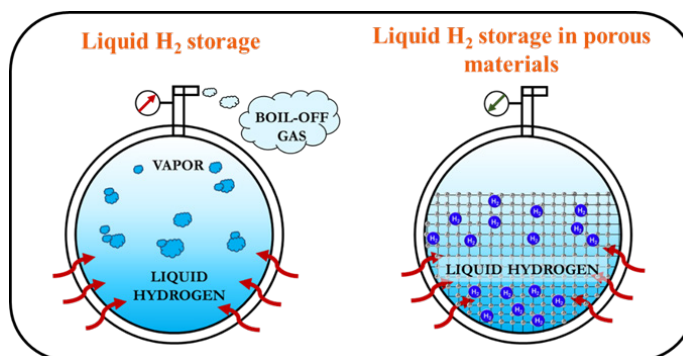


Figure 1. Schematic representation of LH₂ storage vs. LH₂ boil-off reduction through the use of porous materials

The authors acknowledge **SOLHYD project** funding by the **ANR-22-PEHY-0007** from the *Agence Nationale de la Recherche* through the France 2030 programme, and **FRCR HyPE project** (*Production et stockage d'Hydrogène décarboné et son utilisation pour la Production d'Energie dans des dispositifs sans métaux nobles*).

References

- [1] R. Morales-Ospino, A. Celzard, V. Fierro, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **2023**, 182, 113360.
- [2] Park et al., *ACS Appl. Energy Mater.*, **2023**, 6, 9057–9064.

STO14 - Synthesis of hydroboranes and borohydrides for hydrogen storage

Lilian Hoareau, Alexis Mifleur, Thibault Cantat, Jean-Claude Berthet

Université Paris-Saclay, CEA, CNRS, NIMBE, 91191 Gif-sur-Yvette

Hydrogen is an important vector for the decarbonation of our society, but safe and efficient storage and transportation of hydrogen is challenging. Various strategies are studied: compressed, liquified, or immobilized in liquid carriers. H₂ storage in solid materials offers good hydrogen density with stability over atmospheric conditions (air and moisture). Boron-based materials such as NH₃·BH₃ or LiBH₄ offer the highest volumetric and gravimetric hydrogen densities known to date (144 gH₂/L and 19.5 wt% at 25 °C and 1 bar for NH₃·BH₃), while releasing H₂ under mild conditions.^[1,2]

However, the current industrial syntheses of boron hydrides limit the application of this storage strategy. Borane (BH₃) and borohydrides (BH₄⁻) are obtained from the Schlesinger process or the Bayer process, with low atom economy and energy efficiency.^[3,4] New synthetic routes for boron hydride materials, allowing a sustainable closure of the boron cycle (Figure 2), are required for future implementation of H₂ storage.

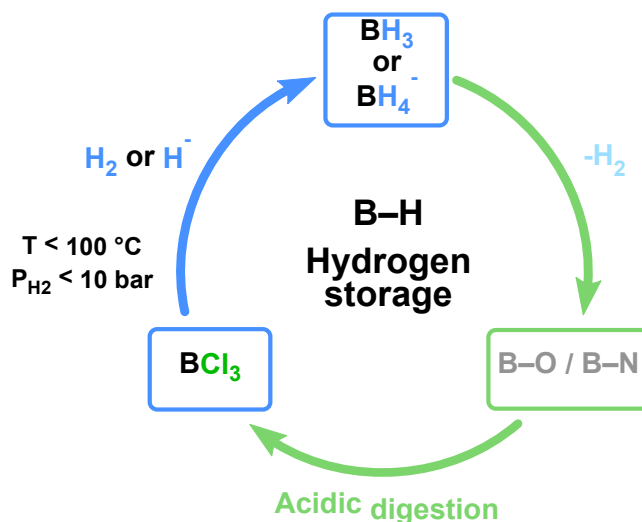


Figure 2: Development of new synthetic pathways to yield boron hydrides in mild conditions

In our group, we investigated different strategies for the hydrodechlorination of BCl₃, an intermediate in the boron cycle, obtained from the acid digestion of the dehydrogenated boron materials. Herein, we report the use of hydrosilanes as H₂ mediator for the preparation of borohydride. We studied the H/Cl exchange between Si-H and B-Cl, and propose a new methodology yielding boron hydrides such as B₂H₆, BH₄⁻, and other anionic hydroborates under mild conditions.

This work is part of the PEPR H₂ - SOLHYD project (ANR-22-PEHY-0007), funded by the French National Research Agency (ANR) through the France 2030 programme.

[1] C.A. Castilla-Martinez, R. Moury, S. Ould-Amara, U.B. Demirci, *Energies*, **2021**, 14, 7003;

[2] D.J. Heldebrant, A. Karkamkar, J.C. Linehan, T. Autrey, *Energy Environ. Sci.*, **2008**, 1, 156–160;

[3] H.I. Schlesinger, H.C. Brown, A.E. Finholt, *J. Am. Chem. Soc.*, **1953**, 75, 205–209;

[4] US3259474, **1959**.

STO15 - Pressure-Powered Electrochemistry: Unlocking Hydride Precursors for Regeneration of a Solid-State Hydrogen Storage Complex Metal Hydrides

E. Ugaddan^{1,2*}, U. Demirci², T. Charpentier³ and P. Hajiyev¹

¹ LITEN, CEA, Grenoble Alpes University, 38000 Grenoble, France

² IEM, CNRS, University of Montpellier, 34090, Montpellier, France

³ NIMBE, CEA, University of Paris-Saclay, 91191, Gif-sur-Yvette, France

The efficient storage of hydrogen remains a major challenge for sustainable energy systems. Solid-state storage materials like lithium alanate (LiAlH_4) provide high capacity ($>8 \text{ wt\% H}_2$) and favorable dehydrogenation kinetics ($<423 \text{ K}$), but their regeneration requires costly organometallic reactions and extreme pressures ($>1 \text{ kbar}$). To overcome this, we present an electrochemical approach to regenerate LiAlH_4 under moderate H_2 pressure.

We demonstrate, for the first time, the electrochemical synthesis of lithium hydride (LiH) at room temperature (RT) and 7 bar H_2 using a pulsed-potentiometric method in non-aqueous Li-based electrolytes (LiBF_4 , LiTFSI). LiH forms through electrodeposited Li interacting with H_2 or hydride anion (H^-) intermediates (seen in Figure 1), as revealed by electrochemical analyses and confirmed by ^1H NMR and XRD. Further, incorporating Al species in the electrolyte **enabled LiBH_4 formation at RT and 7 bar combined with a continuous H_2 supply from an electrolyser**, which was verified by ^{11}B and ^1H NMR. One mechanistic hypothesis is the indirect formation of LiAlH_4 . These results highlight the potential of electrochemical, H_2 -mediated regeneration as a **viable alternative to energy-intensive conventional methods in the formation of complex hydrides**.

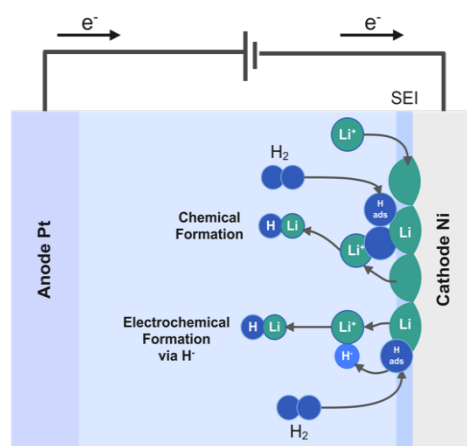


Figure 1. Proposed mechanism in the formation of suspended LiH in our experiment

This work is part of the PEPR H_2 - SOLHYD project (ANR-22-PEHY-0007), funded by the French National Research Agency (ANR) through the France 2030 programme.

References:

- [1] J. Graetz, J. Wegrzyn, J. Reilly, J. American Chemical Society, 130.52 (2008): 17790-17794
- [2] T. Humphries, D. Birkmire, S. McGrady, B. Hauback, C.Jensen, J. Alloys and Compds, 723 (2017): 1150-1154

STO16 - TiVCr-based High Entropy Alloys for solid-state hydrogen storage

**Léa Abou-Samra¹, Aude Bailly¹, Jean-Marc Joubert², Maria Diaz-Lopez¹, Richard Haettel¹,
Emmanuel Verloop¹, Patricia de Rango¹, Laetitia Laversenne¹**

¹ Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, Institut Néel, 38000 Grenoble, France

² Univ. Paris-Est Créteil, CNRS, ICMPE, UMR7182, 94320 Thiais, France

High-entropy alloys (HEAs) have recently emerged as promising candidates for solid-state hydrogen storage due to their simple solid-solution structures, compositional flexibility, and reversible sorption behavior. In this work, TiVCr-based HEAs containing minor additions of Mn, Fe, or both were synthesized by induction melting and systematically characterized. Structural characterization using synchrotron X-ray (Figure 1) and neutron diffraction revealed that the as-cast alloys crystallize predominantly in a BCC solid-solution phase with a minor hexagonal C14 Laves phase whose fraction depends on the Mn–Fe ratio, in good agreement with CALPHAD thermodynamic calculations. Microstructural (SEM–EDX) observations showed partial elemental segregation linked to the wide melting range of the elements and the cooling conditions. Hydrogen storage properties, assessed by pressure–composition isotherms (PCIs) using Sievert’s method, exhibited rapid kinetics (below 3 minutes) and equilibrium pressures exceeding 1.5 bar at 25 °C, with hydrogen capacities of 2.41 to 3.2 wt%. These results establish clear correlations between the structural, microstructural, and sorption properties of these high entropy alloys.

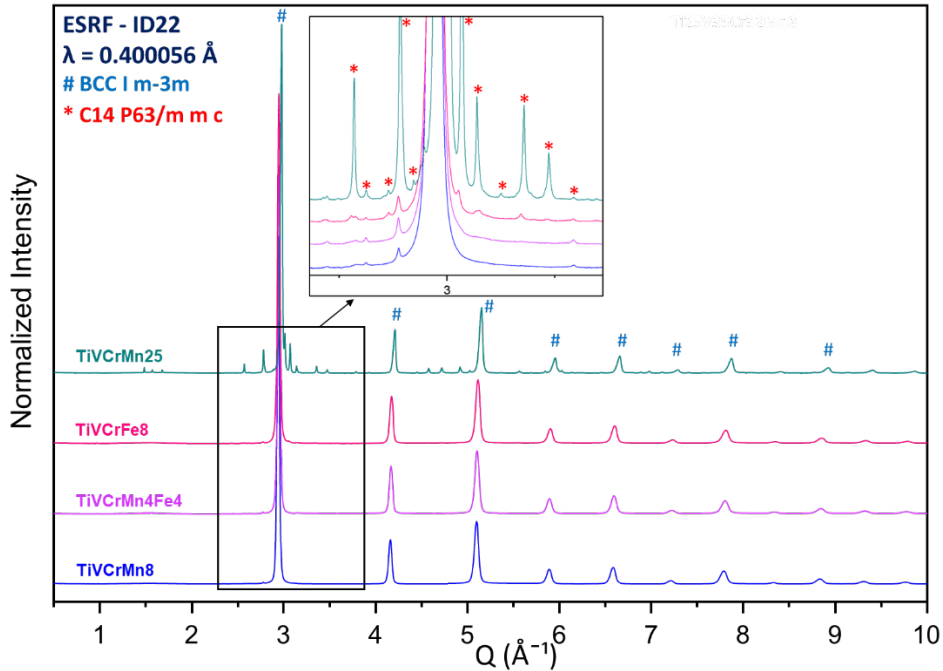


Figure 1: HR-XRPD patterns obtained for as-cast TiVCr-based HEAs with different amounts of Mn and/or Fe (ID22 @ ESRF Synchrotron, $\lambda = 0.400056(3)$ Å). The most intense peaks labeled with hashtags correspond to the bcc phase and the one with stars to the C14 Laves phase.

STO17 - L'acide formique pour le stockage d'hydrogène

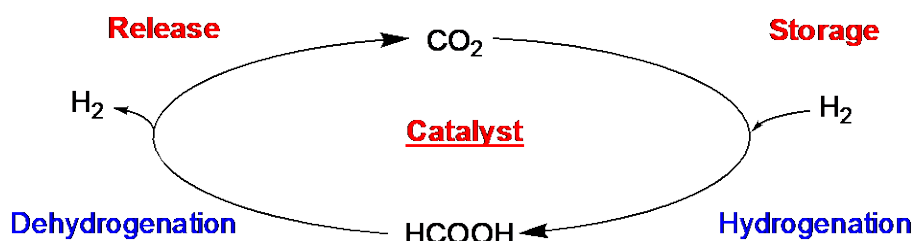
Cédric Fischmeister,¹ Shengdong Wang,¹ Haiyun Huang,¹ Liwei Guo,¹ Christian Bruneau,¹ Raphael Verron,¹ Emmanuel Puig,² Pierre Sutra,² Alain Igau²

¹ Univ Rennes, CNRS, ISCR (Institut des Sciences Chimiques de Rennes) – UMR 6226
F-35042 Rennes, France.

² CNRS, LCC (Laboratoire de Chimie de Coordination). Université de Toulouse, UPS, INPT.
205 route de Narbonne, BP 44099. 31077 Toulouse Cedex 4, France
e-mail: cedric.fischmeister@univ-rennes.fr

L'acide formique, HCOOH est un acide carboxylique organique ne présentant que peu de risques liés à la manipulation et au transport. Il fait partie des candidats « Liquid Organic Hydrogen Carriers» pour le stockage chimique de l'hydrogène.^[i]

Nous développons des catalyseurs homogènes organométalliques (Ru, Ir) capables de déshydrogéner l'acide formique en solution dans des conditions de température relativement douces. Des catalyseurs d'iridium très robustes ont permis la déshydrogénation de l'acide formique pur à 80 °C. La phase de stockage par hydrogénation du CO₂ permettant de boucler le cycle de stockage/libération d'hydrogène est également étudiée.



Scheme 1 Acide formique pour le stockage d'hydrogène

Nous présenterons nos résultats récents dans ces domaines.^[ii,iii]

^[i] K. Sordakis, C. Tang, L. K. Vogt, H. Junge, P. J. Dyson, M. Beller, G. Laurenczy, *Chem. Rev.* **2018**, *118*, 372-433.

^[ii] R. Verron, E. Puig, P. Sutra, A. Igau, C. Fischmeister, *ACS Catal.*, **2023**, *13*, 5787-5794

^[iii] L. Guo, Z. Li, M. Cordier, R. Marchal, B. Le Guennic, C. Fischmeister, *ACS Catal.*, **2023**, *13*, 13626-13637.

STO18 - Structural and Hydrogenation Properties of $\text{Y}_{0.88}\text{Ni}_{3-x}\text{Mn}_x$ Alloys

**Junxian Zhang¹ Ghofrane Fedloulk¹, Judith Monnier¹, Laetitia Laversenne²,
Lei Lei³, Sanliang Ling³**

¹*Univ Paris Est Créteil, CNRS, ICMPE, UMR 7182, 2 rue Henri Dunant, 94320 Thiais, France*

²*University Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, Institut Néel, 38000, Grenoble, France*

³*Advanced Materials Research Group, Faculty of Engineering, University of Nottingham, Nottingham, NG7 2RD, UK*

AB_3 (A = rare earth and Mg , B = transition metals) compounds, with inter-growth structures by the stacking of two basic subunits $[AB_5]$ and $[A_2B_4]$ along the crystallographic c -axis, are expected to have both high storage capacities due to the presence of $[A_2B_4]$ subunits, and good cyclability thanks to the $[AB_5]$ subunits. Binary compounds $R\text{Ni}_3$ (R = rare earth) provide high hydrogen absorption capacity but they show multi-plateaus absorption, and they are not reversible¹. Optimizing and enhancing their hydrogenation properties can be achieved through element substitution of R with Mg to form $R_2\text{MgNi}_9$ ². Besides $R_2\text{MgNi}_9$ compounds, which are largely studied, the $\text{YNi}_{3-x}\text{Mn}_x$ alloys have attracted interest due to their Mg -free nature and to their potential applications in various fields, including hydrogen storage³.

For the present work, we opted to investigate the $\text{Y}_{0.88}\text{Ni}_{3-x}\text{Mn}_x$ system ($x = 0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.8$ and 1). The lattice parameters of the AB_3 phase determined by X-ray diffraction do not vary linearly with Mn content which may indicate a non-random occupation of Mn atoms in the structure. Due to the limited scattering contrast between Mn and Ni in X-ray diffraction, neutron diffraction is indispensable for accurately determining the location of Mn within the structure. By combining the synchrotron X-ray and neutron diffraction patterns, the joint refinement demonstrates that at low concentrations, Mn occupies the Y -site within the $[A_2B_4]$ subunits and the Ni -site within the $[AB_5]$ subunits. As the concentration increases, Mn also occupies Ni -sites on the boundary between $[A_2B_4]$ and $[AB_5]$ subunits. The evolution of the lattice parameters is tightly correlated to these variations in Mn occupancy. Density functional theory (DFT) calculations confirm experimental observation.

The hydrogenation properties were studied by the Sieverts method, and it was observed that increasing the Mn content suppressed the multi-plateau behavior often observed for $A\text{Ni}_3$ compounds and increased the reversibility. The correlation between the structural modifications and the thermodynamic properties will be discussed.

This work is part of the PEPR H2 - SOLHYD project (ANR-22-PEHY-0007), funded by the French National Research Agency (ANR) through the France 2030 programme.

[1] W. Liu et al. *Int. J. Hydrog. Energy*, (2016) vol. 41, no 5, p. 3485–3507.

[2] F. Fang et al. *J. Power Sources* 427 (2019) 145–153.

[3] K. Iwase et al. *J. Solid State Chem.*, 340, (2024), 125001.

STO19 – Estimation en ligne de l'état de charge d'un système de stockage solide de l'hydrogène

Amina YAHIA, Djafar CHABANE, Salah LAGHROUHE, Abdoul N'DIAYE,
Abdesslem DJERDIR

*Université Marie et Louis Pasteur, UTBM, CNRS, Institut FEMTO-ST, FCLAB,
F-90000 Belfort, France*

La technologie de stockage de l'hydrogène dans des hydrures métalliques (MHHT) offre une solution sûre et respectueuse de l'environnement, particulièrement adaptée aux applications embarquées comme les véhicules électriques. La sécurité de ces systèmes dépend d'une estimation précise de la quantité d'hydrogène stockée, une tâche qui demeure complexe en raison de la difficulté des mesures directes.

Dans ce contexte, ce travail présente tout d'abord une description de l'état de l'art des différentes études réalisées sur cette thématique, mettant en évidence les limites et les perspectives des approches existantes. Sur cette base, il propose ensuite une méthode spécifique d'estimation de l'état de charge (SoC) d'un MHHT, développée sous MATLAB et reposant sur l'intégration d'un filtre de Kalman non linéaire de type unscented (UKF). Des mesures en temps réel de pression et de température sont utilisées pour valider la précision de l'estimation du SoC par l'UKF. Afin de renforcer encore la performance et la robustesse du filtre, un algorithme d'optimisation par essaim de particules (PSO) est appliqué pour ajuster ses hyperparamètres.

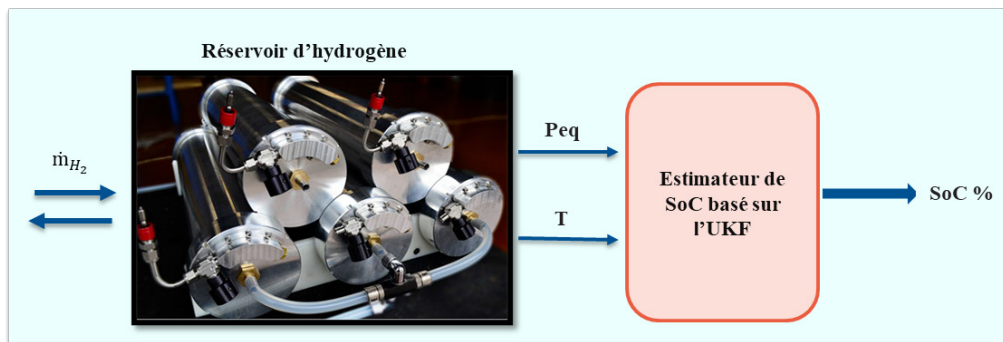


Figure : Schéma fonctionnel général de l'algorithme d'estimation des réservoirs à hydrures métalliques

STO20 - Modélisation multi-échelle d'un réacteur à lit ruisselant pour l'hydrogénation du dibenzyltoluène comme LOHC

Casimir MAUDET^{1,2}, François Rousset¹, Marc Clausse¹, et Isabelle Pitault²

¹ Univ. Lyon, INSA Lyon, CNRS, CETHIL, UMR 5008, Villeurbanne, France

² Univ. Lyon, UCBL Lyon 1, CNRS, LAGEPP, UMR 5007, Villeurbanne, France

Les liquides organiques porteurs d'hydrogène (LOHC) constituent une alternative potentiellement intéressante au stockage d'hydrogène sous pression ou par cryogénie du fait d'une densité volumétrique intéressante (LOHC : 70 kg H₂/m³ ; Sous pression : 17–33 kg H₂/m³ ; Cryogénie : 35–40 kg H₂/m³) et d'une transportabilité facile (transport à pression et température ambiante) [1]. Parmi les LOHC, le couple dibenzyltoluène (DBT)/perhydro-DBT est fréquemment étudié et sert de système de référence dans ce projet. Le procédé de stockage consiste à hydrogéner le DBT en perhydro-DBT. En fonction de la demande d'hydrogène, le perhydro-DBT est ensuite déshydrogéné. Les réactions étant fortement exo- ou endothermique, l'intégration énergétique doit se faire au niveau du procédé global intégrant la production et la consommation d'hydrogène. C'est dans ce cadre que s'inscrit le projet EOLOHC, qui consiste à développer un système de stockage d'énergie éolienne via LOHC et dans lequel un modèle dynamique du procédé global est développé.

Le travail présenté ici se concentre sur la modélisation dynamique multi-échelle d'un réacteur multitubulaire à lit ruisselant utilisé pour l'hydrogénation du DBT (voir Figure 3). À l'échelle du réacteur, un modèle transitoire de type plug-flow avec dispersion axiale décrit l'évolution des concentrations et de la conversion le long du lit [2]. Il prend en compte les variations des densités et des fractions volumiques de chaque phase fluide, qui sont spécifiques au stockage LOHC. Les trois étapes successives d'hydrogénation étant rapides et limitées par le transfert interne, un modèle à l'échelle particulaire a dû être développé [3]. Les équations de bilan stationnaire dans le solide sont résolues par collocation. Le couplage des deux modèles relie transferts intra-particulaires et performance globale du réacteur.

Le code développé sous Python simule la variation des profils de conversion d'hydrogène en fonction de son débit d'entrée dans une gamme de validité comprise entre 10 et 50 bar et 100 à 250°C. À notre connaissance, il s'agit du premier modèle intégrant cinétique multi-étapes, diffusion intra-particulaire et transferts multiphasiques pour ce système, offrant ainsi une approche généralisable à d'autres couples LOHC et aux réacteurs de déshydrogénation. En perspectives, le modèle fera l'objet d'une étude de réduction de modèle pour accélérer son temps de calcul et permettre son intégration dans des chaînes énergétiques complètes de type Power-to-H₂.

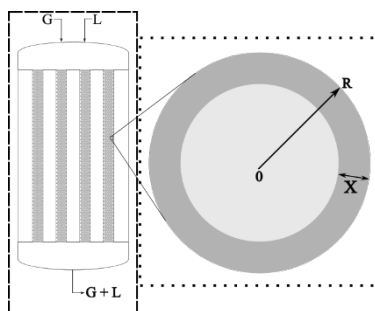


Figure 3. (a) Réacteur multitubulaire avec flux de DBT et H₂ ; (b) Catalyseur egg-shell (Pt/Al₂O₃) de rayon R et épaisseur active X.

[1] R. Aslam, K. Müller, M. Müller, M. Koch, P. Wasserscheid, W. Arlt, *J. Chem. Eng. Data*. **2016**, 61 (1), 643–649. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jced.5b00789>.

[2] A. M. Lattanzi, M. B. Pecha, V. S. Bharadwaj, P. N. Ciesielski, *Chem. Eng. J.* **2020**, 380, 122507. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122507>.

[3] A. Tomić, B. Pomeroy, B. Todić, B. Likozar, N. Nikačević, *Appl. Energy*. **2024**, 365, 123262. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123262>.

STO21 - Déshydrogénation du perhydrobenzyl-toluène (LOHC) : avancées en catalyse et cinétique

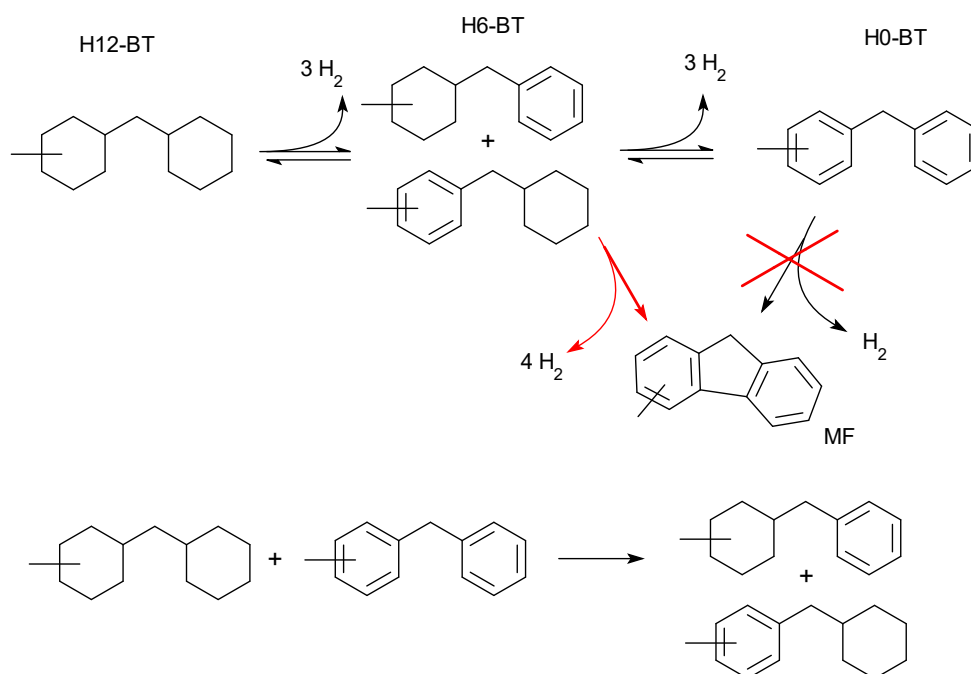
Valérie Meille, Nataliia Marchenko, Mohamad Kharma, Laurent Piccolo, Nuno Batalha

IRCELYON, CNRS – UCBL, Campus de la Doua, VILLEURBANNE

Le stockage d'hydrogène dans les liquides organiques (LOHC) est aujourd'hui considéré comme une option compétitive à d'autres formes de stockage. Les molécules benzyltoluène et dibenzyltoluène sont les plus étudiées, pour leur forte capacité de stockage (6.2 wt-%), leur faible toxicité et leur état liquide dans une large gamme de température.

Dans le cadre du projet UnLOHCKed, la déshydrogénation du perhydrobenzyltoluène (H12-BT) en benzyltoluène (H0-BT) a été étudiée à 260°C avec des catalyseurs Pt/TiO₂, en faisant varier le rapport des phases anatase/rutile et la taille des nanoparticules. L'objectif recherché était de maximiser la vitesse de restitution d'hydrogène par déshydrogénation catalytique et d'éviter la formation de méthylfluorène, sous-produit conduisant à la désactivation du catalyseur. Les meilleurs résultats ont été obtenus en combinant un support peu acide (riche en rutile) et des nanoparticules de platine présentant peu de sites à faible coordination [1].

Par ailleurs, une étude cinétique a été conduite pour comprendre l'origine de l'accumulation de méthylfluorène (MF). Contrairement à ce qui était considéré comme acquis dans la bibliographie, nous avons démontré que le méthylfluorène était formé à partir de l'intermédiaire hexahydrogéné (H6-BT) et non du produit final perhydrogéné. Les réactions finalement en jeu sont résumées dans le schéma suivant. Les constantes cinétiques ont pu être identifiées.



Les résultats ont été obtenus dans le cadre du projet UnLOHCKed (Clean Hydrogen partnership, GA 101111964).

[1] N. Marchenko, M. Kharma, L. Pinard, L. Massin, F. Morfin, L. Piccolo, N. Batalha, V. Meille, *Int. J. Hydrogen Energy* **2025**, 161, 150636.

STO22 - Cold-rolling of Ti based alloys

How does plastic deformation improve the hydrogen sorption ?

**Thierry Grosdidier^{1,3}, Anthony Alhayek^{1,2}, Julian Ledieu², Jing Wen^{1,3}, Vincent Fournée²,
Sylvie Migot², Jaafar Ghanbaja², Jacques Huot⁴, Patricia de Rango⁵**

¹ *Université de Lorraine, CNRS, Arts et Métiers Institute of Technology, Laboratoire d'Etude des Microstructures et de Mécanique des Matériaux (LEM3), F-57000 Metz, France.*

² *Université Lorraine, CNRS, IJL, F-54000 Nancy, France*

³ *LABoratoire D'EXcellence "Design of Alloy Metals for Low-mAss Structures" (LABEX-DAMAS),
7 Rue Félix Savart, 57073, Metz, France.*

⁴ *Université du Québec. Trois-Rivières, Hydrogen Research Institute, Trois-Rivières, Canada.*

⁵ *Université Grenoble Alpes, CNRS, Institut Néel, 38000, Grenoble, France.*

Different amounts of cold rolling were applied to a pure hexagonal α -Ti – taken as a “model material” - to gain new insights on the effect of plastic deformation on hydrogen absorption properties (activation and kinetics). Reproducible specific H₂ charging procedures were set to discriminate between different material parameters such as structural defects (dislocations, vacancies), grain boundaries, texture and native oxide stability. The positive effect of increasing the amount of plastic deformation on improving the absorption kinetics was maintained despite the occurrence of a recrystallisation process - that removes most of the structural defects induced by rolling - before any H₂ loading. Decisive factors responsible for improved absorption kinetics such as higher proportion of high-angle grain boundaries, texture strengthening, as well as surface oxide layer modification induced by increasing cold rolling are analysed and thoroughly discussed. The H-absorption curves in Ti are characterized by three different stages, having possibly very different lengths. It is essentially the formation of the hydrogen (hcp) α -Ti solid solution (Stage I) and its transformation into the (bcc) β -Ti phase (stages II) that are affected by these decisive parameters. In particular, cold rolling has a major effect on destabilizing the surface oxide which, in turn, shows faster reduction towards its metal form. The subsequent kinetics, towards the formation of the δ -TiH₂ hydride (Stage III), being related to the volume expansion cracking and the formation of fresh surfaces, is always rather fast even at low (400 – 450°C) charging temperatures.

STO23 - Amidoboranes bimétalliques pour le stockage de l'hydrogène

- **Matthias Jollain¹, Alexandre Bernard¹, Christine Surcin¹, Maxence Vincent², Umit B. Demirci², Raphaël Janot¹**

¹ *Laboratoire de Réactivité et Chimie des Solides (LRCS), CNRS UMR 7314, Université de Picardie Jules Verne, 15 rue Baudelocque, 80039, Amiens, France*

² *Institut Européen des Membranes (IEM), CNRS UMR 5635, Université de Montpellier, ENSCM, 34090 Montpellier, France*

L'ammonia-borane (NH_3BH_3) est un bon candidat pour le stockage solide de l'hydrogène en raison de sa forte teneur en H (19.6 % massique) et de sa capacité à désorber à basse température ($< 150^\circ\text{C}$). Cependant, des problèmes majeurs se posent à son utilisation : pollution de l'hydrogène désorbé par des sous-produits gazeux tels que NH_3 , B_2H_6 , $\text{N}_3\text{B}_3\text{H}_6$ ainsi que l'impossibilité de réhydrogéner les produits de désorption. Dans l'optique d'améliorer le comportement thermique de l'ammonia-borane, les amidoboranes alcalins $\text{M}(\text{NH}_2\text{BH}_3)_x$ ont été étudiés permettant d'améliorer la pureté de l'hydrogène libéré [1]. Les amidoboranes bimétalliques $\text{M}_2\text{M}'(\text{NH}_2\text{BH}_3)_4$ permettent quant à eux d'améliorer la thermodynamique de la réaction de déshydrogénation, avec pour certains d'entre eux une réaction endothermique, laissant entrevoir une potentielle réhydrogénation [2-4].

Nos travaux de recherche s'intéressent à deux familles d'amidoboranes bimétalliques : ceux à base de magnésium $\text{M}_2\text{Mg}(\text{NH}_2\text{BH}_3)_4$ et ceux à base de calcium $\text{M}_2\text{Ca}(\text{NH}_2\text{BH}_3)_4$ (avec $\text{M} = \text{Li}, \text{Na}, \text{K}, \text{Rb}$ ou Cs). Ces composés ont été préparés par mécanosynthèse, notamment par broyage cryogénique (77 K) pour les alcalins lourds (Rb, Cs). Nous verrons que la formation conjointe de traces des composés $\text{M}(\text{B}_3\text{N}_2\text{H}_{12})$ comme impuretés est responsable de désorption d'ammoniac vers 110°C , ces traces étant notamment mises en évidence par spectroscopie RMN-MAS ^{11}B . Après optimisation des teneurs en précurseurs, il a été possible d'obtenir des composés $\text{M}_2\text{Mg}(\text{NH}_2\text{BH}_3)_4$ avec une grande pureté. Ceci a permis une analyse fine de leurs propriétés de désorption : plus le métal alcalin M est gros, plus la température de désorption de H_2 augmente, passant de 153°C pour Li à 206°C pour Cs, et plus la désorption est endothermique.

Ces travaux s'inscrivent dans le cadre du projet PEPR H2 - SOLHYD (ANR-22-PEHY-0007), financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) à travers le programme France 2030.

[1] R. Owarzany, P. Leszczyński, K. Fijalkowski, W. Grochala, Mono- and Bimetallic Amidoboranes, Crystals **2016**, 6, 88.

[2] N. Biliškov et al., In-Situ and Real-time Monitoring of Mechanochemical Preparation of $\text{Li}_2\text{Mg}(\text{NH}_2\text{BH}_3)_4$ and $\text{Na}_2\text{Mg}(\text{NH}_2\text{BH}_3)_4$ and Their Thermal Dehydrogenation, Chemistry - A European Journal **2017**, 23, 16274.

[3] Y. S. Chua, W. Li, G. Wu, Z. Xiong, P. Chen, From exothermic to endothermic dehydrogenation - Interaction of monoammoniate of magnesium amidoborane and metal hydrides, Chem. Mat. **2012**, 24, 3574.

[4] I. Milanović, N. Biliškov, K. Užarević, S. Lukin, M. Etter, I. Halasz, Mechanochemical Synthesis and Thermal Dehydrogenation of Novel Calcium-Containing Bimetallic Amidoboranes', ACS Sustainable Chem. Eng., **2021**, 9, 2089.

STO24 - Study of the hydrodynamic phenomena of three-phase reactors: hydrogenation and dehydrogenation of Liquid Organic H₂ Carriers

MURLO A.^{1,2}, CHAPPAZ A.¹, PANZONE C.¹, PITAULT I.²

¹CEA, Grenoble, 38000, France

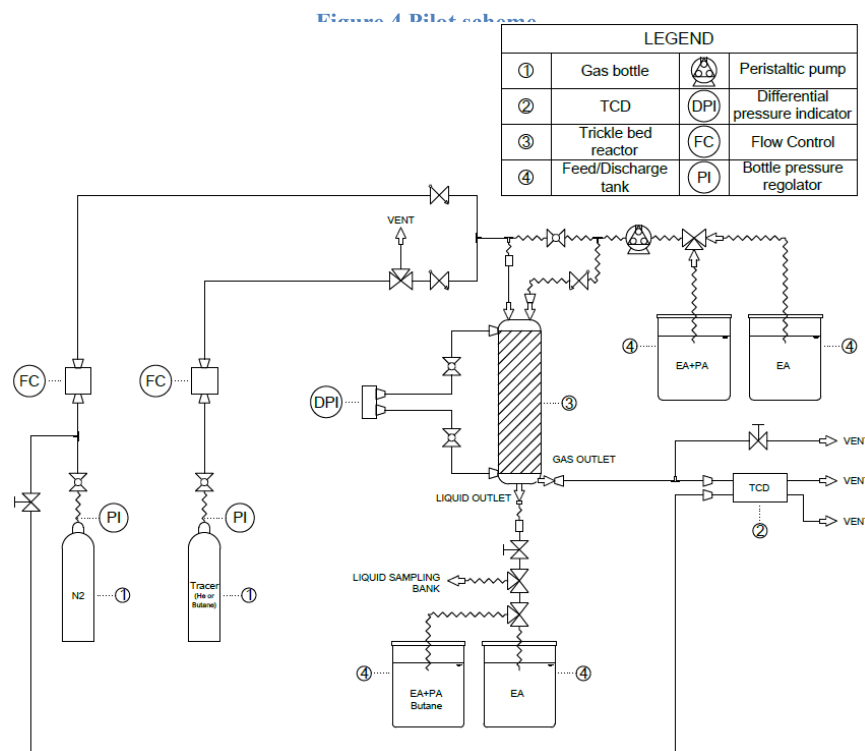
²Université Claude Bernard, Lyon, 69100, France

Liquid Organics Hydrogen Carriers (LOHCs) are family of compounds that can be utilized for hydrogen storage and transport. Based on previous research done at CEA ^[1], this work focuses on the use of γ -butyrolactone (GBL) and 1,4-butanediol (BDO) as LOHCs, due to their optimal properties and potential bio-based origin. Unlike traditional commercial processes (e.g., hydrogenation), this technology involves a different hydrogen consumption ^[2]. In addition, the gas-to-liquid volumetric flow ratio in the three-phase reactor changes significantly during hydrogenation and dehydrogenation. These variations affect the hydrodynamics and, consequently, the overall performance of the system. For this reason, a complete description of the hydrodynamics is essential. To isolate the hydrodynamic behaviour, reaction and thermal effects were initially excluded from the analysis. Inert compounds—nitrogen and ethyl acetate—were selected as fluid media to operate at ambient conditions. Ethyl acetate was chosen because, under these conditions, its density, surface tension, and viscosity are comparable to those of GBL/BDO under process operating conditions ^[1]. An initial computational model of the inert system was developed to analyse the effects of different inputs, such as fluid

velocities and pressure. Experimental validation is required, to this end, a pilot system has been designed (Figure 1), and the corresponding experimental procedure has been defined. work will then extend the study include reaction and thermal aspects, and to evaluate their influence on hydrodynamics.

[1] C. Quasmi, *Stockage d'hydrogène nouveaux vecteurs liquides biosourcés* **2022**.

[2] V. Meille, P. Isabelle, *Stockage chimique de l'hydrogène dans les liquides organiques (LOHC)*, *Techniques de l'Ingénieur* **2024**, HY3700, v1.



Future
to

par de
(LOHC),

STO25 - The role of Al addition on the hydrogen sorption properties of TiVZrNbHf high entropy alloy

Claudia Zlotea, Faye Greaves¹, Vivian Nassif², Maria Alfredsson³, Alan V. Chadwick³, Ryan Parmenter³, Jakub Cizek⁴, Oksana Melikhova⁴, Lei Lei⁵, David M. Grant⁵, Martin Dornheim⁵, Sanliang Ling⁵, Patrick Cullen⁶

¹*Univ. Paris Est Creteil, CNRS, ICMPE, UMR 7182, 2 Rue Henri Dunant, 94320 Thiais, France*

²*University Grenoble Alpes, CNRS, Institut Néel, 38000 Grenoble, France*

³*Materials Energy and Electronics Group, School of Chemistry and Forensic Sciences, University of Kent, Canterbury, Kent CT2 7NH, UK*

⁴*Faculty of Mathematics and Physics, Charles University, V Holesovickach 2, Prague 8 18000, Czech Republic*

⁵*Advanced Materials Research Group, Faculty of Engineering, University of Nottingham, Nottingham NG7 2RD, UK*

⁶*School of Engineering and Materials Science, Queen Mary University of London, Mile End Road, London E1 4NS, UK*

Refractory BCC high entropy alloy TiVZrNbHf is a promising material for solid-state hydrogen storage with high hydrogen sorption capacity but unfavourable thermodynamics of hydride phase *i.e.*, too stable hydride that needs high temperature to reversibly recover the absorbed hydrogen.^{1,2} As an attempt to destabilize the hydride phase, we report here on the effect of Al addition (limited concentrations: 5 and 10 at.%) into this alloy on the physicochemical and hydrogen sorption properties. Despite traces of a V-Al secondary phase, the BCC (TiVZrNbHf)_{1-x}Al_x alloys are random solid solutions which form high-capacity FCC hydride phases under hydrogen atmosphere at room temperature, as proven by synchrotron and neutron diffraction. Although Al decreases the hydrogen sorption capacity, the presence of *p* element destabilizes the FCC hydride phase. A comparison with previous literature data helps understanding the role of Al, which strongly depends on the chemical composition of the initial alloys. XANES studies allowed access to details of the electronic structure of the unoccupied levels complemented by density functional theory calculations. Moreover, the addition of Al favours the formation of larger open volume defects during hydride formation than the initial Al-free alloy which might explain the faster absorption kinetics in Al-containing alloys.

References

- 1 M. Sahlberg, D. Karlsson, C. Zlotea and U. Jansson, *Scientific Reports*, 2016, **6**, 36770.
- 2 D. Karlsson, G. Ek, J. Cedervall, C. Zlotea, K. T. Møller, T. C. Hansen, J. Bednarčík, M. Paskevicius, M. H. Sørby, T. R. Jensen, U. Jansson and M. Sahlberg, *Inorg. Chem.*, 2018, **57**, 2103–2110.

STO26 - To a better knowledge of alkylcarbazoles as LOHC

Isabelle Pitault¹, Yang Wu¹, Aurélie Galfré¹, Carine Julcour², Téo Jorge², Anne-Marie Billet², Isabelle Polaert³, Ruddybel Benjamin Tiburcio³, Alain Ledoux³

¹LAGEPP, CNRS-UCBL, 69100 Villeurbanne

²LGC, CNRS-INPT, 31000 Toulouse

³LSPC, INSA-Rouen, 76800 Saint-Étienne-du-Rouvray

Hydrogen storage and transport in LOHC through a cycle of catalytic hydrogenation-dehydrogenation of H₂-poor and H₂-rich organic compounds is one of the major challenges in processes. In recent research, many reviews have focussed on promising molecule pairs in terms of thermodynamics and catalytic activities, but only a few have focussed on suitable reactor and process. The aim of the ANR RID-LOHC project is to propose efficient reactors capable of managing the huge heat release or demand and the important flow gas flows induced by the reactions. Compounds from the carbazole family (N-ethylcarbazole (NEC) and N-propylcarbazole (NPC)) were chosen as LOHC because of their low dehydrogenation temperature and reaction enthalpy. Although NEC seemed had been studied since time ago, papers showed however some discrepancies and inaccuracies that we first wanted to clarify.

Both NEC and NPC are solid at room temperature. The existence of a eutectic mixture had been demonstrated in the literature [1], giving 33°C as the lower temperature of the liquid mixture for a mixture of 30%NEC+70%NPC. However, mixtures between 30% and 60%NEC had not been assessed. Narrowing the range, we found the lowest temperature to be about 23°C for an almost equimolar mixture (48%NEC). This mixture dynamic viscosity is relatively high at 25°C (270.96 mPa.s), but decreases sharply with temperature (7.3 mPa.s at 80°C) and the hydrogen solubility is only 20% lower than for toluene.

Hydrogenation experiments of 48%-NEC mixture were carried out at 20 bar between 100°C and 170°C in a basket semi-batch reactor filled with industrial catalyst pellets. Kinetic modelling showed that NEC and its hydrogenated compounds H_x-NEC (x/2 = 2, 4 and 6 hydrogenated bonds) behaved similarly to NPC and H_x-NPC and can be lumped together as H_x. The reaction scheme followed globally direct pathways (H₀ → H₄ → H₈ → H₁₂), except for two minor H₁₂ isomers which were formed directly from H₀ and H₄.

Finally, using published results [2-5] on pure H₁₂-NEC dehydrogenation carried out in similar reactors, with 5wt.% Pd/Al₂O₃ catalysts at 1 bar between 160 and 200°C, we developed kinetic models. Surprisingly, a unique reaction scheme with direct pathways could not be applied for the four authors, H₁₂-NEC → H₄-NEC had to be added for two authors, while H₁₂-NEC → NEC had to be added and H₄-NEC removed for another, suggesting different proportions of isomers in H₁₂-NEC, as it is not commercial and was produced by the authors.

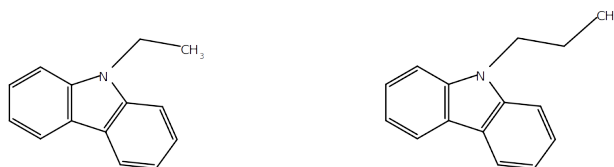


Figure: Chemical structures of N-ethylcarbazole (NEC) (Left) and N-propylcarbazole (NPC) (Right)

[1] Stark et al., J. Chem. Eng. Data **2016**, 46, 15660–15670

[2] Yang et al., Int. J. Hydrog. Energy **2014**, 39, 18976–18983

[3] Feng et al., Environ. Sci. Pollut. Res. **2020**, 27, 36172–36185

[4] Kiermaier et al., Int. J. Hydrog. Energy **2021**, 46, 15660–15670

[5] Wang et al., Int. J. Hydrog. Energy **2018**, 43, 7317–7325

STO27 - Propriétés de composés ternaires $T\text{-Mg-M}$ (T = Terre rare, M =Ni, Co)

V. Paul-Boncour¹, Y. Verbovytsky², I. Zavalii², R. Denys³, V. Shtender⁴

¹Univ Paris Est Créteil, CNRS, ICMPE, UMR 7182, 2 rue Henri Dunant, 94320 Thiais, France

²Karpenko Physico-Mechanical Institute, NAS of Ukraine, 5 Naukova St., 79060 Lviv, Ukraine

³HYSTORSYS AS, Kjeller, Norway

⁴Department of Chemistry, Ångström Laboratory, Uppsala University, Uppsala 75121, Sweden

Les composés de type TM_n (T = Terre rare, M = métal de transition, $1 < n < 5$) sont connus pour absorber de façon réversible l'hydrogène avec une capacité volumique élevée mais une capacité massique réduite. Par ailleurs le Mg a une capacité massique élevée (7,6 % mass), mais forme un hydruire stable nécessitant des températures de désorption élevées (300-400 °C) et une cinétique assez lente. C'est pourquoi il est intéressant d'étudier les propriétés d'alliages binaires et ternaires contenant du Mg, afin de pouvoir adapter les propriétés d'hydrogénation en bénéficiant de l'apport de chaque élément. Le Mg est connu pour former un alliage avec le Ni formant les composés intermétalliques MgNi, Mg₂Ni, MgNi₂ et MgNi₃ et avec le Co formant MgCo et MgCo₂, composés qui peuvent absorber l'hydrogène [1]. Nous nous sommes intéressés à des composés ternaires de type $TMgM$ (M = Ni, Co). En variant la stœchiométrie de chaque élément, on obtient plusieurs composés ternaires de type T_4MgM , $T_4Mg_3M_2$, $TMgM_4$, $T_{3-x}Mg_xM_9$ avec des structures cristallines variées [2-8]. Nous présenterons ces différentes familles avec leurs structures et leurs propriétés d'hydrogénation. Les composés $TMgM_4$ ont été particulièrement étudiés car ils absorbent réversiblement l'hydrogène autour de la pression et température ambiante et la substitution complète de Ni par Co augmente la capacité molaire de 50 %. En jouant sur la nature de la terre rare et sur le rapport Co/Ni on peut ainsi faire varier la pression d'équilibre, la capacité de stockage d'hydrogène et la cinétique. La structure des hydrures formés varie avec la concentration en hydrogène mais aussi avec la nature des éléments T et M comme nous le détaillerons. Dans le cas du Tb, qui est une terre rare magnétique, des effets magnétostrictifs ont notamment été observés.

Références:

- [1] G. Fedloul, H. Benet, V. Paul-Boncour, J. Monnier, J. Zhang, in *Hydrogen Storage*, edited by P. De Rango et F. Cuevas, **2025**, Vol. 5, pp. 203.
- [2] V. V. Shtender, R. V. Denys, V. Paul-Boncour, A. B. Riabov, I. Y. Zavalii, *J. Alloys Compds* **2014**, 603, 7.
- [3] V. V. Shtender, R. V. Denys, V. Paul-Boncour, Y. V. Verbovytsky, I. Y. Zavalii, *J. Alloys Compds* **2015**, 639, 526.
- [4] V. V. Shtender, V. Paul-Boncour, R. V. Denys, I. Y. Zavalii, *Visnyk Lviv University. Ser.Khem. (ukr.)* **2015**, 56, 138.
- [5] V. V. Shtender, V. Paul-Boncour, A. B. Riabov, R. V. Denys, I. Y. Zavalii, *J. Solid State Chem.* **2015**, 229, 135.
- [6] V. V. Shtender, R. V. Denys, V. Paul-Boncour, I. Y. Zavalii, Y. V. Verbovytsky, D. D. Taylor, *J. Alloys Compds* **2017**, 695, 1426.
- [7] Y. V. Verbovytsky, V. V. Shtender, A. Hackemer, H. Drulis, I. Y. Zavalii, P. Y. Lyutyy, *J. Alloys Compds* **2018**, 741, 307.
- [8] V. Shtender, V. Paul-Boncour, R. Denys, J.-C. Crivello, I. Zavalii, *J. Phys. Chem. C* **2020**, 124, 196.

STO28 – Definition of a representative mechanical test for polymers used in liners of type IV hydrogen storage tanks

Florent Alexis¹, Mitia Ramarosaona¹, Hervé Mathis², Sylvie Castagnet¹, Damien Halm¹

1 Institut Pprime (CNRS - ISAE-ENSMA - Université de Poitiers), Poitiers, France

2 CEA Le Ripault, Monts, France

To assist the validation of new design and materials for hydrogen storage tanks, before going through a prototype production, a fast-screening methodology is proposed in this article. A representative test method was developed to reproduce the most severe in-service loading conditions of a Type IV liner in hydrogen storage vessels. These loading condition and stress level were defined from full-tank finite element simulations, where the junction between liner-boss-composite shell was identified as the most critical area prone to liner failure. Stress analysis revealed a compressive state characterized by an axial-to-radial stress ratio. To replicate this condition, a pressurized chamber was coupled with a compression system to simultaneously apply hydrostatic pressure and mechanical compression. Although the initial objective was to reach stress levels equivalent to a hydrostatic proof test ($1.5 \times$ Nominal Working Pressure NWP), technical limitations of the pressure chamber constrained the hydrogen pressure to the nominal working pressure (NWP = 35 MPa). However, the test is still considered conservative, as a compressive load almost twice as high as that identified in the simulation was applied.

This representative test was applied on a polyamide 11 (PA11), known as resistant to hydrogen cycles (but sensitive to humidity), to evaluate its integrity under the most critical stress in service conditions. Using the test, the mechanical response of PA11 liners subjected to water filling/emptying cycles (generally used for tank qualification) is then compared with that of as-processed uncycled liners, both manufactured by rotomoulding. These cycles were found to have only a very minor influence on the mechanical response recorded during the representative test, as the post-cycling behavior remained very close to that of the as-processed PA11. The resulting behaviour of PA11 after water cycles is interpreted as a competition between micro-damage and internal stress relaxation and a possible microstructural rearrangement – the latter being only slightly perceptible in the representative test (where the effect of micro-damage is attenuated under compression).

The comparison before and after hydraulic cycling is considered as a first screening step, allowing the disqualification of unsuitable candidate materials. The developed test will be applied to samples exposed to hydrogen decompression cycling to evaluate the mechanical integrity of PA11 in the presence of RGD-induced damage, this latter remains a major concern in the literature. On a larger scale, a full qualification of the liner material, additional criteria such as gas permeability must be considered. In order to assess the viability of PA11 as a liner material for the studied design, this representative test must be performed on processed samples after hydrogen decompression cycling. Indeed, rapid gas decompression (RGD)-induced damages remain a major concern, as they may serve as initiation sites for liner rupture. Hydrostatic water cycling, which does not reproduce the RDG conditions, is not sufficient to assess in-service liner performance.

Fédération de recherche Hydrogène

**RESUMES DES PRESENTATIONS DE LA SESSION
PACEEP**

**Responsables scientifiques : Valérie Keller, Marian
Chatenet et Christophe Coutanceau**

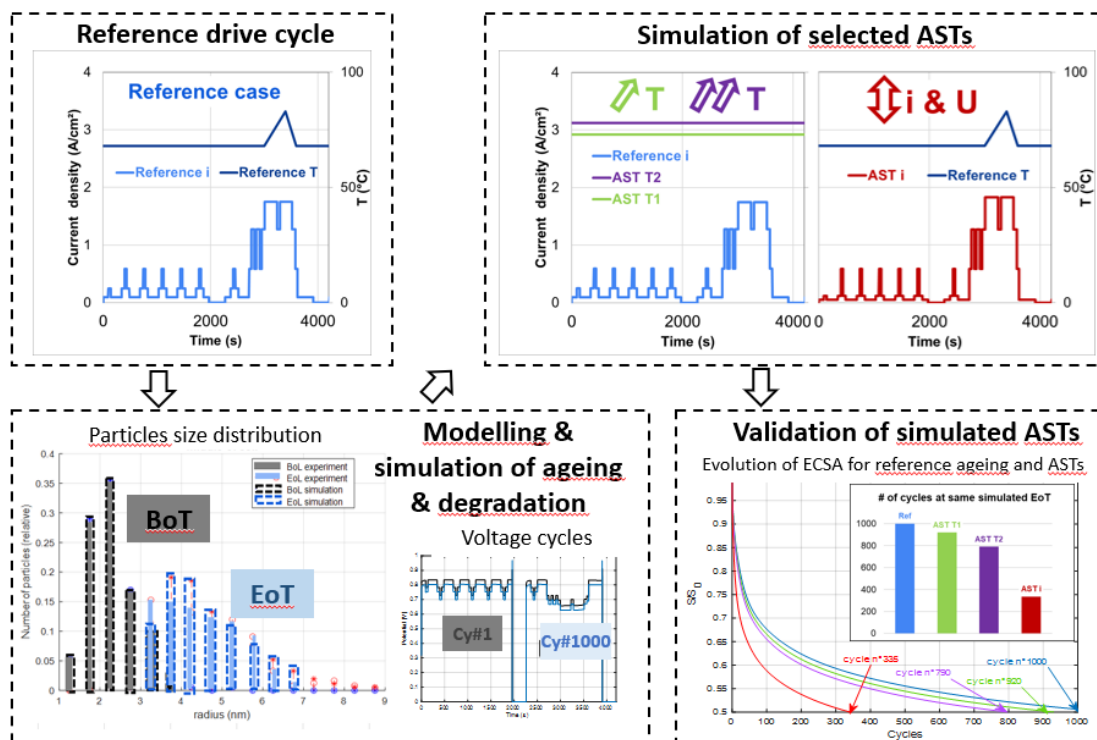
**REUNION PLENIERES FRH2 d'Annecy,
17-21 novembre 2025**

PACEEP 1 : Méthodologie de modélisation de la dégradation des PEMFC à l'échelle macroscopique et simulation sur des longues durées

Guillaume SERRE, Sylvie Escribano

Univ. Grenoble Alpes, CEA, LITEN, 38000 Grenoble, France

Un des enjeux de la recherche sur les piles à combustible est de pouvoir choisir les matériaux et les conditions opératoires qui maximisent leur durée de vie de façon à réduire le coût d'investissement et d'exploitation. Les durées de vie ciblées ont augmenté considérablement pour que les piles puissent être utilisées dans le transport lourd (plusieurs dizaines de milliers d'heures). Il est exclu de faire des tests sur banc sur ces durées pour éprouver les matériaux et tester les conditions opératoires. Une solution serait de pouvoir simuler le vieillissement sur ces durées avec la précision requise et dans des temps de calcul raisonnables. Plusieurs difficultés émergent : il faut identifier et modéliser les principaux mécanismes de dégradations mais avec des modèles suffisamment fins pour être précis mais pas trop complexes et longs à simuler ; il faut que ces modèles donnent des résultats corrects sans avoir besoin de maillages très fins qui sont très coûteux en temps calcul. De plus, même les modèles les plus mécanistiques contiennent une part d'empirisme sous forme de paramètres devant être calibrés à partir de données expérimentales. Cette détermination s'effectue à plusieurs moments de la durée de vie pour capturer les effets dynamiques (début de vie et quelques dizaines ou centaines d'heures par exemple). Si on exclut de faire des essais sur des très grandes durées (dizaines de milliers d'heures) les simulations pour ces durées ne pourront pas être validées en fin de vie. Il faut donc s'assurer de la validité des modèles sur des échelles de temps intermédiaires (centaines ou milliers d'heures) accessibles aux essais, en comparant les résultats de simulation et d'essai. Lors de ces comparaisons il est possible que les paramètres doivent être recalibrés. On peut également appliquer cette démarche à la définition de cycles accélérés de vieillissement (AST pour accelerated stress test) : une fois validés on peut utiliser les modèles pour simuler plusieurs cycles AST de façon à choisir le plus pertinent pour l'étude que l'on souhaite faire. On s'évite ainsi de tester de nombreux cycles AST sur banc et on ne réalise que celui-ci. Nous présentons un exemple de cette démarche réalisée lors du projet européen Id-Fast, où nous avons simulé des durées supérieures à 1000h avec un modèle de dégradation d'Oswald implanté dans le code macroscopique MePHYSTO développé au CEA.



This project had received funding from the Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking under grant agreement No 779565 (ID-Fast). This Joint Undertaking received support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation program

PACEEP 2 : Impact de la dynamique de bulles sur l'électrolyse de l'eau

Nicolas Cazanove^{1,2}, Thomas Mabit¹, Hiba Saada¹, Florian Scholkopf¹, Hamid Ben Ahmed², Laurent Courbin¹ et Marie-Caroline Jullien¹

¹Univ Rennes, CNRS, IPR (Institut de Physique de Rennes) - UMR 6251, F-35000 Rennes

²ENS Rennes, CNRS, IETR, Campus de Ker Lann, 11 Av. Robert Schuman, 35170 Bruz

Une difficulté dans le développement de la production de dihydrogène par électrolyse tient à la présence des bulles de H₂ et de O₂ qui interagissent, via leurs dynamiques, et affectent ainsi la pureté des gaz produits. Le défi posé par l'électrolyse sans membrane consiste à séparer les gaz de l'électrolyse sans utiliser de séparateur physique. Une solution consiste à ajouter un flux permettant l'évacuation des gaz produits, réduisant ainsi le rendement global de l'électrolyseur. Notre approche consiste à comprendre les propriétés et effets de la dynamique des bulles sur l'électrolyse afin d'aider à la conception d'électrolyseurs sans membrane. A cette fin, nous proposons une approche numérique qui couple cycle de vie d'une bulle (nucléation et détachement [1,2], dynamique [3]) et mesure électrochimique. Ce méta-modèle nous permet à la fois d'accéder à des mesures locales (rayon de détachement des bulles tenant compte des interactions hydrodynamiques entre bulles, cartographie du potentiel et de la densité de courant) et globales (quantité de dihydrogène produit, surtension, zone occupée par les bulles en interaction...). La figure ci-dessous illustre une cartographie de potentiel obtenue ainsi que la surtension de notre électrolyseur pour différentes densités de courant appliquées. Durant la présentation, nous exposerons les points clés des modèles utilisés, et insisterons davantage sur les résultats que nous pouvons obtenir, ainsi que sur la polyvalence de notre approche.

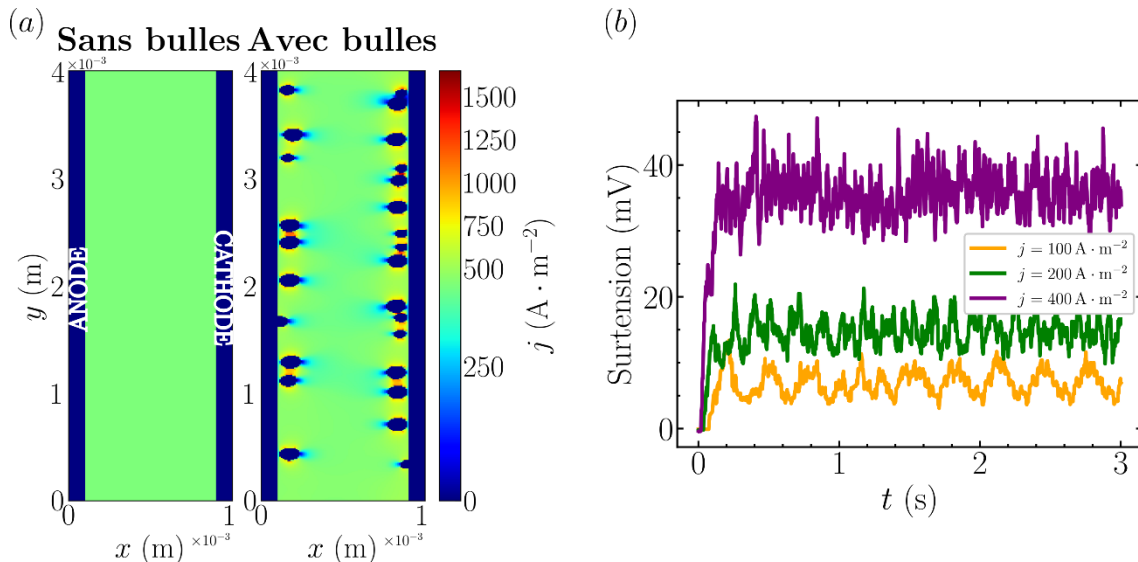


Figure : a) Cartographie de la densité de courant dans l'électrolyseur (les électrodes sont indiquées en bleu foncé) sans et avec bulles pour une densité de courant appliquée de 400 A.m⁻², b) Surtension globale en fonction du temps pour différentes densités de courant appliquées, en présence de bulles.

[1] A. Angulo, P. van der Linde, H. Gardeniers, M. Modestino, D. F. Rivas, *Joule* **2020**, 4, 555.

[2] F. Struyven, M. Sellier, P. Mandin, *International Journal of Hydrogen Energy* **2023**, 48, 32607.

[3] J. F. Brady, G. Bossis, *Annual review of fluid mechanics* **1988**, 20, 111.

PACEEP 3 : Modeling of Anion Exchange Membrane Electrolysis: Investigation of the Dual Ion-Transport Pathways

Erwan Tardy, Marine Cornet, Florent Vandenberghe, Yann Bultel, Antoine Bonnefont, Florence Druart

Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, Grenoble INP, LEPMI, F-38000 Grenoble, France

Anion exchange membrane water electrolyzers (AEMWEs) are emerging as a promising technology for green hydrogen production. Unlike proton exchange membrane (PEM) systems, AEMWEs operate in an alkaline environment, enabling the use of cost-effective, non-noble catalysts and non-fluorinated anion exchange polymer membranes. However, their performance and stability are highly dependent on the concentration of the alkaline electrolyte [1].

This study introduces a comprehensive one-dimensional multi-physics model that incorporates dual ion-transport pathways—a key feature of alkaline membrane electrolysis. While the addition of an alkaline solution enhances performance, the underlying mechanism remains unclear. The model indicates that the introduction of liquid electrolyte establishes an extra electrochemical interface at the electrocatalyst, enhancing ion transport pathways, as advocated by Weber's research group [1]. The model explicitly solves charge balances and electrochemical reactions, providing a robust framework for analysis. It then investigates the effects of KOH electrolyte concentration and ion-exchange kinetics between the ionomer and alkaline solution on AEMWE performance. Results reveal significant performance variations depending on KOH electrolyte concentration and the rate of ion-exchange kinetics (**Figure 1**), which will be discussed through a parametric study.

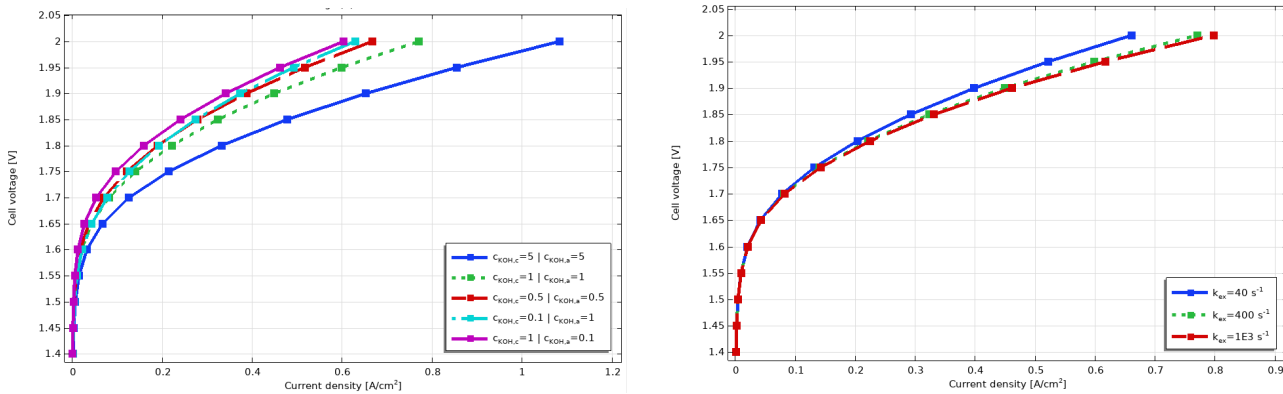


Figure 1. Numerical polarization curves according to: KOH electrolyte concentration (left) and ion-exchange coefficient (right).

Acknowledgements: This work has been performed in collaboration between LEPMI and Michelin in the framework of the CNRS-Michelin joint laboratory, Alcal'HyLab.

[1] J. Liu, Z. Kang, D. Li, M. Pak, S.M. Alia, C. Fujimoto, G. Bender, Y.S. Kim, A.Z. Weber, *J. Electrochem. Soc.* **168** (2021) 054522.

PACEEP 4 : Une approche couplée expérimentale et modèle pour l'estimation *in-situ* des paramètres effectifs de transport de l'eau dans une membrane AEM (PiperION)

V. Leduc¹, G. Sdanghi¹, F. Xu¹, J. Dillet¹, S. Didierjean¹, G. Maranzana¹

¹LEMTA, Univ. de Lorraine, CNRS, 54500 Vandœuvre-lès-Nancy, France

La modélisation détaillée des phénomènes de transfert dans les PEMFC ou AEMFC est une tâche compliquée. Pour ce faire, il est important de prendre en compte : i) la nature multidimensionnelle des transferts, ii) l'écoulement stochastique diphasique dans les milieux poreux ainsi que dans les canaux, iii) les propriétés des interfaces entre les différentes couches qui ne sont pas homogènes et difficiles à caractériser, et le couplage entre les transferts de chaleur, de masse et de charge.

Dans ce contexte, nous proposons une approche couplée modélisation-expérimentation consistant à développer un modèle 1+1D dont les paramètres de transport effectifs sont estimés à partir d'expériences *in-situ* originales. L'avantage d'une telle approche est qu'elle prend en compte la géométrie réelle, y compris les résistances de contact, la nature multidimensionnelle du transfert de masse et de chaleur et la présence d'eau liquide. L'inconvénient est que les paramètres effectifs estimés perdent une partie de leur caractère intrinsèque, mais au final, le modèle est suffisamment simple pour être mis en œuvre en temps réel.

Des expériences originales ont été mises au point pour décorréler les coefficients de diffusion effectifs dans la phase gazeuse au niveau des GDL et la phase adsorbée au niveau de la membrane. Des mesures de température de rosée en entrée et en sortie de la cellule ont permis de calculer le flux d'eau traversant la membrane et d'effectuer des bilans d'eau pour estimer les paramètres. Le modèle numérique et le dispositif expérimental original (Figure 1) mis au point pour cette étude seront présentés, ainsi que la méthode inverse utilisée pour l'estimation des paramètres de transfert effectifs. La méthode présentée dans ce travail conduit à des modèles simplifiés qui peuvent être utilisés pour contrôler des systèmes piles à combustibles, ainsi que pour comprendre la physique des phénomènes de transfert couplés.

Dans cette étude, les coefficients de diffusion de l'eau à travers une membrane PiperION ont été estimés. Différentes épaisseurs de membrane (entre 20 et 80 μm) ont été utilisées pour décorréler la résistance d'interface et la résistance de diffusion en phase adsorbée. L'impact de l'humidité relative des gaz (entre 28 et 88%) ainsi que de la température (60 – 70 °C) sur les paramètres de transport ont été étudiés. Dans le cadre de cette étude, les coefficients de diffusion ont été estimés pour deux configurations : pour une membrane en contact avec de la vapeur d'eau des deux côtés (V-V), et pour une membrane en contact avec de l'eau liquide et de la vapeur (L-V). L'impact de l'ajout d'une couche catalytique sur les paramètres de transport de l'eau a aussi été étudié.

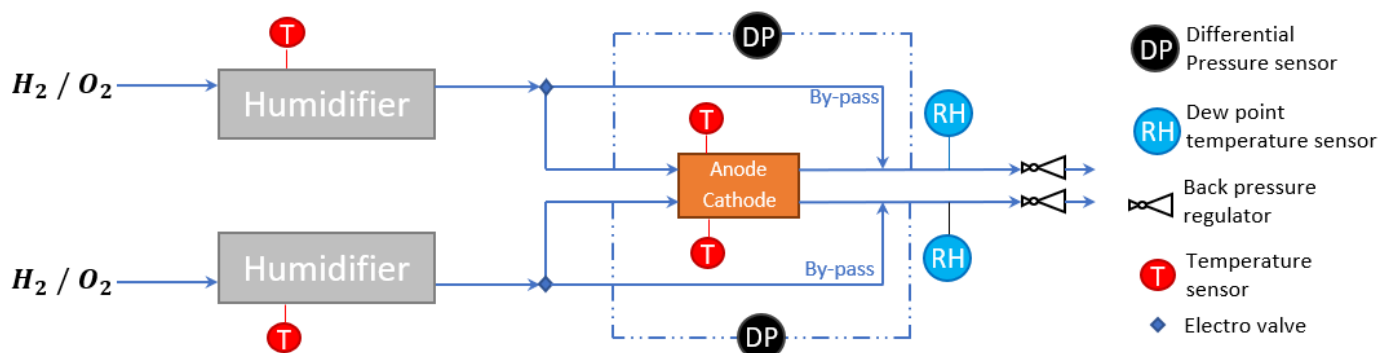


Figure 5 : Schéma du banc expérimental

PACEEP 5 : Production of green hydrogen from olivine and seawater using power ultrasound

Sergey I. Nikitenko, Tony Chave

ICSM UMR 5257, Univ. Montpellier, CEA, CNRS, ENSCM, Marcoule, France

Olivine is a natural silicate-type mineral with an approximate composition of $(\text{Mg}_x\text{Fe}_{2-x})\text{SiO}_4$, where $x \approx 1.8 - 1.9$, and featuring different minor substitutions.. It is widely believed to be the most abundant mineral in the Earth's upper mantle. Olivine sand serves as a versatile industrial material, and its global production is estimated to reach nine million metric tons annually. On the other hand, olivine is thermodynamically unstable in aqueous solutions even at ambient temperature. Thermodynamic calculations have shown that in anoxic conditions water enables oxidation of Fe(II) incorporated into olivine at $T \leq 315^\circ\text{C}$ producing hydrogen and magnetite [1]. This reaction is thought to produce approximately 80% of the naturally occurred (white) hydrogen [2]. However, the aqueous alteration of olivine proceeds too slowly for efficient green hydrogen production even in drastic hydrothermal conditions. We found that 20 kHz ultrasound accelerates H_2 production from olivine suspensions in seawater under near-ambient conditions by almost 3000 times compared to the hydrothermal process. The physicochemical effects of ultrasound, called sonochemistry, refer to the acoustic cavitation [3]. The propagation of ultrasonic waves in liquids leads to the formation of gas- and vapor-filled microbubbles, which implode violently after several oscillation cycles. Implosive collapse of the cavitation bubbles produces harsh transient conditions within the bubbles and various mechanical effects in solutions or at solid/liquid interfaces. The striking effect of ultrasound in the system with olivine is achieved due to the unique set of conditions provided by acoustic cavitation, such as efficient mechanochemical depassivation and fragmentation of olivine particles, as well as strong, transient local heating caused by the collapse of cavitation bubbles. Unlike water electrolysis, the sonochemical process is more efficient in seawater than in pure water. In addition, the ultrasonic activation of olivine does not require scarce noble metals or specific harsh conditions.

References

- [1] T. M. McCollom, W. Bach, *Geochim. Cosmochim. Acta*, **2009**, 73, 856.
- [2] A. Hassanpouryouzband, M. Wilkinson, R. S. Haszeldine, *Chem. Soc. Rev.* **2024**, 53, 2258.
- [3] T. G. Leighton, *The acoustic bubble. Effects and mechanisms*, Academic Press, London, **1994**.

PACEEP 6 : Matériaux de types hydrotalcite et pérovskite pour la photo-électro-catalyse et la production de dihydrogène

C. Tenaillon, Z. Poujol, P. Lenormand, P.L. Taberna

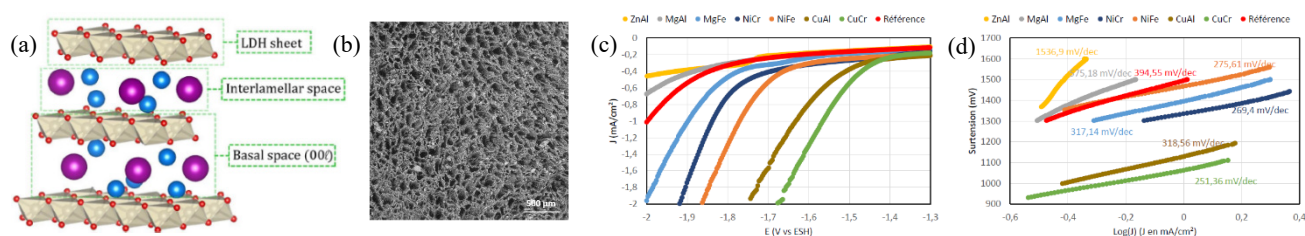
CIRIMAT, Université de Toulouse, INP, CNRS, 118 Route de Narbonne, 31062 Toulouse cedex 9 - France

Le développement de systèmes de conversion photoélectrochimique de l'eau (PEC) a pris une importance considérable ces dernières années en raison de la quête de carburants propres, où l'Hydrogène « vert » (sous forme de H_2) est l'un des principaux acteurs de la transition énergétique. En particulier, il existe un besoin d'électrodes et de photo-électrodes sans métaux précieux, présentant une efficacité et une stabilité élevées, visant à mettre en place des systèmes de production d'Hydrogène à grande échelle et à faible coût.

Les matériaux à structure type hydrotalcite ou Hydroxyde Double Lamellaire (HDL) sont considérés comme des photo-catalyseurs prometteurs en raison de leur activité redox relativement élevée, de leur caractère écologique et de l'utilisation efficace de métaux de transition uniformément répartis [1]. Des HDL à base de Ni^{2+}/Fe^{3+} , par exemple, sont des catalyseurs hautement actifs dans la décomposition électrochimique de l'eau [2].

D'un autre côté, les pérovskites halogénées sont récemment apparues comme des matériaux semi-conducteurs photo-absorbants de lumière extrêmement fascinants pour l'application photovoltaïque, principalement. Nous avons récemment mis en place une procédure simple d'élaboration de films minces stabilisés à partir de ces matériaux et caractérisé en détails leurs propriétés (micro-)structurales et opto-électroniques [3].

Après une large introduction de ces deux familles de composés et de leurs performances pour la photo-décomposition de l'eau en H_2 et O_2 , des mesures électro-catalytiques réalisées sur des électrodes à base de carbone/HDL sous la forme de microparticules (coprécipitation et *drop-casting*) et de microstructures aérées (*freeze-casting*) seront présentées. Les premiers essais de (photo)-électrolyse de l'eau sur des composites HDL/pérovskites seront discutés et des perspectives d'améliorations en vue de performances accrues pour des matériaux éco-durables seront proposées.



Figures : (a) structure type talcrite (b) image MEB après *freeze-casting* (c) courbes de polarisation et (d) droites de Tafel de HDL.

- [1] Z.Z. Yang et al., *Coord. Chem. Rev.* **2019**, 386, 154 ; V. Rives, M.A. Angeles Ulibarri, *Coord. Chem. Rev.*, **1999**, 181, 61.
[2] Bodhankar et al, *J. Mater. Chem. A*, **2021**, 9, 3180 ; A.M. Tucker-Quinonez et al., *Energy Nexus* **2025**, 17, 100399.
[3] E. Breniaux et al., *Eur. J. Internat. Chem.* **2022**, e202200490 ; E. Breniaux et al., *Eur. J. Inorg. Chem.* **2021**, 30, 3059W. Ni et al., « An efficient nickel hydrogen oxidation catalyst for hydroxide exchange membrane fuel cells », *Nat. Mater.*, vol. 21, no 7, **2022**, p. 804.

PACEEP 7 : Doped perovskite oxides for the photo-electro-catalytic and photo-catalytic production of hydrogen

Manuel Antuch¹

Univ. Lille, CNRS, Centrale Lille, Univ. Artois, UMR 8181, UCCS, Unité de Catalyse et Chimie du Solide, Lille F-59000, France

Perovskite oxides are a group of materials characterized by their cubic crystal structure, following the general formula ABO_3 , where A is a larger cation (e.g., Sr or La) and B is a smaller transition metal cation, typically from the first row of the periodic table [1]. These materials are pivotal in advancing technology and scientific research due to their exceptional versatility and adaptable properties. This work focuses on perovskite oxides and their use in the production of H_2 , with specific examples in photoelectrocatalysis and photochemistry. Key examples to be treated in this talk include: (i) the models employed for the determination of charge transfer and recombination kinetics in illuminated semiconducting photoelectrodes using photoelectrochemical impedance spectroscopy, highlighting published examples such as modified Rh:SrTiO₃ [2,3], in the frame of visible-light-driven hydrogen production; and (ii) the use of the $La_{0.85}Mn_{0.9}Cu_{0.1}O_3$ – Pt perovskite self-assembled within complex polymeric networks to mimic higher-order behaviors [4,5] seen in living systems, *via* the photocatalytic production of H_2 . Ultimately, this work aims to provide a broad perspective on the emerging field of perovskite oxides, emphasizing their significant impact on contemporary research for H_2 production.

[1] L. Lu, M. Sun, T. Wu, Q. Lu, B. Chen, C. Hei Chan, H. Ho Wong, Z. Li, B. Huang *ChemElectroChem* **2025**, 12, e202400648

[2] M. Antuch, P. Millet, A. Iwase, A. Kudo, *Electrochim. Acta* **2019**, 297, 696–704.

[3] M. Antuch, P. Millet, A. Iwase, A. Kudo, S. A. Grigoriev, Y. Z. Voloshin, *Electrochim. Acta* **2017**, 258, 255–265.

[4] P. Gobbo, L. Tian, Pavan Kumar, et al. **2020** *Nat Commun* 11, 41.

[5] A. Rebas-Vallverdu, M. Antuch, B. Rosetti, N. Braidotti, P. Gobbo, *ChemSysChem*, **2024**, e202400014.

PACEEP 8 : High-Entropy Oxide as a New Class of Photoelectrocatalysts for Water Splitting

Dodzi Zigah¹, Magan Himanshu², Mohammad Slim¹, Imene Rayane¹, Adrien Moll², David Berardan², Nita Dragoe², Claudia Gomes De Moraes¹, Junsoo Han³, Emilie Gaudry⁴, Thomas Cottineau⁵, Emmanuel Maisonhaute⁶

¹ IC2MP, Université de Poitiers, CNRS, 86073, Poitiers, France

² SP2M, ICMMO, Univ Paris Saclay, CNRS, Orsay, France,

³ LISE, CNRS, Sorbonne Université, F-75005, Paris, France

⁴ Université de Lorraine, CNRS, IJL UMR 7198, Campus Artem, 2 Allée André Guinier, 54011 Cedex Nancy, France

⁵ ICPEES UMR7515—CNRS—Université de Strasbourg, 25 rue Becquerel, 67087 Strasbourg, France

⁶ IPCM CNRS, Sorbonne Université, F-75005, Paris, France

High-entropy oxides (HEOx) constitute a new class of materials that have attracted increasing interest over the past decade. By incorporating multiple cations into a single crystalline lattice, they achieve high configurational entropy (ΔS_{config}). This high entropy, combined with the presence of oxygen vacancies, can significantly enhance the mobility of charge carriers, leading to improved catalytic performance. Moreover, these materials exhibit exceptional thermal, chemical, and structural stability, making them highly suitable for a variety of catalytic and functional applications [1] [2]. Despite these advantages, HEOx materials have been relatively unexplored, especially in the field of photoelectrocatalysis. In this study, $(\text{CoCuFeNiZn})\text{WO}_4$ and $(\text{CoCuMgNiZn})\text{O}$ were synthesized using a top-down approach and thoroughly characterized using various techniques to investigate its structural and optical properties. Their electrocatalytic activity toward the oxygen evolution reaction (OER) was evaluated using cyclic voltammetry and linear sweep voltammetry (LSV), which revealed a relatively high catalytic performance. Moreover, the visible-light band gap of these materials strongly suggests their potential for solar-driven water splitting. Modeling and preliminary photocatalytic results further indicate the possibility of using these materials to generate H_2 under illumination, making them promising candidates for future sustainable energy conversion applications.

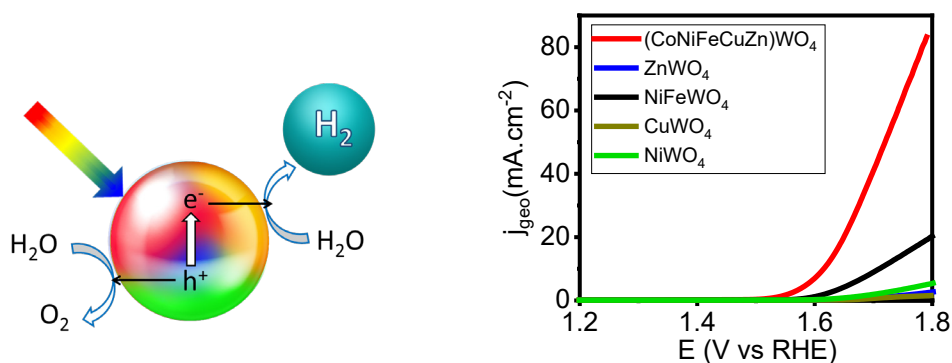


Figure 1 : (left), Schematic representation of water splitting by photocatalysis on HEO, (right) LSV on $(\text{CoCuFeNiZn})\text{WO}_4$

References

- [1] B. L. Musicó *et al.*, “The emergent field of high entropy oxides: Design, prospects, challenges, and opportunities for tailoring material properties,” *APL Mater.*, vol. 8, no. 4, Apr. 2020, doi: 10.1063/5.0003149.
- [2] Y. Sun and S. Dai, “High-entropy materials for catalysis: A new frontier,” *Sci. Adv.*, vol. 7, no. 20, May 2021, doi: 10.1126/sciadv.abg1600.

The authors acknowledge support from the French National Research Agency (ANR) under France 2030 program and reference ANR-22-PEHY-0012 project PEPRH2 : HYDRO

PACEEP 9 : Local and global performance and degradation of PEMFC membrane and active layers at 95°C

Aouatef OUHAMMI, Guillaume ETIENNE, Julia MAINKA, Jérôme DILLET, Assma EL KADDOURI, Olivier LOTTIN

LEMTA, CNRS, Université de Lorraine, Nancy, France

Higher operating temperatures for proton exchange membrane fuel cells (PEMFCs) are a fundamental step toward enabling their large-scale deployment, particularly in the heavy-duty transportation sector [1]. By operating at higher temperatures, reaction kinetics can be improved and, importantly, allow for the use of more compact heat exchangers [2], [3]. However, elevated temperatures also accelerate material degradation and can exacerbate challenges in water management [4]. Therefore, it is essential to investigate how increased operating temperature affects both the performance and durability of PEMFC membrane electrode assemblies (MEAs). The performance and durability of membrane electrode assemblies (MEAs) were evaluated under different operating conditions, focusing on three inlet relative humidity levels (20%, 30%, and 50%) at 95°C and pressure of 3 bar. Tests were conducted with segmented cell, enabling spatially resolved characterization along the flow channels. The accelerated stress test (AST) combined multiple cycles (including load cycling, humidity cycling, and OCV holds) designed to simultaneously degrade the electrodes and the membrane. Under most conditions, degradation was mainly observed in the catalyst layers, with significant electrochemical surface area (ECSA) loss at the cathode, and to a less important extent at the anode. Locally, resolved measurements further revealed heterogeneities in degradation, providing insights into the mechanisms underlying overall MEA performance losses.

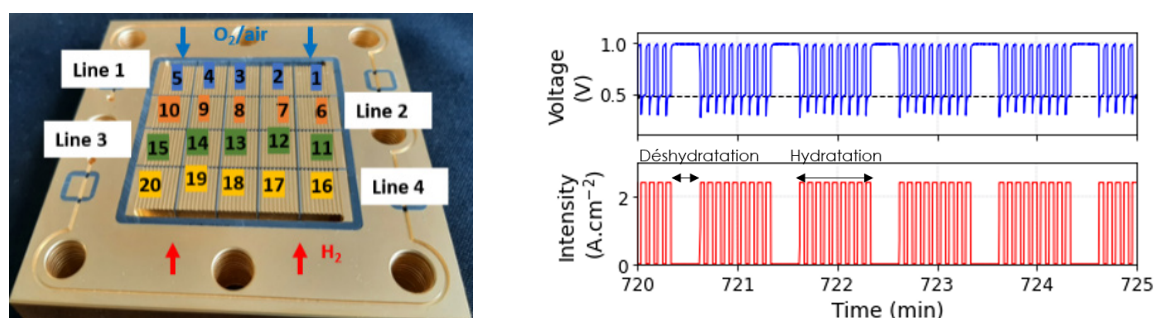


Figure 6 Left: Segmented cell with straight parallel channels. Right: The Accelerated stress test cycle.

- [1] A. G. Olabi, T. Wilberforce, et M. A. Abdelkareem, « Fuel cell application in the automotive industry and future perspective », *Energy*, vol. 214, p. 118955, janv. 2021, doi: 10.1016/j.energy.2020.118955.
- [2] T. Ruiju, A. M. Dreizler, J. Mitzel, et E. Gülzow, « Evaluation of a 2.5 kWel automotive low temperature PEM fuel cell stack with extended operating temperature range up to 120 °C », *J. Power Sources*, vol. 303, p. 257-266, janv. 2016, doi: 10.1016/j.jpowsour.2015.10.056.
- [3] « Temperature Dependence of Oxygen Reduction Activity at Pt/Nb-Doped SnO₂ Catalysts with Varied Pt Loading ». Consulté le: 7 mai 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://pubs.acs.org/doi/epdf/10.1021/acscatal.0c05157?ref=article_openPDF
- [4] T. Lochner, R. M. Kluge, J. Fichtner, H. A. El-Sayed, B. Garlyyev, et A. S. Bandarenka, « Temperature Effects in Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells », *ChemElectroChem*, vol. 7, n° 17, p. 3545-3568, 2020, doi: 10.1002/celec.202000588.

PACEEP 10 : Impact of high frequencies current ripples on PEMFC materials degradation.

Morgane Stodel¹, Raphaël Chattot², Christophe Turpin³, Pascal Lenormand¹, Christophe Tenailleau¹

¹*CIRIMAT, Université de Toulouse, Toulouse INP, CNRS, 31062 Toulouse cedex 9, France*

²*ICGM, Univ. Montpellier, CNRS, ENSCM, 34095 Montpellier cedex 5, France*

³*LAPLACE, Toulouse INP, Université de Toulouse, CNRS, 31071 Toulouse cedex 4, France*

Understanding the durability of proton exchange membrane fuel cells (PEMFCs) is crucial to ensuring their long-term deployment in energy applications, where both reliable performance and minimal environmental impact are required. At the system level, static converters play a key role, as they transform the electrical energy produced by PEMFCs into usable power for a wide range of applications. However, these converters generate undesired current ripples across both low and high frequencies, which may further accelerate PEMFC degradation. Previous studies on LT-PEMFCs have indicated that low-frequency current ripples have a more significant impact on accelerated aging than high-frequency ones [1–3]. This aging process has been linked to catalyst nanoparticle growth, particle agglomeration, and platinum loss [1].

In this study, electrical current profiles $I_f(t) = 0.8 \pm 0.16\sin(2\pi ft)$ A.cm⁻² where $f = 0, 1, 10$ and 10,000 Hz were applied on individual commercial 25 cm² membrane electrode assemblies (MEAs) for several hundreds of hours. Cell performance was monitored through periodic polarization curves. After aging, post-mortem analyses were carried out by disassembling and separating the MEA layers. (Micro)structural characterizations (by SEM, TEM and XRD) and chemical analyses (by using FTIR, Raman spectroscopy or ¹⁹F NMR) were performed to correlate material degradation with electrochemical performance losses, including ECSA reduction and increased crossover current determined by cyclic voltammetry.

The results provide new insights into the critical switching frequency ranges of static converters that do, or do not, affect the long-term performance of PEMFCs.

This work is supported and financed by the Occitanie region via le pôle de recherche et d'innovation sur l'hydrogène en Occitanie (RHyO) and by the IRT Saint-Exupéry with the HeMoWHy project (financing from industrial members: Airbus, Flying Whales, Liebherr Aerospace and Aerostack GmbH). This project has received government funding managed by the Agence Nationale de la Recherche (ANR) under the France 2030 future investment program, under reference ANR-10-AIRT-01.

[1] M. Uno and K. Tanaka, *Journal of Power Sources*, **2011**, 196, 9884–9889

[2] J.-H. Kim et al., *Journal of Power Electronics*, **2011**, 11, 82–89

[3] B. Wahdame et al., *2008 IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, **2008**, 1495–1500

[4] D. Rohendi et al., *International Journal of Hydrogen Energy*, **2015**, 40, 10960–10968

PACEEP 11 : Étude de l'impact de l'interface membrane-électrode sur la performance et la durabilité des piles à combustible à membrane échangeuse de protons

Joïc PARISOT, Assma El KADDOURI, Jérôme DILLET, Olivier LOTTIN

Université de Lorraine, CNRS, LEMTA, F-54000 Nancy, France

Malgré de nombreux efforts et un investissement important en R&D, l'utilisation à grande échelle des piles à combustible à membrane échangeuse de protons (PEMFC) demeure limitée. L'un des facteurs limitants est la durabilité de l'assemblage membrane-électrode (AME), dans lequel l'interface membrane-électrode (IME) joue un rôle essentiel. Une bonne IME permet un transfert efficace des protons et une meilleure évacuation de l'eau [1], contribuant ainsi à des performances optimales. De plus, la qualité de l'interface semble jouer un rôle non négligeable dans les phénomènes de dégradation de l'AME, tels que la délamination entre la membrane et les électrodes, ou la formation de craquelures dans la membrane pouvant parfois aboutir à la formation d'un trou [2]. Des investigations plus approfondies demeurent nécessaires afin d'en améliorer la compréhension, notamment avec une application sur des systèmes représentatifs des technologies actuelles.

Ainsi, dans le but d'approfondir cette compréhension, ce travail vise dans un premier temps à étudier l'impact de l'IME sur les performances en pile, en réalisant différents types d'assemblages membrane-électrode. Dans un second temps, l'étude portera sur l'impact de ces configurations d'assemblage sur la durabilité. Les AME ont été réalisés par pressage à chaud, à partir de couches de diffusion des gaz sur lesquelles sont déposées les électrodes (GDE) - dont la référence commerciale est Freudenberg H14CX653 - et d'une membrane PFSA-LSC renforcée (Nafion XL). Des assemblages standards, ici nommés « symétriques », sont comparés à des assemblages dits « asymétriques » (Figure 1). Le procédé de pressage asymétrique mis en place permet d'induire une condition d'assemblage (pression, température, temps) différente aux interfaces membrane/cathode et membrane/anode.

Les performances de ces différentes AME ont été caractérisées en pile en faisant varier la pression absolue de fonctionnement (1, 2 et 3 bars) et l'humidité relative d'entrée des gaz (30 %, 50 % et 70 %), tandis que la température et la stœchiométrie étaient maintenues constantes, respectivement à 80 °C et à 1,5 (H₂) / 3 (air). Cette cartographie permet d'évaluer si les différents assemblages peuvent avoir un impact dans des conditions particulières, par exemple en cas de faible taux d'humidité ou de pression élevée. Les résultats montrent que les meilleures performances sont obtenues lorsque les conditions de pressage à chaud sont : pression $P = 4,44$ MPa, température $T = 135$ °C et temps $t = 3$ min. Pour les AME asymétriques, de faibles variations sont observées selon que les conditions d'assemblage faibles soient appliquées à l'interface côté anodique ou côté cathodique. A l'appui des résultats de performance, des conditions d'assemblage ont été judicieusement ciblées afin de tester leur durabilité à l'aide d'un protocole accéléré (AST – accelerated stress test), combinant des sollicitations chimiques et mécaniques.

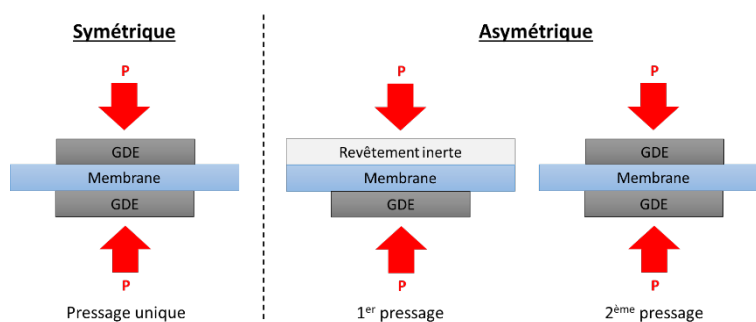


Figure 7 : Procédé de pressage à chaud pour la fabrication d'un AME symétrique (étape unique) et asymétrique (deux étapes)

[1] D. Chen *et al.*, « Proton exchange membrane fuel cell stack consistency: Evaluation methods, influencing factors, membrane electrode assembly parameters and improvement measures », *Energy Conversion and Management*, vol. 261, p. 115651, juin 2022, doi: 10.1016/j.enconman.2022.115651.

[2] A. M. Dafalla, L. Wei, B. T. Habte, J. Guo, et F. Jiang, « Membrane Electrode Assembly Degradation Modeling of Proton Exchange Membrane Fuel Cells: A Review », *Energies*, vol. 15, n° 23, p. 9247, déc. 2022, doi: 10.3390/en15239247.

PACEEP 12 : Dynamic accelerated stress test based on a real-life heavy duty driving cycle and applied to a segmented PEM fuel cell fed with dry air

D. Mohamed^{1,2}, J.-P. Poirot-Crouvezier¹, S. Didierjean²

¹*Univ. Grenoble Alpes, CEA, LITEN, DEHT, 38000 Grenoble, France*

²*LEMTA, CNRS, Université de Lorraine, 54000 Nancy, France*

In order to meet the increased requirements for efficiency and compactness of fuel cell systems for heavy-duty transportation, PEM fuel cells are designed to operate in low humidity and high temperature conditions, allowing a reduction of the cost, weight and volume of humidifiers and heat exchangers. This study proposes to use an Accelerated Stress Test (AST) to evaluate the impact of dry air supply on the durability of the fuel cell.

Many different AST protocols have been developed to selectively accelerate the degradation processes of the different components of the membrane-electrode assembly (MEA). However, this type of AST delivers durability results that are not representative of the targeted application. In order to obtain a better representativity of the test, two methodologies have been employed. The first one consists of creating a protocol based on automotive operating conditions such as that developed by Birkner et al [1]. The second one consists of creating an AST from a driving cycle like the one designed by Thiele et al [2].

In our study, we design an accelerated aging test protocol based on a real driving cycle of a long-haul truck. The design of the aging cycle takes into account the operating constraints of a fuel cell integrated into an automotive system. Two aging tests, each lasting 520 hours, are carried out: one reference test with humidified air and one with dry air. This experimental study is conducted using a segmented cell, which allows for the local study of changes in local current distribution and the performance of local electrochemical characterizations such as impedance spectroscopy, cyclic voltammetry, and polarization curves.

The results of the aging tests reveal distinct degradations between the humidified reference case and the dry case. Indeed, a lower electrochemical active surface loss (ECSA) is observed in the dry case compared to the humidified case. Additionally, these results highlight different local degradations in the cell for the two cases.

Acknowledgements:

This work was funded by a government grant managed by the French National Research Agency under the France 2030 program, reference ANR-22-PEHY-0018, project HYSYSPEM.

[1] L. Birkner, M. Foreta, A. Rinaldi, A. Orekhov, M.-G. Willinger, and M. Eichelbaum, "Dynamic accelerated stress test and coupled on-line analysis program to elucidate aging processes in proton exchange membrane fuel cells," *Sci Rep*, vol. 14, no. 1, p. 3999, Feb. 2024, doi: 10.1038/s41598-024-54258-8.

[2] P. Thiele, Y. Yang, S. Dirkes, M. Wick, and S. Pischinger, "Realistic accelerated stress tests for PEM fuel cells: Test procedure development based on standardized automotive driving cycles," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 52, pp. 1065–1080, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.ijhydene.2023.08.292.

PACEEP 13 : PEM Fuel Cell Durability under Accelerated Stress Test by Voltage Cycling: Effect of High Operating Temperature

Mylène Robert¹, Arnaud Morin¹, Laure Guétaz², Joël Pauchet¹, Jens Mitzel³, Pawel Gazdzicki³

¹ Univ Grenoble Alpes, CEA, Liten, DEHT, 38000 Grenoble, France.

² Univ Grenoble Alpes, CEA Liten, DTNM, 38000 Grenoble, France.

³ German Aerospace center (DLR), Institute of Engineering Thermodynamics, Pfaffenwaldring 38-40, 70569 Stuttgart, Germany.

The use of proton exchange membrane (PEM) fuel cells for heavy-duty vehicle (HDV) applications has received increasing attention in recent years in order to address the need to decarbonize the transport sector. However, extending the lifetime and reducing the cost of PEM fuel cells for HDV applications requires increased durability and stability of cathode catalysts under harsh operating conditions, *i.e.* high temperature ($T > 95\text{ }^{\circ}\text{C}$) and low humidity conditions ($\text{RH} < 80\%$) [1]. Unfortunately, the MEA degradation under these conditions remains poorly understood.

To address these key technical challenges, the R&D project PEMTASTIC [2] aims at developing innovative and durable model-based design catalyst-coated membranes (CCMs) tailored for HDV applications. The new materials developed in PEMTASTIC are primarily focused on the corrosion resistance of mesoporous carbon supports, on prototype ionomers and membranes dedicated to HD operation, as well as on a novel deposition technique for catalyst particles.

This work reports on the durability of new CCM materials under long-term H_2/Air HD-AST protocol. HD truck mission profiles have been first analysed to define representative fuel cell testing protocols and stressors for a reliable assessment of the performance and durability of developed materials [3]. Different membrane-electrode assemblies have been submitted to a long-term H_2/Air HD-AST protocol involving voltage cycling at various operating temperatures. MEA degradations under HDV conditions have been thoroughly examined using in-situ electrochemical characterizations and ex-situ post-mortem analysis to provide new insights into degradation mechanisms involved under HD operation.

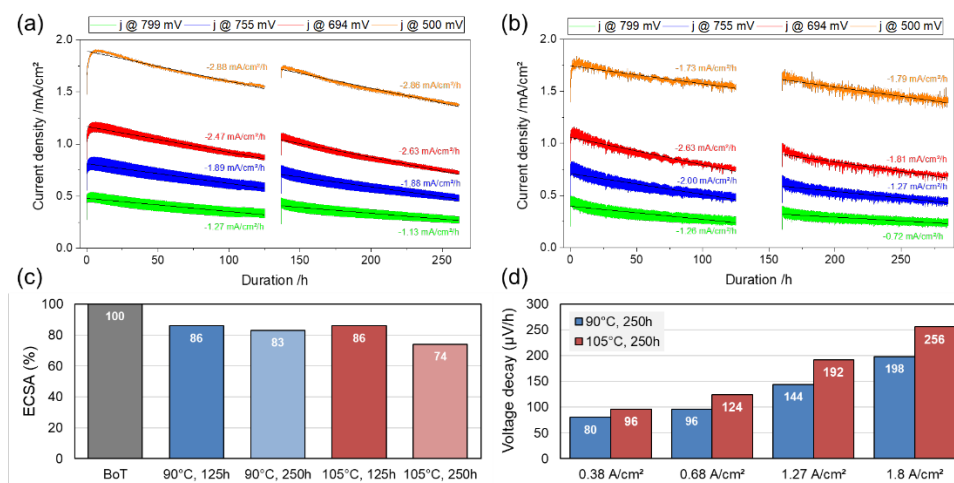


Figure 1: Comparison of the cell performance during the (a) AST at 90 °C and (b) AST at 105 °C, Evolution of the (c) ECSA and (d) total voltage decay rate for the AST performed at 90 °C and 105 °C.

The PEMTASTIC project (GA number: 10110143) is supported by the Clean Hydrogen Partnership and its members Hydrogen Europe and Hydrogen Europe Research.

[1] Ramaswamy et al., 2025, J. Electrochem. Soc., 172, 024501

[2] <https://pemtastic-project.eu/>

[3] PEMTASTIC Deliverable 1.3: Public report on definition of FC test protocols

[2] J. Al Cheikh, A. Villagra, A. Ranjbari, A. Pradon, M. Antuch, D. Dragoe, P. Millet, L. Assaud, Appl. Cat. B: Environ. **2019**, 250, 292-300.

PACEEP 14 : Direct Observation of the pH in the Local Reaction Environment using Ratiometric Fluorescent Probes

Paul Chassagne¹, Mathieu Gervais¹, Amandine Brige¹, Alexandr Oshchepkov¹, Gilles Ulrich¹, Elena R. Savinova¹, Pascal Didier², Julien Massue¹, Tristan Asset¹

¹ICPEES, UMR 7515 CNRS-ECPM-Université de Strasbourg, 25 rue Becquerel, 67087 Strasbourg Cedex 2, France

²Laboratoire de Bioimagerie et Pathologies, UMR 7021 CNRS, Université de Strasbourg, Faculté de Pharmacie, 74 Route du Rhin, 67401 Illkirch Cedex, France

pchassagne@unistra.fr

During the hydrogen evolution/oxidation reactions (HER/HOR), the pH in the local reaction environment (LRE), *i.e.*, the immediate vicinity of the electrode, can deviate significantly from the pH in the bulk electrolyte, owing to the fact that said reactions lead to the generation/consumption of H⁺/OH⁻. These changes can greatly affect the stability and efficiency of electrocatalysts.[1]

Herein, we developed a technique allowing for the three-dimensional *operando* monitoring of the pH in the LRE with high spatial and temporal resolutions. The technique combines the use of confocal laser scanning microscopy (Fig. 1) and a new family of pH-sensitive, ratiometric, fluorescent probes. Using this technique, we were able to map the pH changes in the vicinity of the working electrode with sub-micrometric and sub-second precision during HER and HOR in both acidic and alkaline conditions as well as during other pH-sensitive electrochemical reactions.

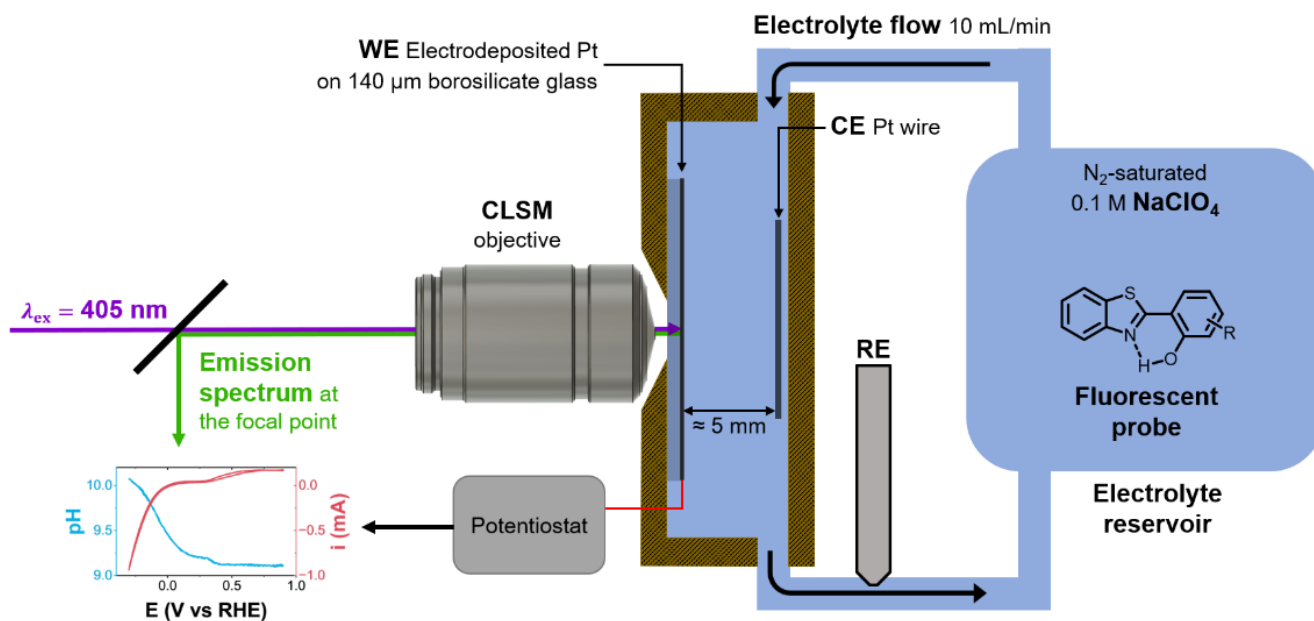


Figure 1 – Scheme of the developed *operando* method. The transparent working electrode is imaged by the objective of the confocal laser scanning microscope (CLSM) under applied potential. An electrolyte containing a pH-sensitive fluorescent probe circulates in the cell. The microscope scans the local reaction environment (LRE) in the three spatial dimensions in order to map the light emitted by the probe as a function of the applied potential, allowing us to determine the pH in the LRE.



[1] Chen *et al.*, Local Reaction Environment in Electrocatalysis, *Chem. Soc. Rev.*, 2024, **53**, 2022

This project has received funding from the European Union's Horizon Europe Research and Innovation Program under Grant Agreement No. 101135537 (DECODE). The view and opinions expressed are however those of the authors only and do not necessarily reflect those of the European Union or European Health and Digital Executive Agency (HADEA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

PACEEP 15 : Operando characterization of PEM water content using infrared spectroscopic imaging

Kevin Krause¹ & Stéphane Chevalier¹

¹ *Arts et Métiers Institut de Technologie, CNRS, Université de Bordeaux, Bordeaux INP
Institut de mécanique et d'ingénierie (I2M), Bâtiment A11,
351 Cours de la Libération, 33405 Talence, France*

Infrared (IR) characterization techniques like IR spectroscopy can be used to characterize mass transfer at high spatial and temporal resolutions. When coupled with common electrochemical characterization techniques such as electrochemical impedance spectroscopy, information for all loss mechanisms in proton exchange membranes (PEM) can be simultaneously acquired. While the penetrative power of IR beams is poor when applied to samples involving water, microfluidic reactors offer a potential solution with reduced effective path lengths and are already implemented in other disciplines [1,2].

Microfluidics electrolyzers can serve as niche platforms for operando PEM characterization as schemed on the Figure below. For example, Krause et al. [1,2] developed a microfluidic PEM electrolyzer with a Nafion membrane capped on top of the channels to probe operando the water content in PEM. The measurements of the PEM water content are carried out using the IR transmittance.

In this work, membrane hydration is investigated in a microfluidic PEM electrolyzer utilizing the design featured by Modestino et al. [3] but optimized for infrared spectroscopy. The electrolyzer's performance is evaluated for two flow rate conditions, for current densities up to 225 mA/cm², and for temperatures up to 60°C. The PEM electrolyzer's ohmic performance is captured via staircase galvanostatic electrochemical impedance spectroscopy (EIS) while concurrent infrared characterization of the operating electrolyzer is acquired. Implementing IR in parallel with conventional characterization techniques allows us to clarify the effect of PEM hydration on ohmic performance and mass transfer.

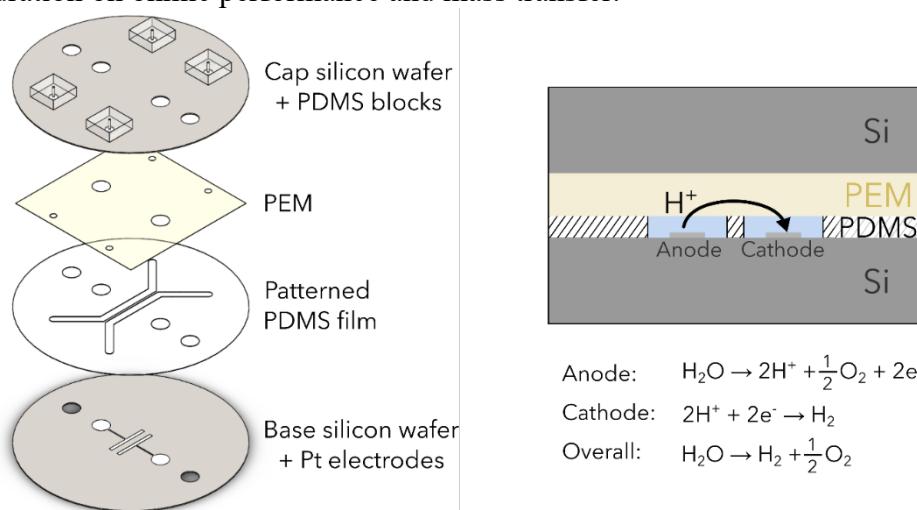


Figure 8. Microfluidic electrolyzers fabricated for operando PEM water content measurements.

- [1] K. Krause, A. Crête-Laurence, D. Michau, G. Clisson, J.-L. Battaglia, S. Chevalier, Water gradient manipulation through the polymer electrolyte membrane of an operating microfluidic water electrolyzer, *J. Power Sources*. 623 (2024) 235297. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2024.235297>.
- [2] K. Krause, M. Garcia, D. Michau, G. Clisson, B. Billingham, J. Battaglia, S. Chevalier, Probing membrane hydration in microfluidic polymer electrolyte membrane electrolyzers via operando synchrotron Fourier-transform infrared spectroscopy, *Lab Chip*. 23 (2023) 4002–4009. <https://doi.org/10.1039/D3LC00380A>.
- [3] M.A. Modestino, C.A. Diaz-Botia, S. Haussener, R. Gomez-Sjoberg, J.W. Ager, R.A. Segalman, Integrated microfluidic test-bed for energy conversion devices, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 15 (2013) 7050. <https://doi.org/10.1039/c3cp51302e>.

PACEEP 16 : Vers une meilleure compréhension des mécanismes de rodage dans la pile à combustible à membrane échangeuse de protons

Gaspard Langlois^{1,2,3}, Fabian Van der Linden¹, Julien Durst¹, David Bouquain², Marian Chatenet³, Elodie Pahon²

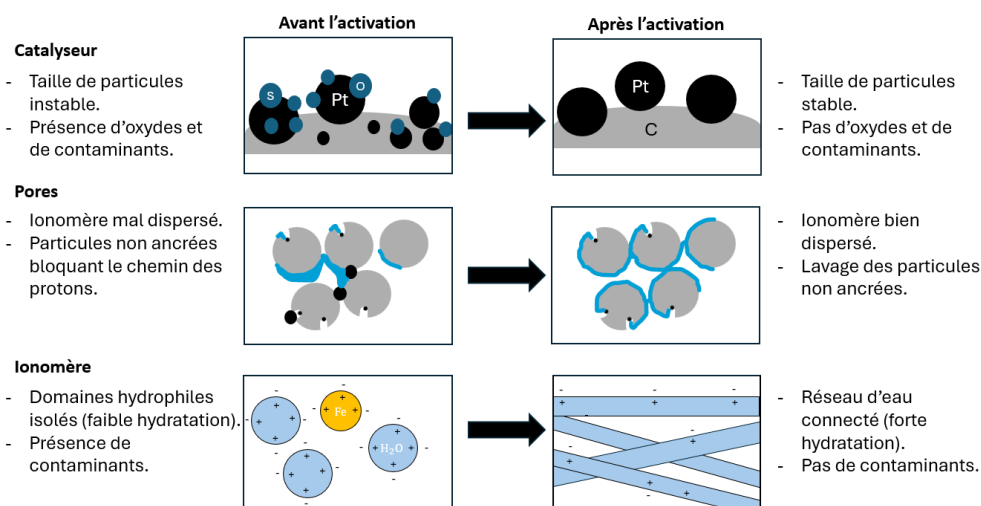
¹*Symbio, Saint-Fons, France*

²*Université de Marie et Louis Pasteur, FEMTO-ST, FCLAB, UTBM, CNRS, Belfort, France*

³*Université Grenoble Alpes, Université Savoie Mont-Blanc, CNRS, Grenoble INP, LEPMI, Grenoble, France*

La pile à combustible à membrane échangeuse de protons (PEMFC) représente une technologie clef pour la décarbonation du secteur des transports. Néanmoins, son déploiement à grande échelle est freiné par la phase de rodage, étape indispensable pour garantir des performances stables et optimales. Réalisée sur des bancs d'activation volumineux et coûteux, cette étape constitue un goulot d'étranglement majeur dans la production des PEMFCs. Une compréhension approfondie des mécanismes d'activation, permettant l'élaboration de protocoles de rodage adaptés, constitue un levier déterminant pour réduire significativement la durée de cette étape. En effet, l'état de l'art identifie plusieurs processus d'activation possibles, sans hiérarchisation claire de leur importance relative^{1,2}.

Mécanismes d'activation



Dans ce travail, nous présentons des résultats récents visant à établir un début de hiérarchisation des mécanismes d'activation sur un assemblage membrane-électrodes (AME) représentatif de l'état de l'art. Nos observations suggèrent que, contrairement aux hypothèses couramment avancées, l'hydratation du ionomère aurait un impact limité, voire négligeable, sur l'activation d'AME état de l'art. À l'inverse, la décontamination de la surface du platine semble importante. Des analyses de voltamétrie cyclique (CV) *in situ* ont permis d'identifier deux types d'impuretés : organiques (supposées) et sulfates ; ainsi qu'un changement de l'intensité des pics de la zone de l'hydrogène au cours du rodage ; ce dernier peut refléter soit une réorganisation structurale de la surface du platine, soit la désorption de sulfates. Enfin, des analyses *ex situ* apportent des informations complémentaires sur l'évolution de la structure et de l'état d'oxydation des particules de platine.

- (1) Christmann, K.; Friedrich, K. A.; Zamel, N. Activation Mechanisms in the Catalyst Coated Membrane of PEM Fuel Cells. **2021**.
- (2) Van Der Linden, F.; Pahon, E.; Morando, S.; Bouquain, D. A Review on the Proton-Exchange Membrane Fuel Cell Break-in Physical Principles, Activation Procedures, and Characterization Methods. *J. Power Sources* **2023**, 575, 233168. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2023.233168>.

PACEEP 17 : Understanding of the limiting phenomena to reach PEMFC nominal performance during break-in phase

Charline RÉMY, Fabrice MICOUD, Sébastien ROSINI, Arnaud MORIN

Univ. Grenoble Alpes, CEA, Liten, 38000 Grenoble, France

Hydrogen and Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) technologies will play a central role in the urgent transition to low-carbon energy sources. Over the recent years, PEMFC system cost has dropped significantly, thanks to advances in performance, durability, and manufacturing processes [1]. However, it remains essential to further reduce unit costs and increase production rate.

PEMFC requires a break-in step corresponding to the very first phase of operation to reach its nominal performance prior to its integration into systems (or testing in lab). To decrease the associated costs, optimization efforts are mainly focused on reducing its duration (less than 20 min) and the H_2 consumption while minimizing technical facilities [2]. Break-in is attributed to mechanisms such as membrane hydration, Catalytic Layer (CL) “activation” and the possible removal of impurities from the pristine Membrane Electrode Assembly (MEA) [3]. It is therefore essential to further look at the precise mechanisms responsible for this initial gain in performance. This requires advanced studies on MEA made with state-of-art components to clearly identify and quantify the phenomena taking place.

This work aims at studying in PEMFC differential cell (1.8 cm^2) the evolution of MEA properties during break-in. Several MEA with well-known compositions and manufacturing processes have been conditioned according to various break-in protocols. Performance level, catalyst active area (by proton adsorption/desorption and CO-stripping), protonic resistance in both membrane and CL as well as double-layer capacitance have been systematically characterized and compared before and after break-in. Our results show that major changes in catalysts properties relative to Pt oxide formation/reduction and proton transport in the CL explain most of the gap in performance during break-in. The choice and the impacts of protocol will also be discussed to optimize break-in simplicity, kinetics and effectiveness.

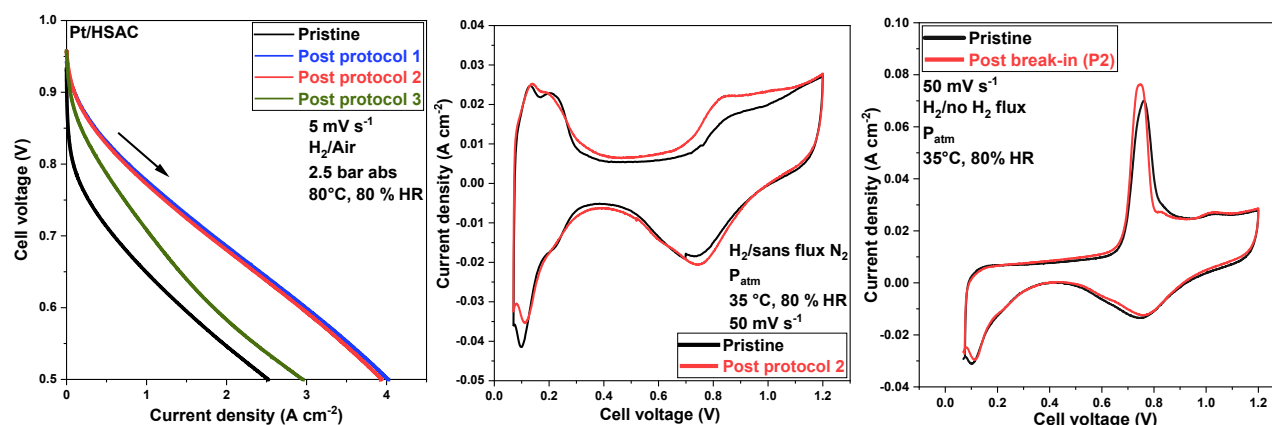


Figure 1: Polarization curves before/after different break-in protocols for MEA with Pt/HSAC catalysts (left side); Evolution of cathode voltammograms before/after protocol 2 (middle); CO-stripping curve before/after protocol 2 (right side).

References:

- [1] “Recent development of hydrogen and fuel cell technologies: A review,” *Energy Reports*, vol. 7, pp. 8421–8446, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.egyr.2021.08.003.
- [2] M. S. Kim, J. H. Song, and D. K. Kim, “Development of Optimal Conditioning Method to Improve Economic Efficiency of Polymer Electrolyte Membrane (PEM) Fuel Cells,” *Energies*, vol. 13, no. 11, Art. no. 11, Jan. 2020, doi: 10.3390/en13112831.
- [3] K. Christmann, K. A. Friedrich, and N. Zamel, “Activation mechanisms in the catalyst coated membrane of PEM fuel cells,” *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 85, p. 100924, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.peccs.2021.100924.

PACEEP 18 : Evaluation of the adhesion between a catalyst-coated membrane and various types of GDLs for PEMFC

Jérémie Chatelain, Christophe Carral, Julien Giboz, Bruno Previdello, Marian Chatenet, Patrice Mele
Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, Grenoble INP, LEPMI, 38000 Grenoble, France

The proton exchange membrane cell (PEMFC) is a promising technology for decarbonizing some anthropic activities. Many studies shown how the choice of components for the membrane electrode assembly (MEA) and the assembly process can influence the performance and lifetime of the PEMFCs [1, 2]. Although it is of interest for optimizing the performance and durability of PEMFCs, few studies have quantified the level of adhesion between the catalyst layer (CL) and membrane or the gas diffusion (GDL). [1 - 5].

A previous study showed that applying pressure during the MEA assembly improves adhesion between layers by increasing the interface's friction coefficients, but only up to a certain limit [6]. Further investigations are needed to better understand this phenomenon.

In this context, specific experimental tests were developed to determine the mechanical properties of five-layer MEA interfaces. The objective of this study is to evaluate the level of adhesion between a membrane coated or not with a catalyst layer and two types of GDLs (SGL 22BB and Freudenberg H14Cx653). Figure 1 shows that the static friction coefficient μ_s between a GDL and the membrane can vary by more than 50%, and even 100%, depending on a catalyst coated membrane (CCM) and on the type of GDL used. Moreover, the effect of the CL on the friction coefficient is only observed with the GDL 22BB, which exhibited a significant increase of μ_s , whereas the μ_s values are similar for the GDL H14Cx653, regardless of the CL's presence on the membrane. The evolution of the surface topography with applied mechanical pressure was also characterized to better understand the fundamental phenomena taking place at the interfaces. These data will be useful for analyzing the influence of different types of CL deposition (on the membrane (CCM) or on the GDL (GDE) as well as the assembly conditions of MEAs on the durability of PEMFCs.

[1] M. Breitwieser et al. Feb. 05, 2018, *Wiley-VCH Verlag*. doi: 10.1002/aenm.201701257.

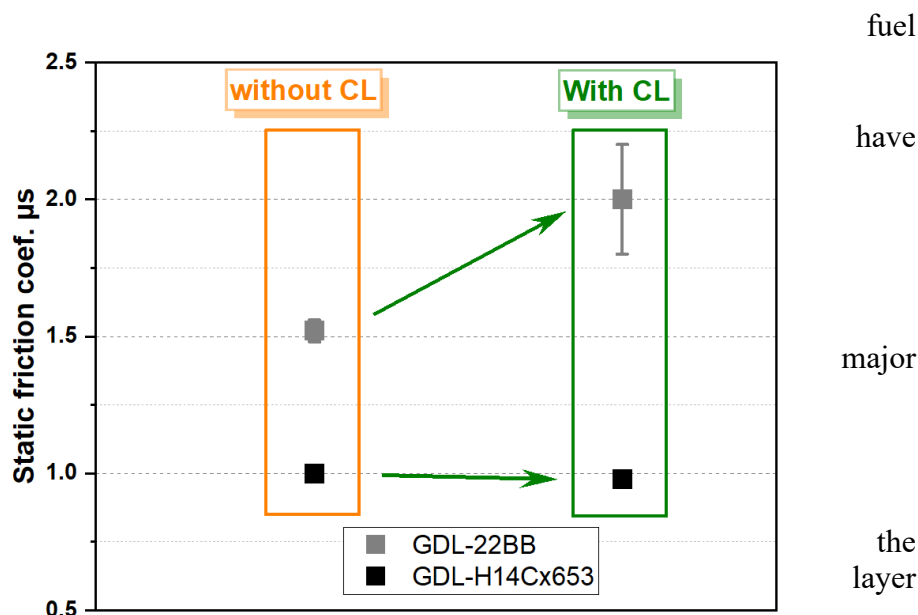
[2] T. Uchiyama et al. *Power Sources*, vol. 272, pp. 522–530, Dec. 2014, doi: 10.1016/j.jpowsour.2014.08.103.

[3] S. Byun et al. *J Power Sources*, vol. 455, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.jpowsour.2020.227928.

[4] R. Jia et al. *Int J Hydrogen Energy*, vol. 37, no. 8, pp. 6790–6797, Apr. 2012, doi: 10.1016/j.ijhydene.2012.01.063.

[5] Z. Shangquan et al. Jul. 21, 2021, *Royal Society of Chemistry*. doi: 10.1039/d1ta01591e.

[6] M. Ouerghemmi et al. *Int J Hydrogen Energy*, vol. 50, pp. 402–413, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.ijhydene.2023.08.189.



fuel

have

major

the
layer

PACEEP 19 : Carbon nanotube-based porous material as a novel gas diffusion layer for proton exchange membrane fuel cell (PEMFC)

Guillaume Donadey¹, Emeline Charon¹, Arnaud Morin², Mathieu Pinault¹

(1) Université Paris-Saclay, CEA, CNRS, NIMBE, 91191, Gif-sur-Yvette/France;

(2) Univ. Grenoble Alpes, CEA, LITEN, 38000, Grenoble/France;

The development of new materials for PEM fuel cells is a necessity to improve the power density, reduce the material cost and lower the system prices. PEMFCs face challenges with water management, especially within their porous gas diffusion layers (GDL). To prevent PEMFC flooding, it is crucial to use a hydrophobic porous material with good electrical and thermal conductivity. Current GDLs often rely on hydrophobic fluorine-based treatments, which tend to degrade over time with cycling (1). Carbon nanotubes (CNTs), thanks to their hydrophobicity, chemical stability and exceptional conductive properties, offer the potential to fabricate GDLs that eliminate the need for such hydrophobic treatments. This study aims to make a self-supported porous CNT-based material for this application. Our approach involves synthesizing vertically aligned carbon nanotubes (VACNTs) via a catalytic chemical vapor deposition (CCVD) method to control diameters and lengths of the nanotubes. The subsequent steps include dispersing CNTs in water using sonication and filtering the suspension to obtain a thin hydrophobic porous paper of entangled CNTs. The final material, as shown in the Figure, can be tailored to achieve a high porosity/hydrophobicity. Characterization of the material has been performed by SEM, TEM, contact angle, and TGA. The performance of this CNT paper is compared to that of state-of-the-art GDL and commercial Buckypaper under dry and humid conditions in a differential cell. Our CNT-based material outperforms the commercial CNT-based material. However, compared to the state-of-the-art GDL, our material gets slightly lower performance. Compression issues were identified as a factor negatively affecting the cell performance. Better management of the material structure (CNT's diameters/porosity) may enhance performance, and the addition of a backing layer (similar to the macroporous layer in typical GDL) help mitigate these compression issues. Therefore, our preliminary study suggests that this material holds promise for this type of application.

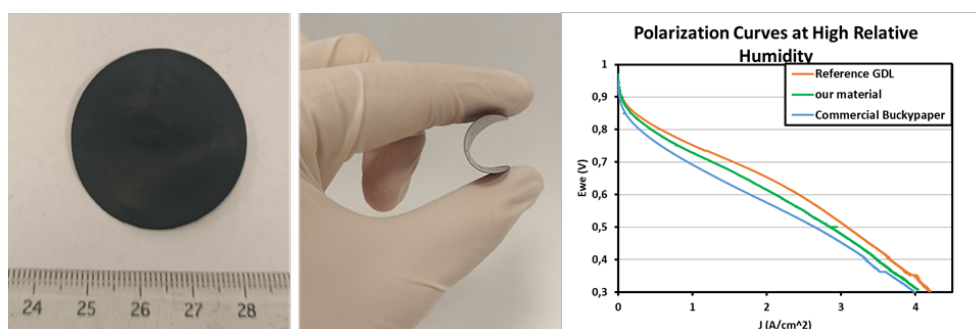


Figure: Picture of self-supported carbon nanotube based material and polarization curves of the different materials at High Relative Humidity.

Références :

1. Pan Y, Wang H, Brandon NP. Gas diffusion layer degradation in proton exchange membrane fuel cells: Mechanisms, characterization techniques and modelling approaches. J Power Sources. 2021 Nov;513:230560.

PACEEP 20 : Spectroscopic Investigation of the Pt/Ionomer Electrochemical Interface during Oxygen Reduction Reaction

S. Moura Lopes¹, Jean-Blaise Brubach², R. Ramos¹, A. Morin¹

¹Univ. Grenoble Alpes, CEA, Liten, 38000 Grenoble, France

²Synchrotron SOLEIL, L'Orme des Merisiers, BP 48-Gif-sur-Yvette CEDEX, F-91192, France

Abstract:

Proton exchange membrane fuel cells stand out as one of the most promising technologies for sustainable energy conversion. A key challenge in these systems lies in the cathode catalyst layer, where the interactions between the ionomer and platinum remain poorly understood. To address this, we have developed a novel experimental setup that integrates electrochemistry with in situ vibrational spectroscopy. Our approach uses platinum interdigitated array electrodes to investigate ultra-thin ionomer films (5–10 nm) and a humidity-controlled optical cell for tailor-made for synchrotron infrared spectroscopy measurements at Synchrotron SOLEIL and Raman Spectroscopy under Oxygen Reduction Reaction (ORR) conditions. In particular, we deposited plasmonically active platinum on the electrodes to perform surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS), giving surface-specific insight into the structure and behaviour of the Pt/ionomer interface.

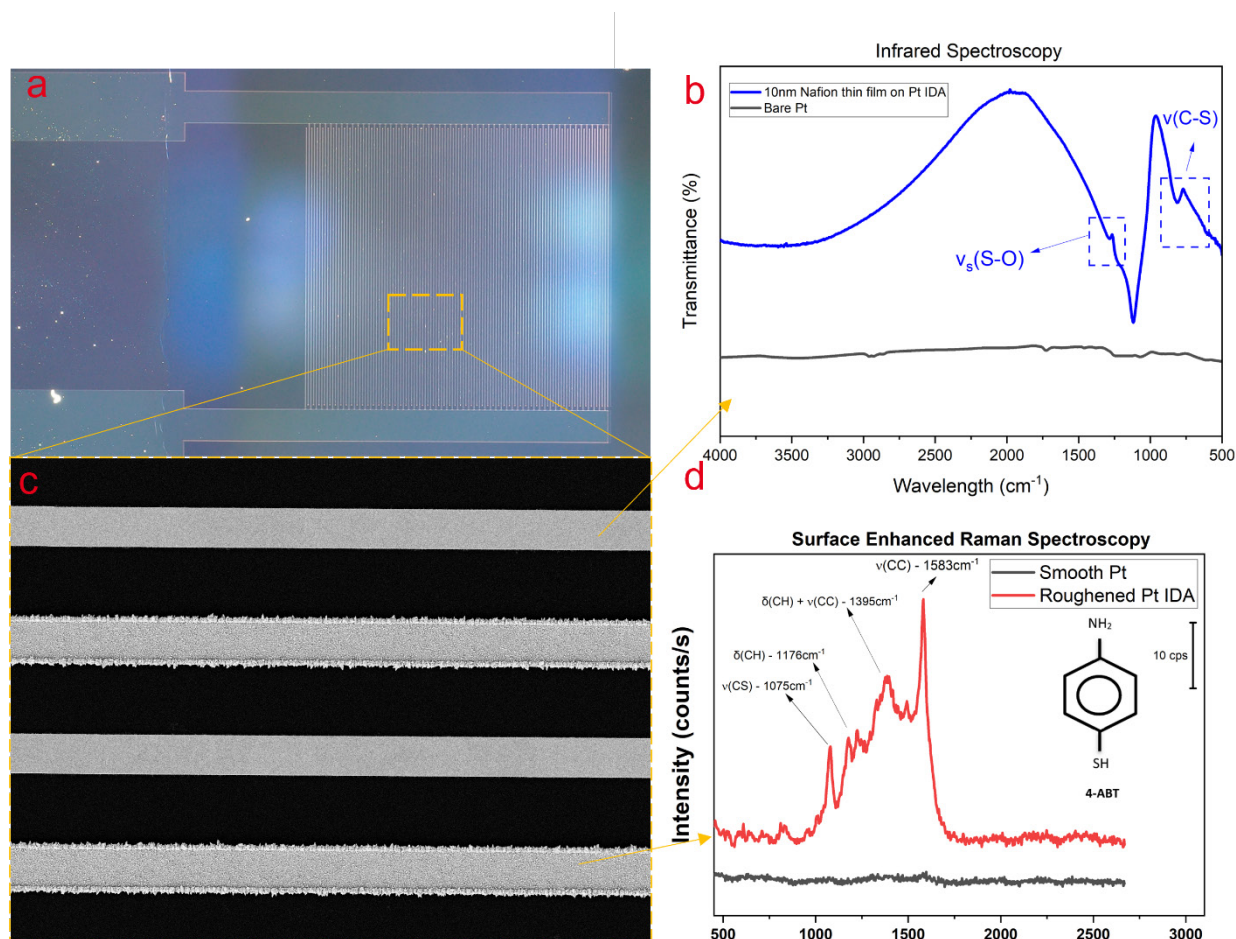


Figure:(a) photograph of the device; (b) infrared spectra comparing 10nm thin film Nafion and bare Pt. (c) SEM images of interdigitated networks without and with electrodeposition; (d) SERS spectrum showing the enhancement effect of Pt with a model molecule;

PACEEP 21 : Next generation of improved High Temperature Membrane Electrode Assembly for Aviation

Manon Prioux¹, Arnaud Morin¹, Nikolaos Theodoropoulos², Emory De Castro², George Paloumpis²

¹ Université Grenoble Alpes / CEA Liten, Grenoble, France;

² Advent Technologies / Patras, Greece

The aviation industry is facing one of its greatest challenges: how to reduce its CO₂ emissions in the context of a constantly increasing air traffic. High Temperature Proton Exchange Membrane Fuel Cell (HT-PEMFCs) technology is of great interest for aviation, due to its easier thermal management, a simplified water management system and lower weight. However, the current Membrane Electrode Assembly (MEA) of HT-PEMFCs operating at 160°C are not at the expected level of performance. In this context, the NIMPHEA project aims to develop a new generation of HT MEAs at temperatures above 120°C to meet the demanding requirements of aviation fuel cells. HT-PEMFCs typically use phosphoric acid doped polybenzimidazole (PA-PBI). However, PA-PBI-based fuel cells have limited stability in the presence of water or at higher operating temperatures. In fact, they suffer from phosphoric acid loss. Recently, HT-PEMFCs based on quaternary ammonium bisphosphate Ion-Pair coordination (Ion-Pair) have shown better phosphoric acid retention in the temperature range of 80-200°C than PBI ones. In the frame of NIMPHEA project, we worked on the development of MEA based on Advent's Ion-Pair membrane technology for HT-PEMFCs. After optimizing the composition of both the cathode and anode active layers and the gas diffusion layer, we obtained a fuel cell with a nominal power density of 0.8 W/cm² at 180°C under H₂/Air at 1 bar exceeding the performance of standard PBI based HT-PEMFCs based MEA.

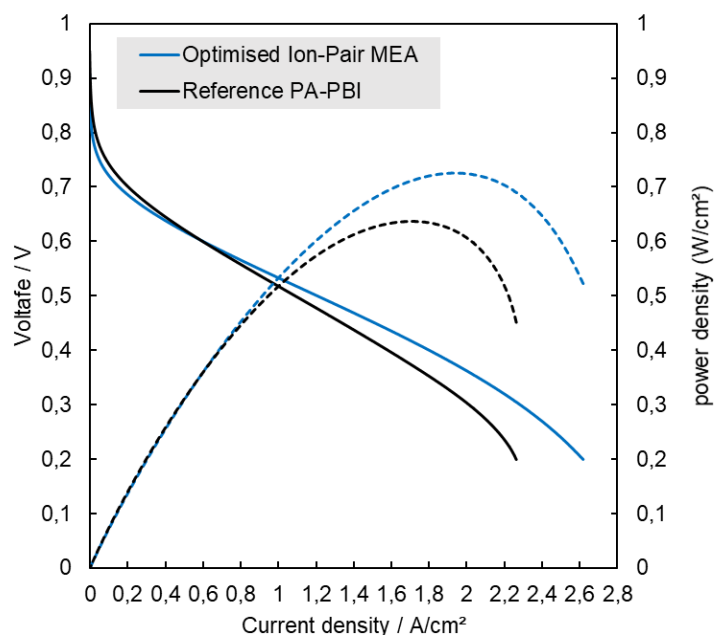


Figure 9 Comparison of the polarization curves of the reference PBI based MEA and the optimized Advent's Ion-Pair MEA at 160°C under H₂/Air (250NmL/min - 628NmL/min) at 1 bar in differential cell (1.8cm²)

This project has received funding from the Clean Hydrogen Joint Undertaking under grant agreement No 101101407. This Joint Undertaking receives support from the European Union's Horizon Europe research and innovation program and Hydrogen Europe and Hydrogen Europe Research. The authors also thanks Advent technologies for their participation. Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

PACEEP 22 : How to properly carry out electrochemical characterizations by cyclic voltammetry in PEMFC stack?

Raphaël Riasse, Fabrice Micoud, Damien Gloriod, Guillaume Laphitz, Marine Tregaro, Sébastien Rosini

Univ. Grenoble Alpes, CEA, Liten, 38000 Grenoble, France

To date, numerous R&D works are still needed to characterize and validate innovations to further improve Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) performance and durability from testing raw materials, their integration into small membrane-electrode assembly (MEA) for single cell ($\sim 1\text{-}50\text{ cm}^2$) to real stack with both large active surface area ($\sim 100\text{-}400\text{ cm}^2$) and high number of cells (from few up to hundreds). Cyclic voltammetry (CV) is commonly used to access the intrinsic properties of new components for MEA. CV techniques have been extensively used on Pt materials as their response towards adsorption/desorption of species such as protons, carbon monoxide and oxygenated species is remarkable [1]. At small scales, such as rotating disk electrode (RDE), gas diffusion electrodes (GDE) or even small single cell, those experimental setups are conceived to easily allow such characterizations [2], notably to measure the electrochemical active surface area (ECSA). However, experimental concerns are faced when considering PEMFC stacks: limited voltage compliance of the potentiostats or limited number of electrical connections (stack compactness). Nevertheless, despite achievable on very short stacks (< 10 cells), global stack polarization is preferably avoided as it can induce harsh degradations among the cells.

We studied in details different electrical connections for the different electrodes to optimize the CV measurements and get reliable data on a PEMFC stack. Guidelines and recommendations are proposed to comply with the experimental constraints imposed by the stack design or the potentiostat. CVs similar to the reference case (global stack current) were obtained by polarizing a restricted number of cells and even one individual cell using specific connection configurations (Figure 1 left side). We also validated a novel experimental approach for local CV with a S^{++} ® spatial current density mapping card. Local CVs have been plotted for the different configurations to understand the deviations and artefacts (Figure 1 right side). An electrical model has been developed and allowed to understand the origin of these experimental artefacts. Such advanced and local CV measurements have never been mentioned in the literature so far and can definitively provide valuable insights for MEA developments: the local properties of 2D-structured MEA or the spatial aging could be characterized without additional/specific electrochemical analyses on aged samples at end-of-test [3].

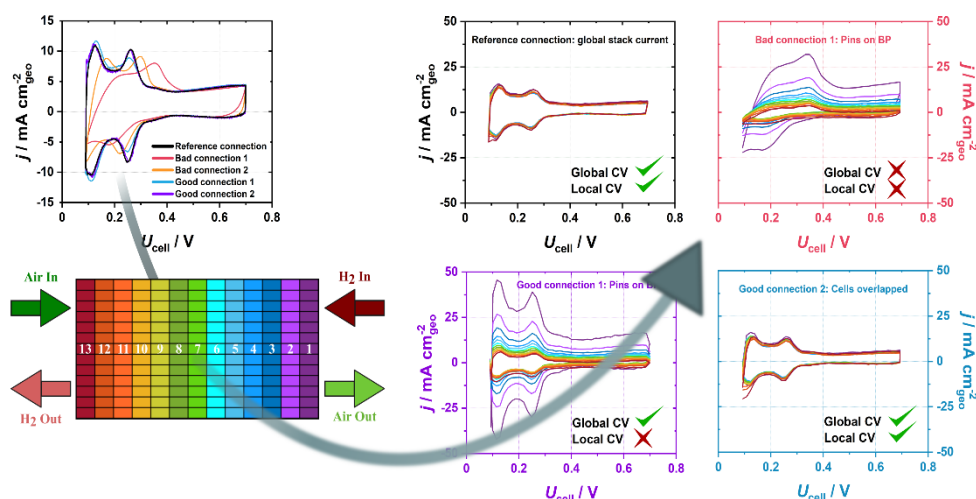


Figure 1: CVs obtained for the different configuration according to pins connection on bipolar plate (top left) and their local aspect column-wise (right). Schematic of the column repartition in the S^{++} ® device (bottom left).

Acknowledgements: The

authors thank the program “Carnot Energies du Futur” for funding (ADELE project).

References:

- [1] F. Maillard *et al.*, *J. Phys. Chem. B*, vol. 108, no. 46, 17904, Nov. 2004
- [2] R. Riasse *et al.*, *Journal of Power Sources*, vol. 556, 232491, Feb. 2023
- [3] S. Rodosik *et al.*, *Int. J. Hydrog. Energy*, vol. 46, no. 79, 39415, Nov. 2021

PACEEP 23 : Highly selective Ni-Cu catalyst for HMF electrooxidation

Z. Yan, I.R. Garduno-Ibarra, A. Boreave, F. Dappozze, J. Gonzalez-Cobos, L. Massin, M.S. Prévot, L. Retaillieu-Mével, P. Vernoux*

Univ. Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, CNRS – UMR 5256, IRCELYON, 69626 Villeurbanne Cedex, France

Introduction

Alkaline electrolysis of biomass-based molecules is an attractive alternative for green hydrogen production due to the co-production of added-value platform chemicals. Furthermore, the thermodynamic oxidation potential of biomass-derived molecules is much smaller than that of the oxygen evolution reaction (OER). 5-hydroxymethylfurfural (HMF) is attractive because one of its oxidation product, 2,5-furandicarboxylic acid (FDCA), is a monomer for bio-plastic production^[1]. Ni-based catalysts are cost-effective materials for HMF selective electrooxidation (HMFOR) but Ni is only active from 1.4 V_{RHE} because this potential is required to operando form the NiOOH active phase. Consequently, OER can compete with HMFOR and lower the efficiency of the process. This study aims to study the impact of Cu alloyed with Ni on the competition between HMFOR and OER.

Materials and method

Ni and Ni-Cu catalysts supported on Vulcan carbon were prepared by the NaBH₄ reduction method^[2]. A series of Ni_xCu_y catalysts (Ni₁₀, Ni₃Cu₁₂, Ni₈Cu₇ and Ni₁₂Cu₃) was synthesized, with x and y indicating the Ni and Cu wt. loading measured by ICP, and characterized by XRD, TEM, XPS and Raman spectroscopy. The catalysts were dropped casted on glassy carbon rotating disc electrode (RDE) and on carbon paper (CP). HMFOR activity was investigated in 3-electrode electrochemical cells at pH 13 and 25°C with and without 10 mM HMF.

Results

Ni and NiCu catalysts contain Ni nanofibers and large Cu₂O particles, while part of Cu is also alloyed with Ni in the nanofibers (Fig. 1a). The onset potential of the Ni²⁺ oxidation into Ni³⁺ during Cyclic voltammetry was impacted by the doping of Cu. The higher the Cu loading, the more pronounced is the anodic shift, demonstrating the electronic interaction between Ni and Cu in the catalysts. Linear Sweep Voltammetry (LSV) experiments with RDE demonstrate that the doping of Cu can inhibit the OER. This was confirmed by chronoamperometry (CA) experiments at 1.6 V_{RHE} and gas chromatography (GC) analysis, where 3-times more oxygen were produced on Ni₈Cu₇ than on Ni₁₀. The HMFOR activity of Ni₁₀ and Ni₈Cu₇ was measured during 4 successive CAs for 1 h at 1.5 V_{RHE} with 10 mM HMF. The Faradaic efficiency towards FDCA on Ni₈Cu₇ was always higher than 90% but the HMF conversion was found to slightly decrease after two successive CAs, most likely due to the dissolution of a part of Cu, as shown by XPS.

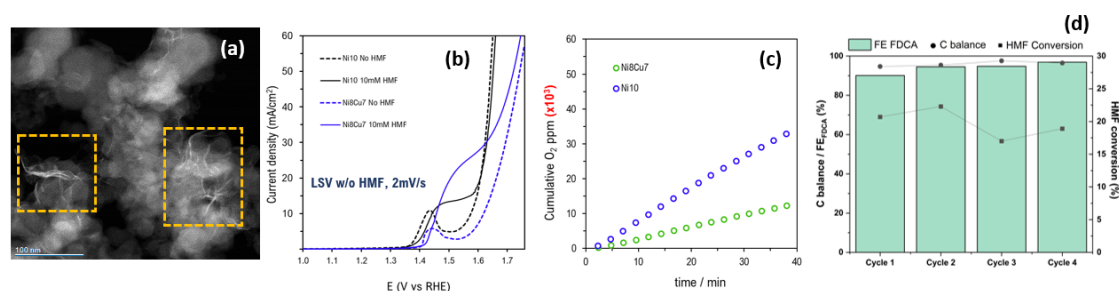


Fig. (a) Ni-Cu nanofibers observed with TEM **(b)** LSV experiments with/without 10 mM HMF at 2 mV/s **(c)** Cumulative O₂ production during OER at 1.6 V_{RHE} analysed with a micro gas chromatograph and **(d)** 4 successive cycles CA at 1.5 V_{RHE} with 10 mM HMF on Ni₈Cu₇. Supporting electrolyte : 0.1M NaOH + 1M Na₂SO₄.

Acknowledgments

The authors thank the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement N° 101070856 ELOBIO (Electrolysis of Biomass) for funding.

Reference

- [1] K.-R. Hwang, W. Jeon, S. Y. Lee, M.-S. Kim, Y.-K. Park, Chem. Eng. J. 2020, 390, 124636.
- [2] E. Cossar, A.O. Barnett, F. Seland, E.A. Baranova, Catalysts, 2019, 9, 814.

PACEEP 24 : co-friendly microwave-assisted synthesis of ceramic-based catalysts for LOHCs hydrogenation

Limor Ben Neon¹, Issam Nciri², Martin Drobek¹, Mikhael Bechelany¹, Christophe Coutanceau², Karine De Oliveira², Anne Julbe^{1*}

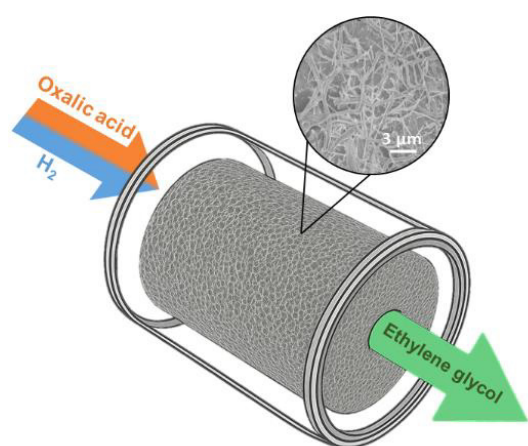
¹*Institut Européen des Membranes (IEM); CNRS, ENSCM, Univ Montpellier; Montpellier, 34095, France*

²*Institut de Chimie Des Milieux et Des Matériaux de Poitiers (IC2MP), Université de Poitiers, UMR 7285 CNRS, 1 Rue Marcel Doré, CEDEX 9, 86073 Poitiers, France*

***Corresponding author: anne.julbe@umontpellier.fr**

Hydrogen is emerging as a promising alternative to fossil fuels. However, efficient large-scale distribution of hydrogen requires safe storage methods. Liquid organic hydrogen carriers, like ethylene glycol, provide an attractive solution for storing and regenerating hydrogen. The French-funded project BHyoLOHC is currently tackling this

Within this project, the IEM is developing sustainable and efficient ceramic-based catalysts for converting oxalic acid to ethylene glycol (re-hydrogenation reaction), facilitating safe hydrogen storage. The performance of these catalysts is evaluated at IC2MP using a continuous flow reactor. In this presentation, we will introduce an innovative, robust and eco-friendly strategy to create an active hydrogenation catalyst. This catalyst consists of SiC foam coated with a root-like, porous θ -alumina layer, on which Ru is dispersed to serve as the active sites for the reaction, as shown in Figure 1.



The synthesis strategy consists of three steps:

1. Microwave (MW)-assisted hydrothermal conversion of an ALD-metal oxide coating into MOF(Al).
2. Thermal treatment of the supported MOF(Al) template.
3. MW-assisted Ru deposition using polyol route.

We emphasize the benefits of microwave-assisted heating, which enables access to novel crystal structures with unique morphologies and physicochemical properties, achieved within short reaction times. This engineered approach not only facilitates the formation of hydrogenation catalysts with promising conversion rates and selectivities but also opens new possibilities for creating a library of potential hydrogen storage materials supported on ceramics.

Figure 1: Schematic representation of the hydrogenation of oxalic acid in the presence of the engineered supported ceramic catalyst in a continuous flow reactor.

KEYWORDS

Hydrogen storage, Ceramic-to-MOF conversion, MOF-template, Eco-friendly synthesis, Catalyst carrier.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was funded by the French National Research Agency (ANR) under project PEHY-0016-BHyoLOHC.

PACEEP 25 : 5-HMF Electro-oxidation in Near-neutral and Acidic Conditions over Ru/C Catalyst : Tailoring Selectivity with Operating Conditions

Emilie Guillier, Laurence Retailleau, Mathieu Prévot, Philippe Vernoux
IRCELYON, 2 Av. A. Einstein, F-69626 Villeurbanne Cedex, France

In a context of green hydrogen production, designing anodic biomass valorization processes that can be operated at lower potentials than OER is highly attractive. Amongst all high-value molecules derived from biomass, 5-hydroxymethylfurfural (5-HMF) has been identified as a promising platform chemical. Its electrooxidation yields two valuable products; 2,5-diformylfuran (DFF) for surfactants and pharmaceuticals production, and 2,5-furandicarboxylic acid (FDCA) for bio-plastic synthesis¹. The 5-HMF electrooxidation reaction (HMFOR) has been extensively studied in strong alkaline conditions (pH 14) over a variety of Ni-based electrocatalysts². However, the industrialization of this process is hindered by the poor stability of HMF in such conditions and by a complex product separation. Therefore, it is of interest to develop electrocatalysts active near neutral conditions. Several electrocatalysts were proposed for HMFOR in base-free conditions, most of them containing Ru^{3,4}. However, they consist in complex, hardly scalable materials, usually yielding a mixture of products. Moreover, the levers for orienting HMFOR selectivity in neutral or acidic conditions have not been thoroughly studied so far.

In this work, we synthesized Ru nanoparticles (NPs) supported on mesoporous carbon (Ru/C) by a polyol method, achieving various Ru loadings (5 – 17 wt.%). Anodes were prepared by drop-casting Ru/C inks on carbon cloths GDL. HMFOR performances of these anodes were measured in a H-cell equipped with a three-electrode setup over a wide range of experimental conditions: applied potential, pH, electrolyte composition, temperature. Liquid products were analyzed by HPLC and gaseous products (O₂, CO₂) by micro-gas chromatography. Moreover, the pH value of the bulk electrolyte was monitored during electrolysis.

According to TEM, spherical Ru NPs, with a mean size of 1.9 ± 0.6 nm, are dispersed on the carbon support but partially aggregated (**Figure 1.a**). Performing LSV experiments at 25°C, in 1.0M phosphate buffer (pH 6.0) with 0.05 M HMF, revealed that the Ru/C anode exhibited a low onset potential for HMFOR at around 0.95 V vs. RHE, allowing for a wide potential range free from the competing OER (onset at 1.35 V vs. RHE) (**Figure 1.b**). Further performing chronoamperometry experiments at different operating conditions revealed that selectivity of HMFOR can be tailored with applied potential and nature of the electrolyte (**Figure 1.c**). Interestingly, not only the pH but also the salt composition, play a major role in orienting selectivity either towards FFCA or DFF. Overall, we propose a straightforward and scalable method to generate an efficient electrocatalyst for HMFOR in near-neutral aqueous electrolytes, and show that operating conditions are powerful allies for tailoring HMFOR selectivity.

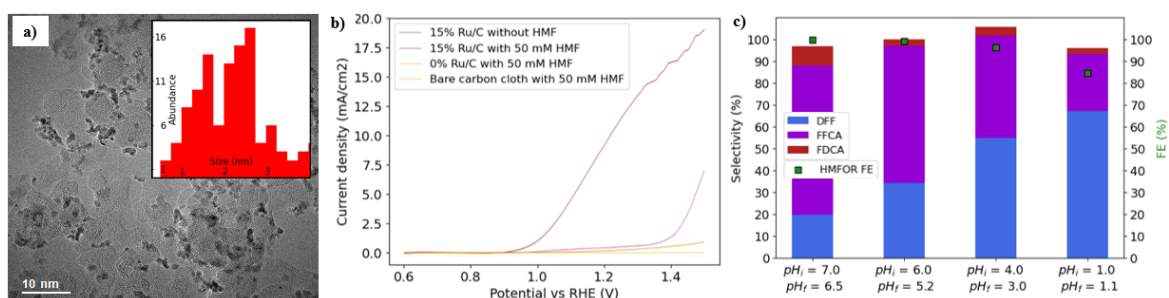


Figure 1. a) TEM imaging of the 15 wt.% Ru/C catalyst. b) LSV acquired with a 15 wt.% Ru/C anode (1.0 M Phosphate buffer, pH 6.0, 25 °C), performances are compared with 0 wt.% catalyst and bare carbon cloth electrode. c) HMFOR selectivity at 50% HMF conversion, with faradaic efficiency values (1.0 M Phosphate buffer, 50 mmol/L HMF, 1.4 V vs RHE, 25°C)

¹ Lucas, F. W. S. *and al.*, *ACS Energy Lett.* **6** (4), 1205–1270 (2021), ² Guo, L. *and al.*, *Adv. Sci.* **10** (4), 2205540 (2023), ³ Lei, C. *and al.*, *Angew. Chem. Int. Ed.* **63** (21), e202319642 (2024), ⁴ Wang, T. *and al.*, *New J. Chem.* **45**, (45), 21285-92 (2021)

PACEEP 26 : Efficient Biomass-Assisted Hydrogen Generation with Atomically Engineered Pd–Ni Interfaces on Carbon Microfibers

Zahra Hagheh Kavousi,^{a,b} Clemence Badie,^c Vyshnav Kannampalli,^c Massomeh Ghorbanloo,^b Qing Wang,^d Hazar Guesmi,^d Lionel Santinacci,^c Yaovi Holade^{aef} and Mikhael Bechelany^a

^a IEM Montpellier, UMR, 5635, Univ Montpellier, ENSCM, CNRS, 34090 Montpellier, France

^b Department of Chemistry, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran

^c Aix Marseille Univ, CNRS, CINaM, Marseille 13009, France

^d Institut Charles Gerhardt Montpellier (ICGM) – UMR 5253, University of Montpellier, CNRS, 34090 Montpellier, France

^e French Research Network on Hydrogen (FRH2), Research Federation No. 2044 CNRS, BP 32229, Nantes CEDEX 3 44322, France.

^f Institut Universitaire de France (IUF), 75005 Paris, France

zahra.hagheh-kavousi@umontpellier.fr

Hydrogen production through water electrolysis is a promising approach to renewable energy storage, but its practical implementation remains limited by high energy requirements and costly noble-metal catalysts. In conventional electrolyzers, nearly 90% of the electricity demand arises from the sluggish kinetics of the oxygen evolution reaction (OER), making the overall process energy intensive.¹ Replacing OER with the oxidation of biomass-derived molecules such as glycerol (GOR) and ethanol (EtOR) has emerged as a powerful strategy to reduce the energy input by nearly 10-fold, while simultaneously generating value-added chemicals. The key challenge, however, lies in the development of efficient, durable, and low-cost electrocatalysts capable of driving both hydrogen evolution (HER) and biomass oxidation. In this context, we present free-standing electrodes engineered via atomic layer deposition (ALD) of palladium (Pd) on nickel-coated carbon microfibers, followed by thermal treatment to create atomically bridged Pd–NiO structures. ALD provides precise control over composition and interface quality,² leading to enhanced electronic interactions, enhanced CO tolerance, and accelerated OH_{ads} generation at the Pd–NiO interface. The resulting electrodes (Pd_{1-x}Ni_x-(NiO)_e) demonstrated multifunctional performance in HER, EtOR, and GOR, with remarkable activity in anion exchange membrane electrolyzers. For instance, with ethanol feed, current densities of 10 mA cm⁻² at 0.69 V and 100 mA cm⁻² at 1.10 V (50 °C) were achieved, while with glycerol, 10 mA cm⁻² at 0.67 V and 100 mA cm⁻² at 1.21 V (70 °C). These results underscore the potential of ALD-assisted Pd–NiO electrodes as a sustainable alternative to conventional noble-metal catalysts.

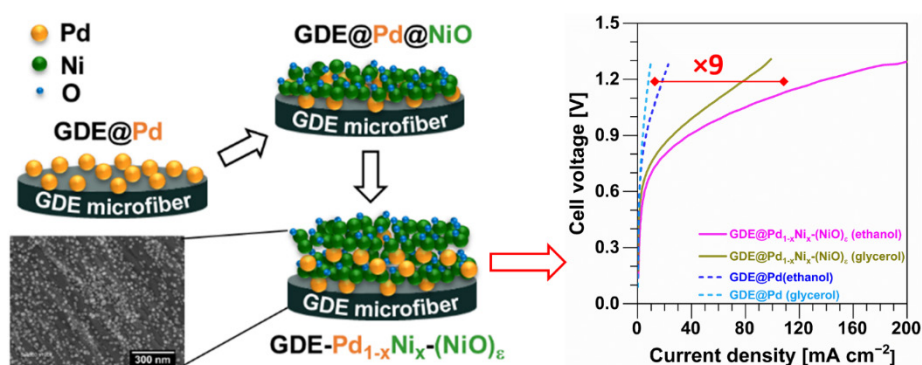


Figure 1: schematic of Pd–NiO electrode structure and electrolyzer performance.

Reference:

- [1] Y. Holade et al., *Catalysis Science & Technology* 2020, 10, 3071-3112.
- [2] M. Weber et al., *Applied Catalysis B: Environmental* 2019, 257, 117917.

PACEEP 27 : Électrolyseur d'électroreformage de la biomasse cellulosique : Influence du type de glucose (D-, α -D-, β -D-glucose)

Zahra Hagheh Kavousi,¹ Amira Ben Abderrahmane,¹ Sophie Tingry,¹ David Cornu,¹ Mikhael Bechelany,^{1,2} Yaovi Holade^{1,3}

¹Institut Européen des Membranes, IEM, UMR 5635, Univ Montpellier, ENSCM, CNRS, France

²Functional Materials Group, Gulf University for Science and Technology, Mubarak Al-Abdullah, Kuwait

³Institut Universitaire de France (IUF), Paris, France

Dans le contexte de la production d'hydrogène propre (ou vert), à faible empreinte carbone, par électrolyse de l'eau à basse température (inférieure à 100 °C), l'électro-oxydation de composés organiques (idéalement dérivés d'une biomasse abondante) plutôt que l'oxydation de l'eau à l'anode (réaction d'évolution de O₂, ou OER) a suscité un enthousiasme considérable au cours de la dernière décennie.¹⁻³ L'objectif est de réduire la tension de cellule via le potentiel anodique, qui représente à lui seul près de 90% de l'énergie électrique requise, utiliser éventuellement des matériaux carbonés à l'anode, et dans l'idéal, produire simultanément des synthons biosourcés (à l'anode) ainsi que des vecteurs énergétiques (à la cathode, H₂ ou NH₃). Cependant, la quasi-totalité de la littérature actuelle étudie le D-glucose, qui n'est pas représentatif de la biomasse réelle. Le 'D-glucose' est en effet un mélange de ' α -D-glucose' (unité monomère de l'amidon) et de ' β -D-glucose' (unité monomère de la cellulose). Il est donc difficile de prédire les performances d'un électrolyseur alimenté en biomasse.

Au regard de nos premières études en demi-cellules⁴ qui ont mis en évidence une disparité dans les performances en fonction du type de glucose, nous avons cherché⁵ à savoir si cela était vrai en cellule d'électrolyse où d'autres phénomènes entrent en jeu. Aussi voulions-nous savoir si l'emploi du 'D-glucose' pouvait refléter fidèlement une cellule d'électrolyse alimentée par de la biomasse cellulosique. Les résultats présentés dans la **Figure 1** révèlent une différence de performance. Nous avons émis l'hypothèse que la structure tridimensionnelle de la molécule de glucose pouvait induire des phénomènes liés à la cinétique du transport de matière ainsi que l'interaction avec les sites actifs.

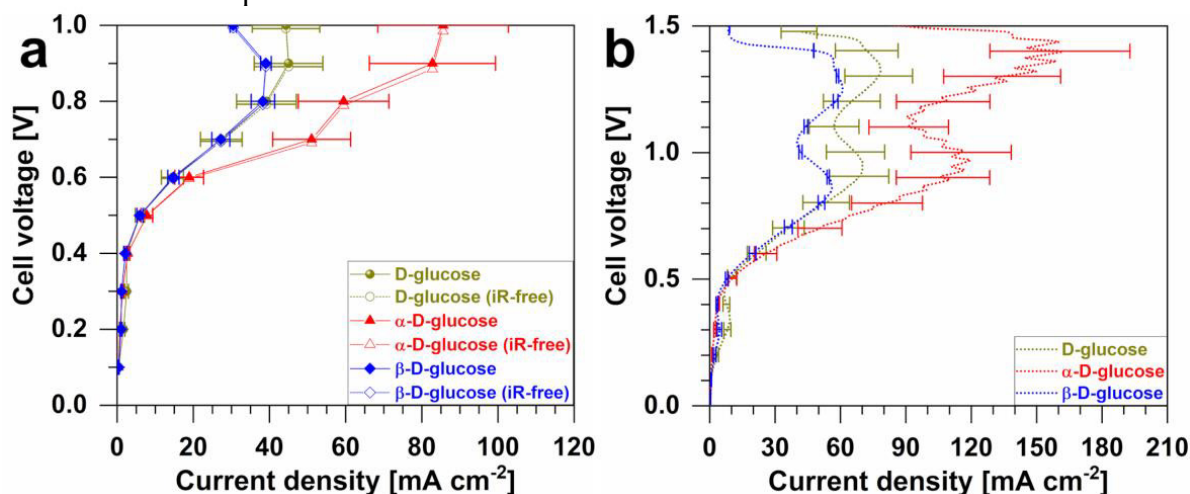


Fig. 1. Performances de l'électrolyseur à 25 °C en fonction du type du glucose. **(a)** Méthode potentiostatique ($\square U = 0,05$ V). **(b)** Méthode dynamique ($v = 0,05$ V s⁻¹). Cathode : 1 M KOH (150 mL min⁻¹) et GDE-Pt (33 μ gPt cm⁻²). Anode : 1 M KOH + 0,1 M glucose (100 mL min⁻¹) et GDE-Au (82 μ AAu cm⁻²). Membrane : Sustainion® X37-50 grade RT (5 cm²).

Références

- [1] C. Lamy, T. Jaubert, S. Baranton, C. Coutanceau *J. Power Sources*. **2014**, 245, 927-936.
- [2] C. Coutanceau, S. Baranton *Wiley Interdiscip. Rev.: Energy Environ*. **2016**, 5, 388-400.
- [3] Y. Holade, N. Tuleushova, S. Tingry, K. Servat, T. W. Napporn, H. Guesmi, D. Cornu, K. B. Kokoh *Catal. Sci. Technol.* **2020**, 10, 3071-3112.
- [4] Y. Holade, H. Guesmi, J.-S. Filhol, Q. Wang, T. Pham, J. Rabah, E. Maisonhaute, V. Bonniol, K. Servat, S. Tingry, D. Cornu, K. B. Kokoh, T. W. Napporn, S. D. Minteer *ACS Catal.* **2022**, 12, 12563-12571.
- [5] Z. Hagheh Kavousi, A. B. Abderrahmane, M. Ghorbanloo, S. Tingry, D. Cornu, M. Bechelany, Y. Holade *Electrochim. Acta*. **2024**, 490, 144275.

PACEEP 28 : A Sensitivity study on PEMFC short-stacks for HD transport

**Marine Trégaro¹, Sylvie Escribano¹, Rami Al-Khamissi², Pawel Gazdzicki²,
Eva Fensterle³, Florian Wilhelm³**

¹ Univ. Grenoble Alpes, CEA, LITEN, DEHT, 38000, Grenoble, France

² German Aerospace Center (DLR), Institute of Engineering Thermodynamics, 70569
Stuttgart, Germany

³ Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW),
89081 Ulm, Germany

The RealHyFC project aims to enhance PEMFC stacks in the scope of heavy-duty application. One of its objectives is to develop models related to the optimisation of the fuel cell system operation, considered through an extensive study of sensitivity of several PEMFC short stacks conducted at different partners (CEA, DLR, ZSW). This talk will focus on the results of these sensitivity tests.

The sensitivity test is performed right after a set of electrochemical characterizations, on the following operating conditions: stack temperatures, relative humidity rates, pressures, stoichiometric ratios, all applied at four current densities. Hydrogen and air parameters are coupled. All possible combinations define a complete design of experiment of 960 points, which permits a quite robust analysis. What's more, possible performance degradation is characterized along the test to isolate it from the impact of studied parameters. Tests are performed on 10-cell stacks of about 300 cm², assembled with the same project-custom-made MEA, with different bipolar plates designs.

Some influences are straightforward, such as the increase of performance with pressure or stoichiometry. Some others seem to be dependant on overall conditions, such as humidity (Figure 1).

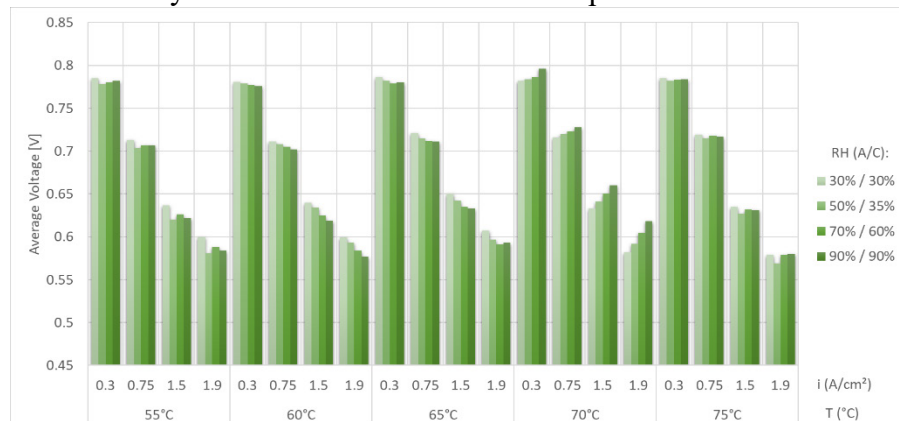


Figure 10: Average cell voltage depending on the current density, temperature and relative humidity at 2.6/2.5 bar (A/C) at a

Depending on the stack temperature, the increase of relative humidity can either decrease performance (at 55-65°C), increase it (at 70°C) or have minor impact (at 75°C). Such combined effect was also witnessed with pressure. The influence of stoichiometry however, seemed quite un-impacted by the change of other conditions.

The presentation will detail the analysis of the influence of each parameter and their combinations on the performance of those stacks (which were similar at beginning of test), while trying to separate the properties related to the MEA from those that could come from the stack design.

The authors wish to acknowledge the participation of PowerCell and IRD Fuel Cell for material supply and their involvement in protocol definition. The RealHyFC project is supported by the Clean Hydrogen Partnership and its members Hydrogen Europe and Hydrogen Europe Research under GA 101111904.

PACEEP 29 : PEMFC95 : Medium temperature PEMFC: impact of the drying processes of catalyst layers on their microstructure and performance

V. Claman-Cenac¹, C. Nayoze-Coynel¹, M. Prat², M. Quintard², J. Pauchet¹ *1Univ. Grenoble Alpes, CEA, LITEN, DEHT, 38000, Grenoble, France 2Toulouse Institute of Fluid Mechanics (IMFT), 31400, Toulouse, France*

The national French project PEMFC95 [1] aims at developing and characterizing PEMFC materials able to operate sustainably at 95°C (standard is 80°C) and thus more suitable and attractive for Heavy-Duty application (buses, trucks, trains...). It is supported by the French programme 'Programme et Equipements Prioritaires de Recherche sur l'hydrogène décarboné' (PEPR-H2).

This thesis aims to improve the performances of medium-temperature PEMFCs through modification of the catalyst layer (CL) drying process. Literature reports that higher drying temperatures enhance electrochemical performances of polarization curves ($> \sim 0.6$ V) by increasing porosity and modifying pore size distribution. Based on these principles, we seek to modify the structuration mechanisms defined by the solvent phase during drying (evaporation or boiling mechanism). This strategy relies on the liquid-vapor phase diagram of the solvent corrected by the Kelvin equation to take into account small radius pores (from 2 to 100 nm). This way, we can define operating conditions (temperature and pressure) that preferentially place the solvent in liquid or vapor phase within the porous matrix.

Two strongly different drying protocols were implemented and compared: drying at 25° C on a heating plate and drying at 106° C in a vacuum oven. Performances were evaluated in a differential cell and microstructure was analysed by SEM. Contrary to expectations from the literature, no notable performance improvement has been observed between the two conditions, and the analysed SEM images revealed similar microstructures. These results suggest that controlling the solvent phase during drying was not sufficient to modify the CL structure. Several hypotheses are considered and will be discussed. Among them, the use of a different ionomer and/or catalyst could improve bonding between particles and limit the structural reorganization of the CL during drying. It is also possible that the CL structure is fully defined during the first minute of drying (time required for condition equilibration), which would prevent any further evolution. These interpretations remain to be validated through complementary analyses.

[1] <https://www.pepr-hydrogene.fr/projets/pemfc95/>

PACEEP 30 : Carbon-capped PtNi/C as active and durable oxygen reduction reaction catalysts in hot and dry PEMFC conditions

Quentin Labarde¹, Thomas Gaumont¹, Laetitia Dubau¹, Fabrice Micoud², Marian Chatenet¹

¹Laboratoire d'électrochimie et de physico-chimie des matériaux et des interfaces (LEPMI) – Univ. Grenoble Alpes, 38000 Grenoble, France

²Univ. Grenoble Alpes, CEA, Liten, 38000 Grenoble, France

To date, even though PEMFCs have been identified for decarbonized heavy mobility applications, massive efforts are still needed to make them competitive with internal combustion engines [1]. A particular endeavor is currently to increase the temperature of operation from *ca* 70-80°C to *ca* 90-100°C, to meet the requirements of the heavy-duty mobility. Conceiving and fabricating catalyst materials that show high performance and durability in these conditions is challenging.

To that goal, it has been decided to alloy Pt to a 3d metal (Ni) to enhance the Oxygen Reduction Reaction activity and to cap these PtNi nanoparticles by carbon to enhance their resistance to metal dissolution and particles sintering. Such carbon-capped PtNi nanoalloys catalysts (Figure 1.A,B) have been elaborated using a novel and simple dry synthesis pathway [2] consisting of the blending of a commercial Pt/Gr.C catalyst (Pt nanoparticles supported on graphitized carbon black) with a Ni-chelate precursor, followed by heat-treatment [3]. This strategy enables both structure and composition flexibility for the alloyed PtNi nanoparticles and the surrounding carbon cap. The activations of these carbon-capped catalysts, either electrochemically, or chemically through suitable acid treatments, which are crucial steps to allow the accessibility of reactants to the catalytic sites, will be presented. The activated materials demonstrate good activity and durability compared to commercial catalysts in a liquid electrolyte [4]. Furthermore, they have been integrated into a PEMFC differential single cell. The break-in procedure and polarization curves under different relative humidity and cell temperature conditions will be presented. After such necessary steps, the PtNi@C/Gr.C catalysts outperform the mother commercial benchmark (Pt/Gr.C), especially in dry and hot PEMFC conditions (Figure 1.C) [5]. Accelerated stress tests under various conditions have also been conducted, and the results, along with *post mortem* characterizations, will be discussed.

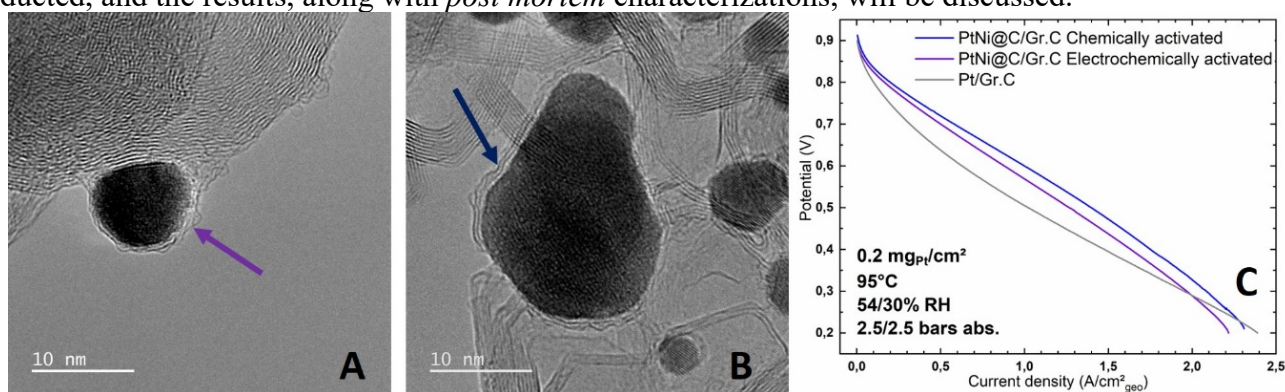


Figure 1: (A) TEM micrographs of PtNi@C/Gr.C nanoparticles heat-treated at 900°C; (B) The same catalyst after activation by acidic treatment; (C) Polarization curves in differential cell in hot and dry conditions for the mother catalyst Pt/Gr.C and PtNi@C/Gr.C activated chemically ex-situ or electrochemically in-situ.

Acknowledgements: This work was funded by the “France 2030” government investment plan managed by the French National Research Agency, under the reference “ANR-22-PEHY-0005” (PEMFC95).

References:

- [1] Wang Yun et al., *Advances in Applied Energy* 2 (2021) 100011
- [2] M. Chatenet et al., Patent EP4184620A1, WO2023/088965)
- [3] R. Sgarbi et al., *Electrocatalysis* 14 (2023) 267
- [4] Q. Labarde et al., *Electrocatalysis* 16 (2025) 117
- [5] Q. Labarde et al., *Electrochimica Acta* 537 (2025) 146910

PACEEP 31 : Multiscale porous carbon supports for PEMFC electrocatalysts

M. Han¹, M. Heitzmann¹, F. Duclairoir², H. Mendil-Jakaniz, L. Dubois²

¹ Univ. Grenoble Alpes, CEA, Liten, DEHT, 38000 Grenoble, France

² Univ. Grenoble Alpes, CEA, Irig, DIESE, 38000 Grenoble, France

Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFC) are devices that produce electricity and heat from hydrogen and oxygen. They are foreseen to replace combustion engines in the future. However, they currently lack strong performances and durability. The cathode, one of the most critical component, is made of a nanostructured porous carbon layer decorated with electrocatalysts. Such mesoporous materials provide high specific surface area and encapsulates the electrocatalysts nanoparticles (Pt NPs), slowing down the degradation coming from NP coalescence, detachment or Ostwald ripening. However, upon electrochemical cycling, their small pores hamper the diffusion of species to the electroactive sites, thus limiting the performances of the PEMFC.

In our laboratory, we aim at developing graphene-based aerogels (GBA) which are carbons that are expected to show high durability since they display larger graphitic domains than regular porous activated carbon and could provide more stable anchoring sites for NPs. They are characterized by a hierarchical porosity, which should enable the fast diffusion of species through the larger macropores (up to 100 μm) to the interconnected micro and mesopores (1-100 nm) where the electrocatalysts NPs are located. We functionalize these carbons with Pt nanoparticles controlled in size and dispersion for the electrocatalysis of the oxygen reduction reaction. We then investigate the impact of the materials porosity on the electrochemical performances and durability of the PEMFC.

In this presentation, we will describe the different synthesis process specifically developed to design these materials with controlled surface chemistry and structure. The correlation between these materials porosity and electrochemical performances will then be discussed.

PACEEP 32 : Electro-catalyseurs à base d'ions cobalt et de métaux de transition du groupe VI pour la réaction d'évolution de l'oxygène (OER)

Lucica Gabriela Boc^{1,2,3}, Clément Falaise², Loïc Assaud^{1,3}

¹ Université Paris-Saclay, ICMO, CNRS, 17 avenue des Sciences, 91400 Orsay

² Université Paris-Saclay, ILV, UVSQ, CNRS, 45 avenue des Etats Unis, 78000 Versailles

³ Université Paris Sciences & Lettres, IMAP, 10 rue Vauquelin, 75005 Paris

La production d'hydrogène par électrolyse de l'eau est une technologie attractive pour produire de l'hydrogène avec un faible impact environnemental. Parmi les différentes technologies d'électrolyse, les électrolyseurs d'eau à membrane échangeuse de protons (PEMWE) présentent de nombreux avantages : fonctionnement à haute densité de courant, température de travail proche de l'ambiante (<100°C), haute pureté de l'hydrogène produit, compacité et compatibilité avec une alimentation intermittente de type énergie renouvelable^{1–3}. Afin de rendre cette technologie moins coûteuse et plus abordable à une grande échelle, il est nécessaire de développer des électro-catalyseurs anodiques capables de remplacer l'oxyde d'iridium actuellement utilisé dans ces systèmes pour la réaction d'évolution de l'oxygène (OER). Au cours de cette communication, nous présenterons les potentialités d'oxydes de métaux de transition combinant des ions cobalt avec des métaux du groupe VI (**Mo6+** et **W6+**). Au cours de cette présentation, nous aborderons i) une approche moléculaire avec des assemblages (**Co-POM**) d'ions cobalt et de polyoxométalates⁴ (Figure A), ii) une approche basée sur l'incorporation de métaux du groupe VI au sein d'un film de phosphate de cobalt⁵ et iii) les performances des catalyseurs développés pour la réaction OER (Figure B).

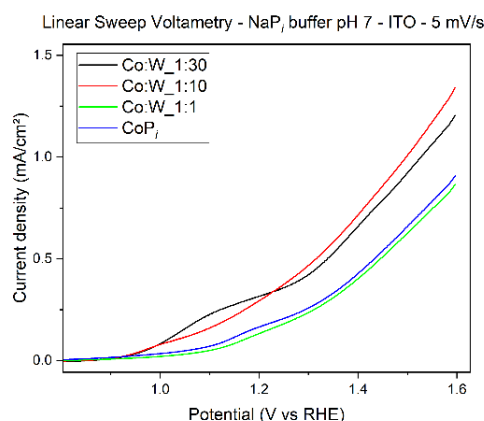
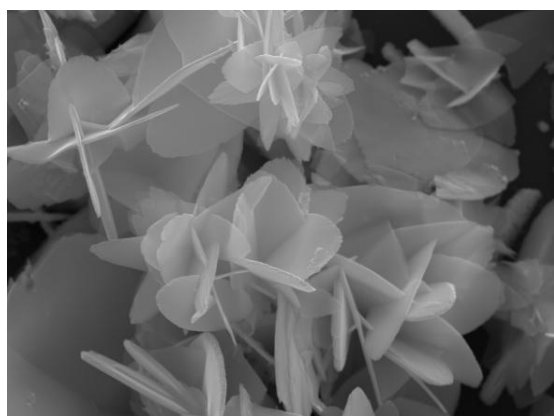


Figure : A/ Image de microscopie électronique à balayage d'un film d'assemblage de cobalt et polyoxométalates (Co-POM), B/Comparaison de l'influence du W6+ sur les performances électrocatalytiques en phase hétérogène.

Références :

- (1) Carmo, M. et al. *Int. J. Hydrog. Energy* **2013**, 38 (12), 4901-4934.
- (2) Feng, Q. et al. *J. Power Sources* **2017**, 366, 33-55.
- (3) Chatenet, M. et al. *Chem. Soc. Rev.* **2022**, 51 (11), 4583-4762.
- (4) Goberna-Ferrón, S. et al. *Inorg. Chem.* **2012**, 51 (21), 11707-11715.
- (5) Kanan, M. W. et al. *Science* **2008**, 321 (5892), 1072-1075.

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'Etat au titre de France 2030 (projet CMA HTASE) portant la référence "ANR-23-CMAS-0030" via l'Institut de l'Energie Soutenable de l'Université Paris-Saclay.

PACEEP 33 : Growth of Mo₂C-based Electrocatalysts onto Carbon Felt for Alkaline HER process

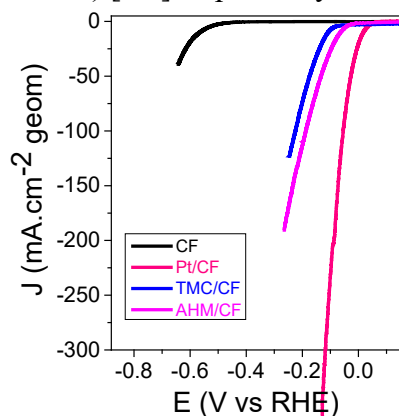
Corinne Lagrost,^{*1,2} Guillaume Dubois¹ Franck Tessier¹, Stéphane Cordier¹, Fabien Grasset³

¹ Univ Rennes, CNRS, ISCR (Institut des Sciences Chimiques de Rennes) – UMR6226, F-35000 Rennes, France

² Univ Rennes, CNRS, ScanMAT – UAR 2025, F-35000 Rennes, France

³ CNRS-Saint-Gobain-NIMS, IRL 3629, Laboratory for Innovative Key Materials and Structures (LINK), NIMS, Tsukuba 305-0044, Japan
Corinne.lagrost@univ-rennes.fr

Efficient electrochemical splitting of water into H₂ and O₂ is a promising strategy for producing clean, safe and sustainable H₂. Alkaline water electrolysis (AWE) is a mature technology, with the advantage of using cheap catalytic materials (Ni) while PEM technology displays better catalytic performance and higher versatility but with expensive Pt-based materials. Mo-based materials are considered as alternative to platinoids catalysts because they present many advantages including unique surface and electronic properties, high catalytic activity, high selectivity, high sulfur and nitrogen tolerance, and low cost (200x cheaper than Pt in 2023).[2,3] Importantly, Mo was not classified as critical materials by the European Union contrariwise to



Pt-group metals or Ni. Among these Mo-based materials, molybdenum carbide (Mo₂C) is particularly interesting towards electrochemical HER applications.[3] Mo₂C is a well-known refractory ceramic whose electronic structure akin to Pt make it very appealing as HER electrocatalysts, leading to a wealth of research to improve the activity of the catalytic materials in acidic media as well as in alkaline media.

Herein, Mo-based electrocatalysts are grown onto carbon felt. This combination permits to propose a self-supported material free of nickel and binder. The synthetic pathways will be described and the resulting modified carbon felts will be thoroughly characterized with a combination of techniques (Raman spectroscopy, XPS, DRX, SEM). The electrocatalytic activities in aqueous alkaline solutions of the modified carbon be evaluated and discussed in the light of the synthetic route prepare the catalysts.

felts will
used to

Fig. Voltammograms in 1 M KOH of carbon felt (CF) modified with Mo₂C materials (TMC/CF and AHM/CF), comparison with Pt deposited onto CF (Pt/CF) and carbon felt alone.

References

- [1] L. Tian *et al.*, [Recent progress in water-splitting electrocatalysis mediated by 2D noble metal materials](#), *Nanoscale* 2021, 13, 12088.
- [2] W. Hua *et al.*, [A review and perspective on molybdenum-based electrocatalysts for hydrogen evolution reaction](#), *Rare Met.* 2020, 39, 335.
- [3] S. Upadhyay *et al.*, [Synthesis and electrochemical applications of molybdenum carbide: Recent progress and perspectives](#), *J. Electrochem. Soc.*, 2022, 169, 016511.

PACEEP 34 : *Operando* study of nickel electrode interfacial properties during hydrogen oxidation/evolution: surface state and local pH dynamics

Amandine BRIGE,^a Mathieu GERVAIS,^a Paul CHASSAGNE,^a Antoine BONNEFONT,^b Angel BOCHS-CRUZ,^c Fabrice BOURNEL,^c Jean-Jacques GALLET,^c Elena SAVINOVA,^a Alexandr OSHCHEPKOV,^{a,d} Tristan ASSET^a

^aInstitut de Chimie et Procédés pour l'Energie, l'Environnement et la Santé, 67087 Strasbourg

^bLab. d'Electrochimie et Physicochimie des Matériaux et des Interfaces, 38402 St Martin d'Hères

^cLaboratoire de Chimie Physique – Matière et Rayonnement, 75005 Paris

^dCBI, ESPCI Paris, Université PSL, CNRS, 75005 Paris

Nickel-based electrocatalysts are considered the most promising cost-effective alternative to scarce and expensive noble metals like platinum for hydrogen evolution (HER) and oxidation reactions (HOR) in alkaline media. However, their HER/HOR performance is tightly linked to the nickel surface state, the highest reactivity being observed at ~30% coverage by NiO_x (NiO or β-Ni(OH)₂) for polycrystalline surfaces. [1] Under the HER/HOR potentials, fluctuations in NiO_x surface concentration and local pH can both affect the kinetics of the HER/HOR.

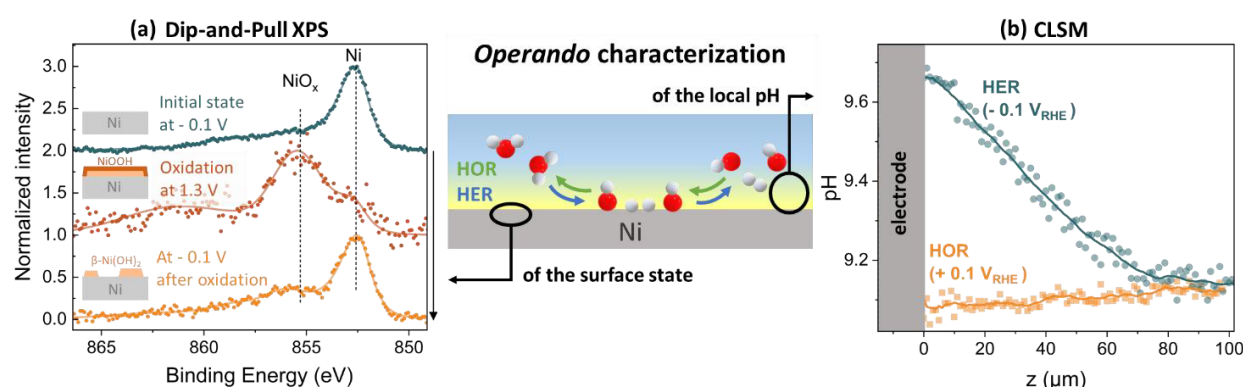


Figure 1. Overview of operando measurements performed on nickel during HER/HOR: (a) XP spectra of Ni 2p_{3/2}, (b) pH distribution at the vicinity of the electrode.

In this work, we used Dip-and-Pull X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS) to probe *operando* the evolution of the Ni surface state as a function of applied potential in 0.1 M KOH, starting from a fully metallic electrode and following the growth of the NiO_x layer. The metastable nature of the latter under HER conditions was confirmed by the observation of its substantial yet incomplete reduction at -0.1 VRHE, (**Fig.1a**) the remaining NiO_x coverage being dependent on the conditions of the oxidative pre-treatment. We complemented this study with confocal laser scanning microscopy (CLSM) measurements, which allow to monitor the changes of local pH during HER and HOR by means of pH-sensitive fluorescent dyes. This work evidenced the pH dynamics at the interface and throughout the diffusion layer as a function of potential (**Fig.1b**). These results provide insights into the dynamic behavior of Ni electrode/electrolyte interface, whose understanding is essential for the development of stable and efficient nickel-based catalysts for hydrogen technologies.

[1] A.G. Oshchepkov, A. Bonnefont, E.R. Savinova, *Electrocatalysis* **2020**, *11*, 133-142.

PACEEP 35 : Carbon Shells for Poison Tolerant Pt-based PEMFC Catalysts

Weliton S. Fonseca, Franck K. Bouho, Sirine B. Latifa, Têko W. Napporn, Christophe Coutanceau

CNRS, Université de Poitiers, Institut de Chimie des Milieux et Matériaux de Poitiers-IC2MP, Poitiers, France

E-mail : weliton.silva.fonseca@univ-poitiers.fr

Catalysts based on noble metals have been the fuel cell industry standard for the last few decades, not only because of their high activity but also for easier system integration due to their resistance to corrosion in acidic medium and minimal formation of subproducts that can degrade the membrane. Nevertheless, the catalysts responsible for the hydrogen oxidation reaction (HOR) are still susceptible to poisoning from impurities present in the hydrogen fuel: CO and H₂S, that bind to noble metals at low potentials and require energy to be oxidized, decreasing the power output, CO₂ that can convert to CO at anodic potentials¹ and oxygen that can compete for the active catalytic sites decreasing the performance, and degrading the cathode through the carbon corrosion reaction (COR). Therefore, the nanoengineering of materials and rational design of catalysts is fundamental for the improvement of their performance and resistance. Here, we used a simple one-step synthesis strategy based on the coordination of noble metals with citric acid and urea to create a sub-nanometric protective nitrogen doped carbon (NC) shell on highly active PtRu catalysts for the HOR at PEMFC anode. This modification significantly reduced the kinetics of poisoning by O₂, CO and CO₂ due to the molecular sieve effect of the shell² as evidenced by *In-situ* Fourier Transform Infrared combined with electrochemical characterizations, identical location transmission electron microscopy demonstrated that the catalyst presented enhanced durability during Accelerated Stress Test (AST) retaining high HOR activity.

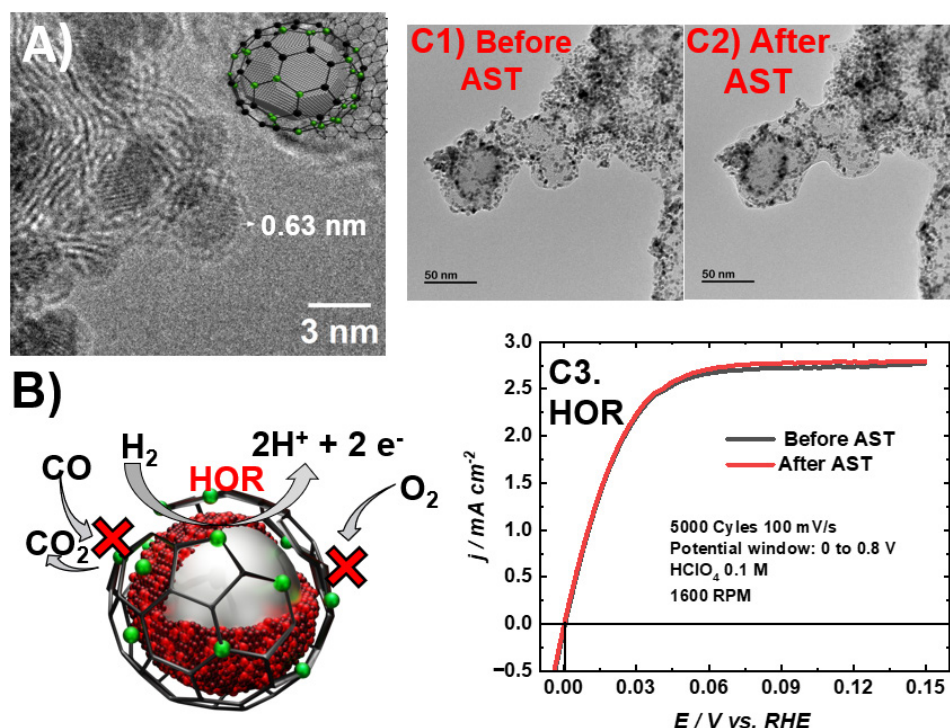


Fig. 1 A) TEM Images and schematic representations of the catalyst, B) Schematic representations of the catalyst, C1 and C2 Identical location TEM after

Acknowledgement. This work was performed in the framework of the PEMFC95 project funded by the “France 2030” government investment plan managed by the French Research Agency, under the reference “ANR-22-PEHY-0005”.

References

1. T. Smolinka, M. Heinen, Y. Chen, Z. Jusys, W. Lehnert and R. Behm, *Electrochimica Acta*, 2005, **50**, 5189-5199.
2. J. Min, S. Kim, A. A. Jeffery, H. Shin, Y. S. Kang, Y. Kim, J. Jang, S. Lee, S.-H. Park and G.-G. Park, *Materials Today Energy*, 2022, **29**, 101124.

PACEEP 36 : Tuning the intrinsic catalytic activity of W and V doped MoS_x for hydrogen evolution reaction

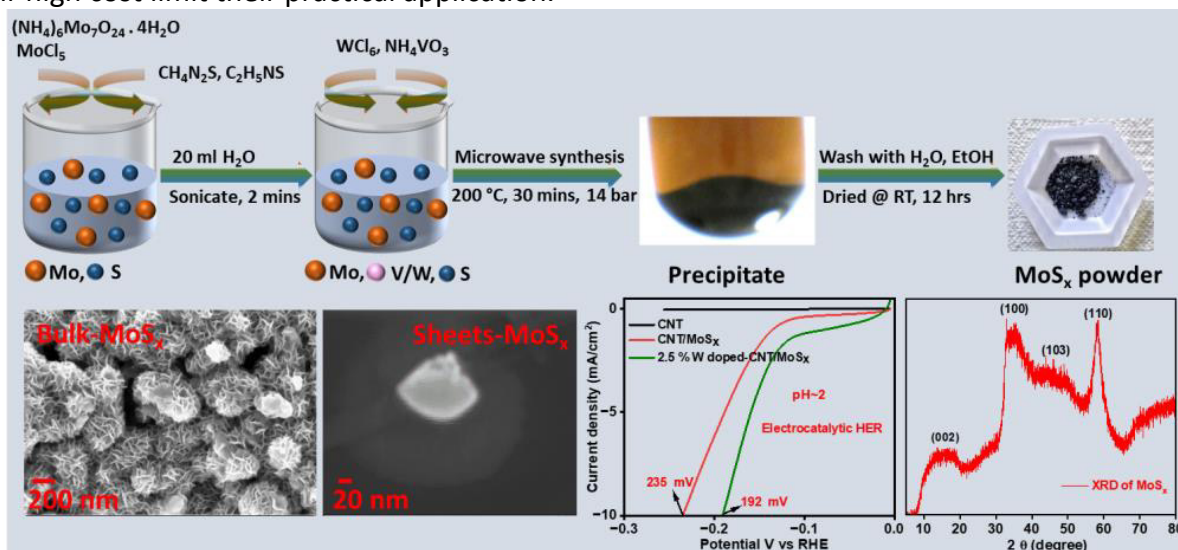
Ching-Thian Moi 1,2, Céline Rivaux¹, Adina Moroza², Vincent Artero², Pascale Chenevier¹

1 Univ. Grenoble Alpes, CEA, CNRS, Grenoble INP, IRIG, SYMMES, 38000 Grenoble, France ;

pascale.chenevier@cea.fr

2 Univ. Grenoble Alpes, CNRS, CEA, IRIG, Laboratoire de Chimie et Biologie des Métaux, 38000 Grenoble, France

With low CO₂ emission and high energy density, green hydrogen is an alternative source to replace fossil fuels. At present, noble metals (Ir, Ru, Pt) and their oxides are the most effective electrocatalysts for hydrogen production from water via the hydrogen evolution reaction (HER) and the oxygen evolution reaction (OER), due to their high current density and low overpotential requirement. 1, 2 However, scarcity and their high cost limit their practical application.



Molybdenum disulfide (MoS₂) is considered as a potential electrocatalyst to replace precious metals for HER, due to its availability and stability.¹ However the active sites of MoS₂ are only localized to the edges of the crystallites, while the basal planes are catalytically inert. Thus, numerous methods such as doping, phase engineering and heterostructure approaches are proposed to improve its performance. Element doping is another promising solution to activate the catalytically inert in-plane hexagonal MoS₂ for efficient hydrogen adsorption besides promoting charge transport and modulating electron mobility. ²

Here, we describe the *in situ* synthesis of amorphous W- or V-doped MoS_x via a one-step microwave synthesis. To alter the mechanical, electronic and electrochemical properties, the bulk material is further exfoliated using sonication in solution and microwave treatment.^{1,2} Electron microscopy and atomic force microscopy show the decrease in size from bulk MoS_x to few-layers crystallites. W- and V-doping improved the catalytic efficiency of the exfoliated materials by reducing the overpotential to reach 10 mA/cm² in H₂SO₄ (pH~2) from 235 to 192 mV.

Further work is now devoted to depositing exfoliated doped-MoS_x materials onto a transparent conductive electrode in contact with a light-harvesting semi-conductor for photoinduced hydrogen production within the European project PH2OTOGEN (ph2otogen.eu). This project is cofunded by the Clean Hydrogen Partnership and the European Union (grant number HORIZON-JTI-CLEANH2-2023-01-04).

References

1. Moroza, A.; Johnson, H.; Roiron, C.; Genay, G.; Aldakov, D.; Ghedjati, A.; Nguyen, C. T.; Tran, P. D.; Kinge, S.; Artero, V. Nonprecious Bimetallic Iron-Molybdenum Sulfide Electrocatalysts for the Hydrogen Evolution Reaction in Proton Exchange Membrane Electrolyzers. *ACS Catal.* 2020, 10 (24), 14336–14348, DOI: 10.1021/acscatal.0c03692
2. Quirós-Ovies, R.; Laborda, M.; Martín Sabanés, N.; Martín-Pérez, L.; Moreno-Da Silva, S.; Burzurí, E.; Sebastian, V.; Pérez, Emilio M.; Santamaría, J. Microwave-Driven Exfoliation of Bulk 2H-MoS₂ after Acetonitrile Prewetting Produces Large-Area Ultrathin Flakes with Exceptionally High Yield. *ACS Nano* 2023, 17, 5984–5993

PACEEP 37 : AFM characterization of TiO_xN_y thin films applied to BPP and PTL in a PEM water electrolyzer

Divino Salvador Ramirez-Rico^a, Khaoula Chergui^b, Stéphane Rioual^b, Benoit Lescop^b, Loïc Assaud^c

^a ICMO-ERIEE, Université Paris-Saclay, UMR CNRS 8182, 91405 Orsay, France

^b Univ Brest, CNRS, Lab-STICC - UMR 6285, Brest/France

^c IMAP, University Paris Sciences & Letters, ESPCI, CNRS, ENS, 10 rue Vauquelin, 75005 Paris, France

To make green hydrogen production more economical, the electrolyzer stack's cost must be reduced, with about 68% of it due to Bipolar Plates and the Porous Transport Layer. [1], which are traditionally manufactured from titanium [2]. A proposition involves replacing Ti with Stainless Steel 316L (S316L); however, on the anode side, the combination of low pH and high potential can cause corrosion. To protect it, a low-cost anti-corrosion coating such as TiO_xN_y [3] should be deposited. Mono- and multilayer coatings were deposited onto S316L using Physical Vapor Deposition (PVD), a fast and cost-effective technique.

The films were characterized using AFM in PeakForce QNM and PeakForce TUNA modes, which measure mechanical properties like roughness and Young's modulus. This helps predict how mono- and multilayer films behave, especially how layer thickness affects conductivity, crucial for PEMWE. Observations indicated that lower Young's modulus correlates with higher conductivity (Figure 1).

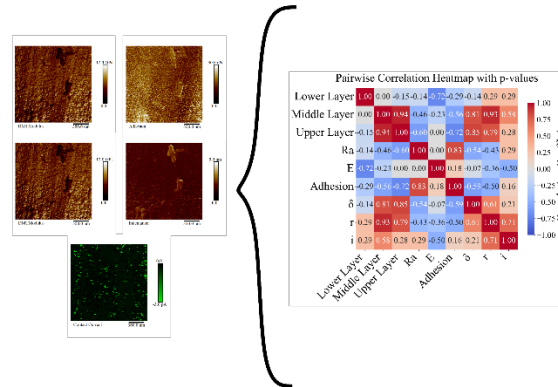


Figure 1 - Example of AFM images and heatmap showing the correlation between properties.

References

1. Babic, U., et al., *Critical Review—Identifying Critical Gaps for Polymer Electrolyte Water Electrolysis Development*. Journal of The Electrochemical Society, 2017. **164**(4): p. F387-F399.
2. Yu, Z., et al., *Enhanced performance of Ti–Nb–N film modified 316L stainless steel and Ti bipolar plates for proton exchange membrane water electrolyser*. Journal of Materials Research and Technology, 2024. **33**: p. 2478-2488.
3. Rojas, N., et al., *Coated stainless steels evaluation for bipolar plates in PEM water electrolysis conditions*. International Journal of Hydrogen Energy, 2021. **46**(51): p. 25929-25943.

Authors acknowledge support from the French National Research Agency (ANR) under France 2030 program (ANR-22-PEHY-0009).

PACEEP 38 : Direct Seawater Electrolysis with Stabilized High-Performance NiCr Anodes

Hiba Saadaa,b, Bruno Fabrea, Gabriel Logetc, Gwénaëlle Benoith, Joudi Dabboussia and Corinne Lagrosta

aCNRS, ISCR (Institut des Sciences Chimiques de Rennes)–UMR6226, Univ Rennes, Rennes F-35000, France

bEKIUM - 50 rue Antoine de Saint-Exupéry, 29490 Guipavas, France

cUniv. Bordeaux, CNRS, Bordeaux INP, ISM-UMR 5255, Pessac 33607, France

E-mail: hiba.saadaa@univ-rennes.fr

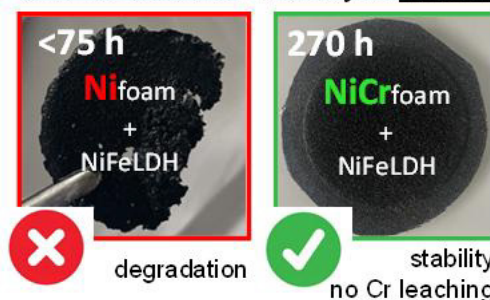
Keywords: Dihydrogen, Alkaline Seawater Electrolysis, NiCr-based Anodes

Dihydrogen (H_2) is considered a promising energy carrier for decarbonization [1]. Seawater, which is abundant and economically viable, is identified as an opportunity for green H_2 production [2]. Currently, alkaline electrolysis offers several advantages due to the development of numerous non-noble metal catalysts for seawater splitting and the adoption of novel cell configurations [3]. However, alkaline seawater electrolysis (ASE) faces challenges arising from the complex composition of seawater, particularly the presence of dissolved salts and ions that can influence the electrolysis process [4]. At the anode, the chlorine evolution reaction (CIER) can compete with the oxygen evolution reaction (OER), as they have similar thermodynamic equilibrium potentials [5]. Nickel (Ni), cobalt (Co), iron (Fe), and molybdenum (Mo) are cost-effective and efficient materials for seawater electrolysis. They have demonstrated good catalytic activity for both the OER and the hydrogen evolution reaction (HER) [6].

In my presentation, I will introduce new electrocatalysts supported on nickel-based substrates for the OER and HER in ASE. I will present NiFe layered double hydroxide (LDH) catalyst grown on novel alloyed porous support, namely nickel chromium foam (NiCrF), through a one-step hydrothermal method. The NiCrF/NiFeLDH anode demonstrates high resistance to chloride corrosion during ASE, with minimal Cr leaching in the electrolyte and long-term efficiency. In contrast, the nickel foam (NiF) based anode NiF/NiFeLDH degrades in less than 75 hours [7].

A $NiMoO_4$ catalyst, treated under H_2 and deposited on NiF is employed as the cathode [8]. The assembled two-electrode system comprising NiCrF/NiFeLDH and NiF/ $NiMoO_4$ - H_2 , separated by a conventional diaphragm, achieves long-term stability for 270 h at 100 mA cm^{-2} and a Ohmic drop-corrected voltage of 1.6 V at 50°C [7]. These results open opportunities for direct seawater electrolysis and evidence the synergistic interplay between the electrode support and the OER electrocatalyst for improving anodic lifetime at high current densities in alkalized seawater.

alkaline seawater electrolysis anodes



PACEEP 39 : Fe Single Atoms on MoS₂ for Efficient Hydrogen Production in PEM Electrolyzers

Zakaria Anfar¹, Haitham Maslouh^{1,2,3}, Mathilde Moderne¹, Jiefeng Liu¹, Yuwei Yang⁴, Loïc Assaud^{2,3}, Mikhael Bechelany¹, Chrystelle Salameh¹, Nicholas M. Bedford^{4,5}, Damien Voiry¹

¹*Institut Européen des Membranes, IEM, UMR 5635, Univ Montpellier, CNRS, ENSCM, 34095 Montpellier Cedex 5, France*

²*Institut de Chimie Moléculaire et des Matériaux d'Orsay (ICMMO) – ERIIE, Université Paris Saclay, CNRS, 17 Avenue des Sciences, 91400 Orsay, France*

³*Institut des Matériaux Poreux de Paris, Univ. PSL, ESPCI, ENS, CNRS, 10 rue Vauquelin, 75005 Paris, France*

⁴*School of Chemical Engineering, The University of New South Wales, Sydney, NSW 2052, Australia*

⁵*Department of Chemistry, Colorado School of Mines, Golden, CO 80401 USA*

Transition metal chalcogenides are among the most promising platinum group metal catalysts-free (PGMs-free) for hydrogen production in proton exchange membrane water electrolyzers (PEMWEs). However, achieving both high activity and long-term stability remains a critical challenge for their practical deployment. In this work, we report a cysteine-based functionalization strategy to synthesize a robust iron single atom supported on molybdenum disulfide (Fe_MoS₂). Spectroscopic analyses reveal that the Fe atoms, coordinated by sulfur atoms from cysteine, are stably anchored at atop sites on the MoS₂ lattice. The Fe doping tunes the electronic structure of MoS₂, enhancing its hydrogen adsorption properties and electrochemical durability during the hydrogen evolution reaction (HER). *Operando* and open-cell measurements conducted under acidic conditions demonstrate that Fe_MoS₂ exhibits a reduced onset potential and superior stability, attributed to the specific atop positioning of Fe atoms on the MoS₂ nanosheets. When integrated into a 25 cm² PEMWE cell, the Fe_MoS₂ catalyst enables high performance, delivering 2 A cm⁻² at 2.1 V. Notably, the system maintained excellent operational stability over 160 hours at a current density of up to 0.5 A cm⁻² and under stress conditions, confirming the durability of the engineered catalyst under industrially relevant conditions.

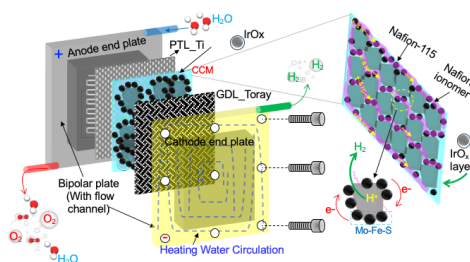


Figure 1. Proton exchange membrane water electrolyzers (PEMWE) configuration

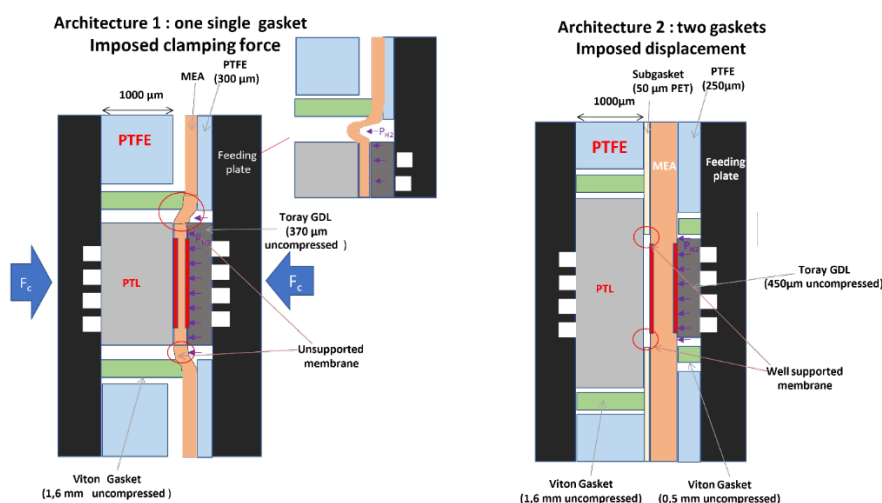
This research was supported by the “France 2030” program of the French National Research Agency, NAUTILUS Project (Grant no. ANR-22-PEHY-0013) and COSTO Project (Grant no. ANR-22-PEHY-0009).

PACEEP 40 : Effet de la pression cathodique et de l'architecture de la cellule sur la perméation d'hydrogène et les performances d'un électrolyseur PEM

Kolo Hamadou SORO, Giuseppe SDANGHI, Jérôme DILLET, Kevin MOZET, Tien Dung LE, Gael MARANZANA

Université de Lorraine, LEMTA, 2 Av. de la Forêt de Haye, 54500 Vandœuvre-lès-Nancy

L'optimisation des électrolyseurs à membrane échangeuse de protons pour un fonctionnement sous haute pression est un levier stratégique pour la production et la compression directe de l'hydrogène. Les effets des pressions cathodiques inférieures ou égales à 30 bar sont bien documentés [1, 2], par contre les pressions supérieures restent peu explorées. Cette étude examine l'impact de la pression cathodique jusqu'à 100 bar, sur la perméation d'hydrogène, le rendement faradique, le bilan d'eau et les performances sur deux architectures différentes de cellule.



L'architecture 1 présente l'avantage d'être plus simple puisqu'elle ne nécessite qu'un seul joint mais certaines zones non actives de la membrane (sur le pourtour de la PTL A&B) ne sont pas supportées. Sous l'effet de la pression d'hydrogène, la membrane peut donc être enfoncée entre la PTL et le joint. La traction que subit la membrane peut être à l'origine d'une perméation importante. En revanche, l'architecture 2, avec deux joints et un film PET (50 µm), offre un support continu de la membrane. Le PET améliore la portée de joint en empêchant l'enfoncement de la membrane dans les pores de la PTL sous forte pression.

Sous pression cathodique croissante jusqu'à 100 bar, l'architecture 2, a présenté de meilleurs résultats en terme de perméation de l'hydrogène, avec une concentration en hydrogène plus faible dans le flux d'oxygène (<2 %) et aucune chute de tension même à haute pression quel que soit la densité de courant. À l'inverse, l'architecture 1 a montré une accumulation importante d'hydrogène dans l'Oxygène (jusqu'à 3 %). Pour les deux architectures, on observe une diminution du coefficient d'électroosmose lorsque la pression cathodique augmente, quel que soit le niveau de densité de courant. Cette tendance s'explique par la compression de la membrane sous l'effet de la pression, ce qui réduit la taille des canaux hydrophiles et limite ainsi le transport de l'eau par électroosmose.

En conclusion l'architecture 2 se distingue nettement de l'architecture 1 grâce à une meilleure conception. Le film PET et les deux joints assurent un bon maintien de la membrane, évitant sa déformation sous pression et garantissant une meilleure étanchéité. Ces améliorations permettent de limiter la perméation de l'hydrogène et d'assurer une bonne stabilité électrique, même à haute pression.

[1] B. Bensmann, R. Hanke-Rauschenbach, et K. Sundmacher, « In-situ measurement of hydrogen crossover in polymer electrolyte membrane water electrolysis », International journal of hydrogen energy, vol. 39, no 1, p. 49-53, 2014.

[2] J. Dang et al., « Hydrogen crossover measurement and durability assessment of high-pressure proton exchange membrane electrolyzer », Journal of Power Sources, vol. 563, p. 232776, avr. 2023, doi: 10.1016/j.jpowsour.2023.232776

PACEEP 41 : Caractérisation in situ d'une cellule d'électrolyse à membrane échangeuse de proton fonctionnant à plus haute température (jusqu'à 150°C)

W. Abderrahmane, F. Xu, J. Dillet, S. Didierjean, G. Sdanghi, G. Maranzana

LEMTA, Université de Lorraine, CNRS, F-54000 Nancy, France

Les électrolyseurs à membrane échangeuse de proton (PEM), utilisant généralement des membranes à base d'acide perfluorosulfonique (PFSA), telles que le Nafion® 115, fonctionnent généralement entre 50°C et 80°C [1] pour une meilleure durabilité/longévité de ces matériaux [2,3,4]. Un fonctionnement des électrolyseurs PEM à plus haute température est attractif car l'élévation de la température améliore la conductivité protonique et les cinétiques réactionnelles, réduisant ainsi les pertes ohmiques et d'activation [5]. Cependant la fragilité thermique des PFSA est la principale limite à ce fonctionnement. La température de transition vitreuse du Nafion 115 est d'environ 120°C. Au-delà des modifications structurelles irréversibles peuvent apparaître à très court terme au sein de l'assemblage membrane-électrodes (AME) d'une cellule d'électrolyse, entraînant une dégradation de ses performances [6], voir un perçage de la membrane.

Notre étude a pour objectif de caractériser les divers changements irréversibles pour un AME à base de Nafion® 115, soumis à des rampes de températures contrôlées de 60°C à 150°C. Des cycles successifs de chauffage et refroidissement ont été appliqués, et l'évolution des performances a été suivie par diverses méthodes électrochimiques, incluant les courbes de polarisation, la spectroscopie d'impédance électrochimique et la chronoampérométrie. L'approche adoptée vise à identifier les dégradations subit par l'AME et à déterminer la température critique au-delà de laquelle celles-ci deviennent irréversibles. Les résultats des essais de quelques heures montrent une amélioration des performances globales de la cellule jusqu'à 110°C (baisse de tension de ~60 mV à 1 A/cm²). Au-delà les performances chutent, marquée par une hausse de la résistance interne de la cellule (attribuée à une restructuration du Nafion dans la membrane et dans les électrodes). Enfin, les cycles de montée et descente en température ont identifié 110°C comme la température limite au-delà de laquelle les changements de performances globales de la cellule sont très rapides et irréversibles.

[1] O. Schmidt, A. Gambhir, I. Staffell, A. Hawkes, J. Nelson, S. Few, Future cost and performance of water electrolysis: An expert elicitation study, *Int. J. Hydrogen Energy* 2017, 42, 30470. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.10.045>

[2] M. Carmo, D L. Fritz, J. Mergel, D. Stolten, A comprehensive review on PEM water electrolysis, *Int. J. Hydrogen Energy* 2013, 38, 4901. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.01.151>

[3] J. Kim, A. Ohira, Water Electrolysis Using a Porous IrO₂/Ti/IrO₂ Catalyst Electrode and Nafion Membranes at Elevated Temperatures, *Membranes* 2021, 11, 330. <https://doi.org/10.3390/membranes11050330>

[4] V. Antonucci, A. Di Blasi, V. Baglio, R. Ornelas, F. Matteucci, J. Ledesma-Garcia, L. G. Arriaga, A. S. Aricò, High temperature operation of a composite membrane-based solid polymer electrolyte water electrolyser, *Electrochim. Acta* 2008, 53, 7350. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2008.04.009>

[5] Bonanno M, Müller K, Bensmann B, Hanke-Rauschenbach R, Aili D, Franken T, et al. Review and Prospects of PEM Water Electrolysis at Elevated Temperature Operation. *Adv Mater Technol* n.d.;n/a:2300281. <https://doi.org/10.1002/admt.202300281>.

[6] Steffen Garbe et al 2021 *J. Electrochem. Soc.* 168 044515

PACEEP 42 : Temperature Effects on CO Tolerance: GDE Study with Pt - based PEMFC Catalysts

Sirine B. Latifa, Weliton S. Fonseca, Franck K. Bouho, Têko W. Napporn, Christophe Coutanceau

CNRS, Université de Poitiers, Institut de Chimie des Milieux et Matériaux de Poitiers-IC2MP, Poitiers, France

E-mail: sirine.ben.latifa@univ-poitiers.fr

Abstract:

The proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) is widely regarded as a promising technology for producing clean and efficient energy, with a broad range of potential applications. However, despite significant advances in its development, the activation of the electrochemical reactions at the fuel cell electrodes and the long-term durability of these electrodes remains major obstacles to large-scale commercialization¹. One of the main challenges is the presence of carbon monoxide, which poses a significant barrier to the optimal performance of PEMFCs when hydrogen fuel contains CO impurities. Even trace amounts of carbon monoxide can poison the anode catalyst, drastically lowering its electrochemical activity and overall cell performance. Developing CO-tolerant electrocatalysts and raising the fuel-cell working temperature are therefore among the most effective strategies to overcome this issue. It is well established that platinum-based alloy systems used in these catalysts offer notable resistance to CO contamination in the fuel stream. In particular, PtRu/C catalysts for the Hydrogen Oxidation Reaction (HOR) at PEMFC anode have shown high efficiency in oxidizing CO to CO₂ at lower overpotentials, thanks to their combined bifunctional and electronic effects². This study explored the performance of a gas diffusion electrode (GDE) by conducting cyclic voltammetry and CO stripping measurements at different temperatures, reaching up to 95 °C.

Results indicated that three primary effects resulting from increasing temperature: a shift of CO-oxidation peaks to lower potentials, a decrease in the measured active surface area (ECSA) and an acceleration of the electrochemical kinetics of reactions. An essential aspect of this research is the successful replication of trends observed during membrane-electrode assembly measurements, providing validation of the reliability and efficiency of our GDE approach at elevated temperatures.

Key words: CO-tolerant electrocatalysts, gas diffusion electrode (GDE), Hydrogen Oxidation Reaction (HOR), Proton exchange membrane fuel cell (PEMFC).

Acknowledgement. This work was performed in the framework of the PEMFC95 project funded by the “France 2030” government investment plan managed by the French Research Agency, under the reference “ANR-22-PEHY-0005”.

References:

1. R. L. Borup, A. Kusoglu, K. C. Neyerlin, R. Mukundan, R. K. Ahluwalia, D. A. Cullen, K. L. More, A. Z. Weber, D. J. Myers, *Current Op. Electrochem*, 2020, 21, 192-200.
2. M. Gonzalez-Hernandez, E. Antolini, J. Perez, *Int. J. Hydrogen Energy*, 2020, 45, 5276-5284.

PACEEP 43 : Atomic Layer Deposition of MoS₂ on GaAs/Si:p Epilayers for Efficient Photoelectrochemical Hydrogen Production

Zakaria Anfar¹, Vincent Astie², Fatima Merhi³, FranceYoan Léger⁴, Nicolas Bertru⁴, Jean-Manuel Decams², Bruno Fabre⁵, Gabriel Loget³, Charles Cornet⁴, Chrystelle Salameh¹ and Damien Voiry¹

¹*Institut Européen des Membranes, IEM, UMR 5635, Université Montpellier, ENSCM, CNRS, Montpellier, France*

²*Annealsys SAS, 139 rue des Walkyries, Montpellier, France*

³*ISM-UMR 5255, Univ. Bordeaux, CNRS, Bordeaux INP, Pessac 33607, France*

⁴*Univ Rennes, INSA, CNRS, Institut FOTON - UMR 6082, F-35000 Rennes, France*

⁵*ISCR-UMR6226, Univ Rennes, CNRS, F-35000 Rennes, France*

III–V semiconductors offer excellent optical and charge transport properties for solar water splitting, but their high cost, large overpotentials, and limited stability hinder large-scale use [1]. In this work, we developed a hybrid photocathode with a 1 μm gallium arsenide (GaAs) layer on low-cost p-type silicon (Si:p), modified with atomic layer deposition (ALD)-grown molybdenum disulfide (MoS₂) nanostructures. The GaAs/Si:p junction enables efficient charge separation, while MoS₂ enhances electron transfer, protects against photocorrosion, blocks hole migration, and acts as a hydrogen evolution reaction (HER) co-catalyst. Conductive 1T'/2H MoS₂ phases improve charge transport, proton adsorption, and light harvesting, outperforming amorphous MoS₂, 1T' MoS₂ nanosheets, and bulk 2H-MoS₂. Optimized annealing at 300 °C with 70 ALD cycles increased photocurrent density and onset potential, achieving stable photocurrents of -1.5 mA.cm⁻² over 5 h at open-circuit potential (OCP).

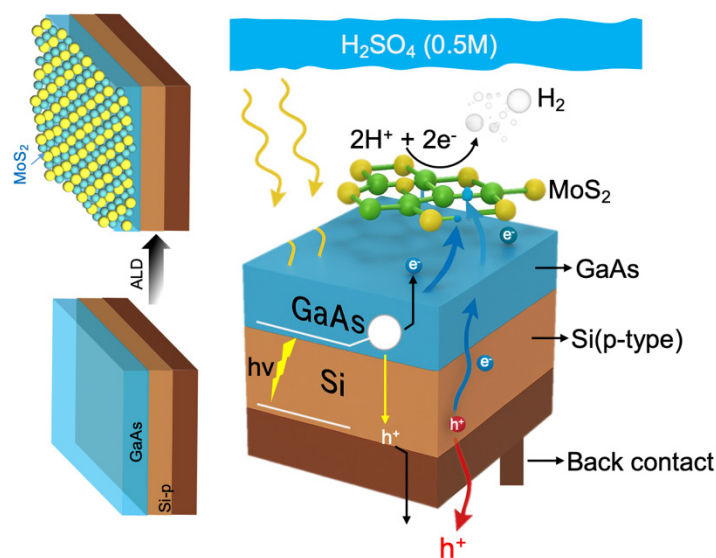


Figure 1. Hybrid GaAs/Si:p Photoelectrode with MoS₂ for Enhanced Hydrogen Production

[1] Merhi, F., Koumba, B.B., Bernard, R., Létoublon, A., Huillery, P., Léger, Y., Bertru, N., Cornet, C., Garrigue, P., Fabre, B. and Loget, G., 2025. Photoelectrochemical Hydrogen Generation by Ni-Coated Gallium Arsenide Epilayers on Silicon. *J. Phys. Chem. C* **2025**, 129, 25, 11290–11296

This research was supported by the “France 2030” program of the French National Research Agency, NAUTILUS Project (Grant no. ANR-22-PEHY-0013).

PACEEP 44 : Impact of Ionomer Type and Content on PEMFC Catalyst Layers at medium Temperatures up to 110°C

Matthieu Tempelaere, Christine Nayoze-Coynel, Armelle Fabulet Arnaud Morin
Univ. Grenoble Alpes, CEA, LITEN, DEHT, 38000, Grenoble, France

Light- and heavy-duty applications require Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFCs) operation at around **95 °C**, mainly due to constraints on the cooling system size. This increase in temperature, compared to the nominal operating temperature of ~80 °C commonly used in PEMFCs, raises significant challenges in terms of both performance and durability. The **PEMFC95 project** aims to overcome these limitations [1] by developing advanced membrane electrode assemblies (MEAs) that are both high-performing and durable under these more demanding operating conditions.

It is now well established that the ionomer-to-carbon ratio (I/C) in PEMFC catalyst layers (CL) critically influences fuel cell performance, particularly under dry conditions and at elevated temperatures [2]. While a high ionomer content enhances proton conduction, it can also block pores and impede gas transport; conversely, insufficient ionomer reduces ionic connectivity and catalytic utilization. [2]. The nature of the ionomer also plays a role: short-side-chain (SSC) ionomers exhibit advantageous properties under low relative humidity and elevated temperature conditions versus traditional long side chain ionomer (LSC) such as Nafion®[3]. In this work, we systematically varied both the amount (ionomer to carbon ratio, I/C) and the type of ionomer (SSC and/or LSC) in the anode and cathode catalyst layers in order to evaluate their impact under medium-temperature (MT) operating conditions. Tests were conducted from 95°C to 110°C, using state of the art membrane, gas diffusion layer (GDL) and catalyst. The MEA were then analysed with techniques such as electrochemical impedance spectroscopy (EIS) and cyclic voltammetry (CV). These results provide important insights for the development MEAs tailored to intensive operational conditions in heavy-duty mobility.

References:

- [1] PEMFC95, Pepr Hydrog. (n.d.). <https://www.pepr-hydrogene.fr/projets/pemfc95/>
- [2] P. Schneider, A.-C. Scherzer, B.D. Storey, M. Klingele, N. Zamel, D. Gerteisen, The Effect of Ionomer to Carbon Ratio and Relative Humidity on Cathode Catalyst Degradation in PEM Fuel Cells, J. Electrochem. Soc. 170 (2023) 104505. <https://doi.org/10.1149/1945-7111/acff1f>.
- [3] A. Sagar, S. Chugh, A. Sharma, E. Kjeang, Strategic ionomer design for high performing fuel cells with open cathode, Int. J. Hydrog. Energy 47 (2022) 1940–1946. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.10.131>.

PACEEP 45 : Analyse des dégradations induites par une source d'énergie intermittente, sur un électrolyseur basse température

Lisa DUGUET¹, Gareth KEELEY¹, Frédéric FOUDA-ONANA¹, Guillaume SERRE¹, Yann BULTEL²

1 : Univ. Grenoble Alpes, CEA, LITEN, 38000 Grenoble, France

2 : Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, Grenoble INP, LEPMI, 38000 Grenoble, France

Le projet SHYPRE financé par l'ANR a pour objectif d'étudier et de modéliser les phénomènes de dégradations survenant dans les électrolyseurs AEM (Anion exchange membrane) alimentés par des sources d'électricité intermittentes. Ce projet implique le laboratoire CRISTAL de l'Université de Lille en charge des aspects pilotage système et le CEA en charge de l'étude expérimentale et de la modélisation des phénomènes dégradations.

Il y a eu récemment de réelles avancées technologiques liées au développement de la production d'hydrogène "vert" en utilisant l'électrolyse d'eau. Une technologie qui combine le bas coût de l'électrolyse alcaline et le rendement élevé de production d'hydrogène de la PEMWE, est l'électrolyse à membrane échangeuse d'anions ("anion exchange membrane water electrolysis" AEMWE). Quelques systèmes AEMWE sont déjà disponibles commercialement, mais leur déploiement est freiné par le manque de compréhension des facteurs limitant leur durabilité, qui est actuellement d'un ordre de grandeur moins que ceux des électrolyseurs PEM.

Dans ce projet nous allons étudier à l'échelle de la mono-cellule les phénomènes de dégradation induits, entre autres, par l'intermittence de son fonctionnement. Les électrolyseurs nécessitent d'avoir des durées de vie de plusieurs années, et une des tâches de ce projet sera la définition des protocoles de test de vieillissement accéléré ("accelerated stress test" AST) qui permettront la mise en évidence rapide des dégradations. En effet, au cours de ces tests, les composants (électrodes, membranes, couches de transport poreuses) sont soumis à des conditions qui sortent de la gamme opérationnelle normale, pour accélérer leurs dégradations. Il faut alors que les profils de charge soient définis afin de cibler spécifiquement des régions différentes dans la cellule.

Des ASTs courts et longs (jusqu'à 1000 h) seront réalisés et suivis de caractérisation post-test (analyses de surface, de la microstructure, grâce aux nombreux moyens d'analyse du CEA : XPS, XRD, MEB, IEC, ICP) afin d'identifier la nature des principaux mécanismes de dégradation, par exemple par comparaison des composants vieillis et neufs. Pour quantifier ces mécanismes, on s'appuiera sur des caractérisations électrochimiques réalisées durant les AST. Elles serviront à développer et calibrer les modèles de dégradation qui seront intégrée dans une plateforme de simulation. A terme, cet outil permettra de simuler le comportement d'un électrolyseur AEM soumis à des sollicitations dynamiques.

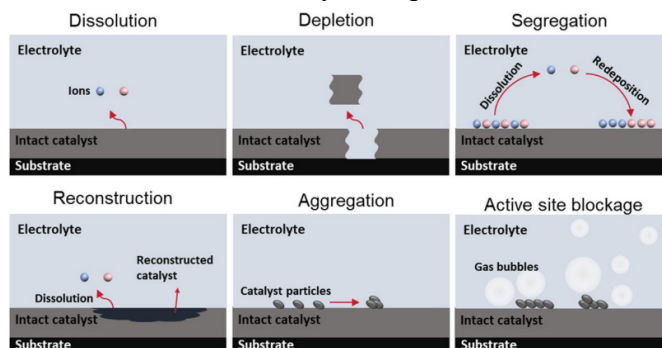


Fig. 1 : exemples de mécanismes de dégradation pour le catalyseur (Lei *et al.*, 2024)

PACEEP 46 : Exploration du potentiel de la 2-vinylpyridine pour la conception de membranes échangeuses d'anions par polymérisation plasma

Costes Raphaël^{1,2}, Badaire Stéphane², Achille Aurélie², Aissou Karim¹, Quemener Damien¹, Roualdès Stéphanie¹

¹ *Institut Européen des Membranes (IEM), UMR 5635, Univ Montpellier, ENSCM, CNRS, Montpellier, France*

² *Manufacture française des pneumatiques Michelin, Rue Bleue, 63118 Cébazat, France*

Les électrolyseurs et piles à combustible alcalins fonctionnent selon des réactions électrochimiques plus rapides qu'en milieu acide et peuvent donc se passer de catalyseurs précieux. Néanmoins la membrane échangeuse d'anions (AEM) présente au cœur de ces systèmes limite fortement leurs performances. Afin de parvenir à une application industrielle des technologies utilisant les AEM, il est essentiel de concevoir une membrane polymère échangeuse d'anions qui présente : une conductivité ionique compétitive ($\geq 10 \text{ mS.cm}^{-1}$), des propriétés mécaniques appropriées pour réduire le gonflement lié à l'humidité et assurer une gestion efficace de l'eau jusqu'à des températures dépassant 80°C , et une bonne stabilité chimique, en particulier à des pH élevés.

Pour répondre aux exigences de ce cahier des charges, la polymérisation plasma se révèle être une méthode de synthèse prometteuse. Cette technique permet de créer des couches minces (allant de la dizaine de nanomètres à la dizaine de microns) très réticulées, appréciées pour leur stabilité mécanique, thermique et chimique. Les propriétés de ces couches peuvent être ajustées grâce à un large choix de précurseurs et à des paramètres de synthèse flexibles. De plus, la polymérisation plasma offre la possibilité de former des membranes adhérentes sur divers types de substrats. Dans cette étude, nous avons opté pour la 2-vinylpyridine (2VP) comme précurseur organique, car celui-ci présente plusieurs avantages. Les groupes pyridine de la 2VP, une fois quaternisés, peuvent agir comme sites cationiques conducteurs pour les ions hydroxydes. De plus, les cycles pyridine peuvent faciliter le transport ionique en créant un espace libre suffisant entre les chaînes des polymères plasma souvent limités en perméabilité du fait d'une densité élevée. Le groupement vinylique de la 2VP, en raison de sa nature labile, assure une bonne réticulation du polymère. Enfin, le positionnement de ce groupement en alpha de l'amine vise à protéger le site cationique des attaques nucléophiles des ions hydroxydes, qui sont souvent problématiques pour la stabilité chimique des membranes alcalines.

Un grand nombre de caractérisations nous a apporté des connaissances complémentaires sur la chimie, la texture et les performances des couches minces obtenues. Le MEB a montré que les couches sont continues, uniformes et homogènes en épaisseur. Les analyses XPS ont démontré un taux de fonctions chargées de 35% homogène dans l'épaisseur et les analyses SIE ont révélé une conductivité de l'ordre du mS.cm^{-1} . Des mesures de perméation gazeuses et de RRX sont en cours pour apporter des connaissances relatives à la gestion des gaz dans les matériaux en lien avec leurs densités.

PACEEP 47 : Modélisation d'une cellule d'électrolyse à membrane échangeuse d'anions et estimation des paramètres inconnus

J.C. Martinez Rosales¹, H. Gopi Kuppusamy¹, X. Shen², J. Dillet¹, F. Xu¹, G. Sdanghi¹, S. Didierjean¹, P.A. Bonnefont³, V. Badets², L. Ruhlmann², G. Maranzana

¹LEMTA, Univ. de Lorraine, CNRS, 54500 Vandœuvre-lès-Nancy, France

²UMR CNRS 7177, Université de Strasbourg, Institut de Chimie

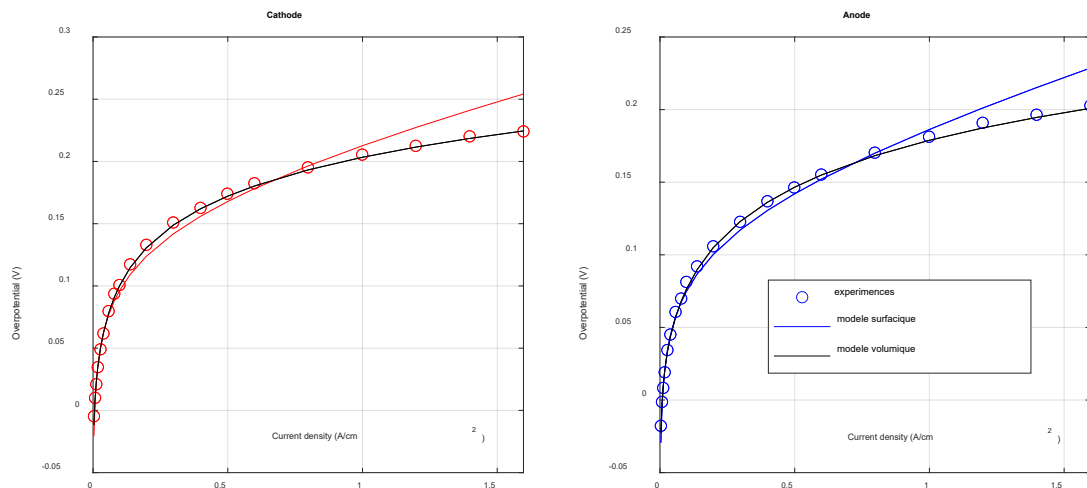
³Univ.

Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, Grenoble INP, LEPMI

Le développement de la technologie d'électrolyse de l'eau à membrane échangeuse d'anion OH^- s'est accéléré ces dernières années suite à la découverte de membranes performantes et durables comme par exemple le Piperion® de chez Versogen [1]. Cette technologie a le potentiel de permettre la montée en échelle de la production d'hydrogène vert car elle ne nécessite pas de matériaux rares et coûteux de la famille du platine, ni de titane, ni de membranes perfluorées. Comparée à la technologie d'électrolyse alcaline historique à séparateur, elle présente l'avantage d'un « balance of plant » simplifié, de moindres contraintes de corrosion du fait des faibles concentrations d'électrolyte et d'une densité de puissance supérieure.

Dans le cadre du projet DAEMONHYC, financé par le PEPR-H2, nous développons de nouveaux matériaux et mises en forme adaptés à cette technologie. Ces développements sont guidés par des travaux de compréhension et de modélisation des transferts à l'échelle de la cellule élémentaire.

Sur le plan expérimental, nous avons conçu un banc de test et une cellule de 25cm^2 équipée d'électrodes de références pour permettre la caractérisation *in situ* de l'anode et de la cathode en fonction des diverses sollicitations. Sur le plan de la modélisation, nous avons développés des modèles de différentes complexités. Les modèles les plus simples, comportant peu de paramètres, peuvent être ajustés aux résultats expérimentaux et donner une estimation des paramètres inconnus. L'objectif de cette présentation est de présenter les méthodes expérimentales mises au point pour obtenir les courbes de polarisation et les spectres d'impédances des deux électrodes. Un certain nombre de résultats expérimentaux correspondant à des conditions opératoires différentes (température, concentration KOH, cathode sèche/humide) seront présentés et ajustés par des modèles de complexité croissante. Les paramètres estimés seront interprétés.



Surtensions anodique et cathodique expérimentales et ajustées par deux modèles.

[1] Ronit PANDA, Développement d'un simulateur d'électrolyse alcalin avec membrane polymère échangeuse d'anions, thèse de doctorat, 2024

PACEEP 48 : Innovative fillers to improve membrane performance in alkaline electrolyzers

Marion GOUJON^{1,3,4}, **Corinne LAGROST¹**, **Yann LEROUX¹**, **Fabien GRASSET²**, **Cécile ROSSIGNOL³**, **Cristina IOJOIU³**, **Solène BERTOLOTTO⁴**, **Arthur PACQUELET⁴**, **Samuel MARLIN⁴**

¹*Institut des Sciences Chimiques de Rennes (ISCR), UMR 6226/ Univ.Rennes France*

²*Laboratory for Innovative Key Materials and Structures, IRL 3629, Tsukuba, Japan*

³*Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, Grenoble INP-UGA, LEPMI, 38000 Grenoble, France*

⁴*Saint-Gobain Recherche Provence, Cavaillon, France*

Alkaline water electrolysis (AWE) is a promising technology for green hydrogen production, offering a sustainable alternative to conventional methods such as hydrocarbon steam reforming. To ensure safe and efficient operation, separator membranes in AWE systems must effectively prevent the crossover of gases, such as dioxygen (O₂) and dihydrogen (H₂). This requires a high bubble point pressure (BBP) and a controlled porous structure^{1,2}. In addition, membranes must exhibit excellent mechanical and chemical stability, along with low ohmic resistance, to enhance overall system performance. This work presents a materials-based approach to membrane design, to improve the overall performance of the AWE system³.

This poster outlines the general methodology of our approach, which focuses on developing novel zirconia-based materials functionalized. The purpose is to enhance the hydrophilic character of the powders used in membrane fabrication⁴. The grafted zirconia was characterized using X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), scanning electron microscopy (SEM), elemental analysis (EA), and thermogravimetric analysis (TGA). Sedimentation tests in water demonstrated improved stability of the grafted particles. Additionally, dispersion tests were conducted to evaluate the ability of the modified zirconia to disperse homogeneously within the dope solution used for membrane casting. Composite membranes incorporating polysulfone (PSU) and either modified or unmodified zirconia were fabricated using the phase inversion technique. Scanning electron microscopy (SEM) and porosity analysis revealed a total porosity of approximately 55%. These results confirm the effectiveness of the surface functionalization of zirconia, enabling the fabrication of composite membranes with structural performance comparable to that of commercial membranes.

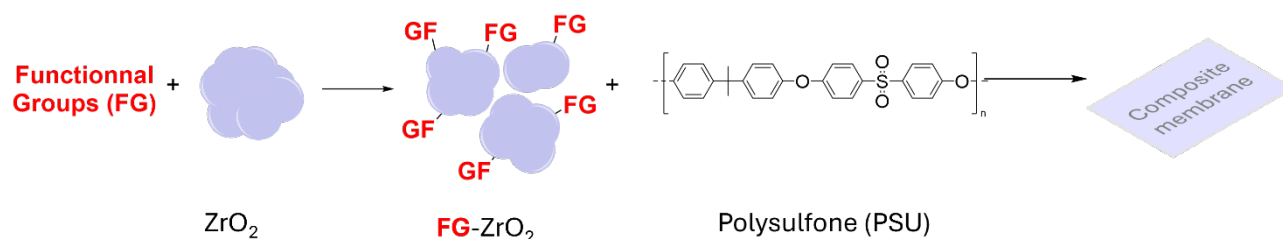


Figure - Synthesis strategy for the development of composite membranes. The polymer is dissolved in the presence of FG-ZrO₂ to obtain a porous membrane.

Les références:

- [1] Aili, D., et al., Electrode Separators for the Next-Generation Alkaline Water Electrolyzers. ACS Energy Letters, 2023. 8(4): p. 1900-1910.
- [2] Schalenbach, M., W. Lueke, and D. Stolten, Hydrogen Diffusivity and Electrolyte Permeability of the Zirfon PERL Separator for Alkaline Water Electrolysis. Journal of The Electrochemical Society, 2016. 163(14): p. F1480-F1488.
- [3] Lee, I.H., et al., The synthesis of a Zirfon-type porous separator with reduced gas crossover for alkaline electrolyzer. International Journal of Energy Research, 2020. 44(3): p. 1875-1885.
- [4] Kim, M.J., H.S. Chae, and H.J. Choi, Core-shell structured poly(methyl methacrylate)-coated zirconium dioxide nanoparticle and its dispersion stability. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2015. 21: p. 145-150.

PACEEP 49 : Observations des transformations du catalyseur Ni lors des réactions d'électrooxydation à l'aide de la spectroscopie SERS in situ

Zhengke Tu,^{1,2} Jing Sun,² Anne Bonhommé,² Stephane Loridant,² Masahiro Kunimoto,³ Philippe Vernoux,² Takayuki Homma,^{*1} Jesús González Cobos^{*2}

¹*Department of Advanced Science and Engineering, Waseda University, 169-8555, Tokyo, Japan*

²*IRCELYON, UMR 5256, CNRS, 2 Avenue A. Einstein, 69100, Villeurbanne, France*

³*Global Center for Science and Engineering, Waseda University, 169-8555, Tokyo, Japan*

L'électrooxydation de molécules organiques sur catalyseur à base de nickel suscite un intérêt croissant en raison de son potentiel à remplacer la réaction de dégagement d'oxygène (OER), limitée thermodynamiquement et cinétiquement, lors de l'électrolyse de l'eau, tout en générant des produits à valeur ajoutée. Des études antérieures ont montré que certains états d'oxydation du nickel sont critiques pour l'activité catalytique, bien que la nature de la phase active reste controversée. [1] Certaines études ont utilisé la spectroscopie Raman pour suivre in situ la formation de NiOOH, comme phase active de l'électrooxydation de molécules organiques comme la lignine. [2] Cependant, la spectroscopie Raman conventionnelle présente certaines limites pour l'observation de toutes les phases de nickel (par exemple, Ni(OH)₂, NiOOH) et des intermédiaires de surface. La spectroscopie Raman exaltée en surface (SERS) est un outil performant pour relever ce défi, car elle permet de suivre in situ les interfaces électrochimiques avec une sensibilité et une sélectivité élevées.

Notre objectif est d'appliquer la SERS à l'étude de catalyseurs Ni modèles lors de l'oxydation de molécules organiques. Dans cette étude, un dispositif de mesure SERS in situ a été conçu et fabriqué pour étudier l'interface solide/liquide d'un catalyseur à base de Ni pendant l'OER et l'électrooxydation de molécules organiques. Des nanoparticules d'or ont été électrodéposées sur un substrat de carbone vitreux, puis 10 monocouches de Ni ont été électrodéposées selon un protocole publié, [3] afin de réaliser l'effet d'amplification SERS. [3] Le comportement électrochimique du catalyseur a été étudié dans un électrolyte NaOH 1 M, avec et sans présence de molécules organiques. Des potentiels compris entre 1,0 V et 1,6 V vs RHE ont été appliqués, tandis que les spectres SERS ont été enregistrés à des intervalles de 50 mV afin de capturer la transformation de l'état d'oxydation du Ni.

Références

[1] V.L. Oliveira, V.L. et al., *Electrochim. Acta* 2014, 117, 255.

[2] S. Geng, et al., *Appl. Catal. B* 2025, 365, 124947.

[3] A.C., et al., *Angew. Chem. Int. Ed.* 2019, 58, 12999.

Acknowledgements

Les auteurs remercient le programme SPRING du Japan Science and Technology Agency (JPMJSP2128), le CNRS et l'Agence Nationale de la Recherche pour le soutien à ce travail (CPJ-OPERANDO-2022-278487).

PACEEP 50 : Microstructural Analysis and Modeling of Alkaline electrolyzer Electrodes from Advanced Imaging Techniques

Erwan Tardy¹, Louis Remacle¹, Kavita Kumar¹, Huong Doan², Vincent Trouche², Olivier Bucheli²

¹ Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, Grenoble INP, LEPMI, F-38000 Grenoble, France

² Adele Hydrogen SAS, 132 Rue Bossuet, 69006 Lyon, France

erwan.tardy@grenoble-inp.fr (E. Tardy)

Hydrogen, as a high-potential energy carrier, stands out as a key solution for storing and regulating electricity generated from renewable sources [1]. In this context, ADELE HYDROGEN™ develops cutting-edge electrodes for alkaline electrolyzers, avoiding the use of noble metals or critical raw materials. However, further innovation is needed, particularly in optimizing electrode topology to address performance limitations such as ohmic and activation losses.

A deeper understanding of the multiphysics phenomena governing water electrolysis—especially gas bubble dynamics—is critical to improve electrolyzer efficiency. Ohmic losses, for instance, are exacerbated by gas bubble accumulation, which disrupts electron and ion transport within the porous electrode structure. To mitigate these effects, high-resolution imaging of the electrode's complex, often heterogeneous microstructure is essential. This enables precise segmentation of phases (solid, void) and quantification of structural parameters like porosity and tortuosity, which directly influence bubble nucleation, growth, and detachment.

In this study, we combine advanced imaging techniques—X-ray tomography, FIB-SEM, and electron microscopy—with numerical simulations to extract key structural parameters. Our objective is to use these data to reconstruct the 3D electrode microstructure and develop 3D simulations of multiphysics phenomena at the microscopic scale. These microscopic insights will then be upscaled to inform a macroscopic model, enabling the study of overall electrolyzer performance and stability under real-world operating conditions.

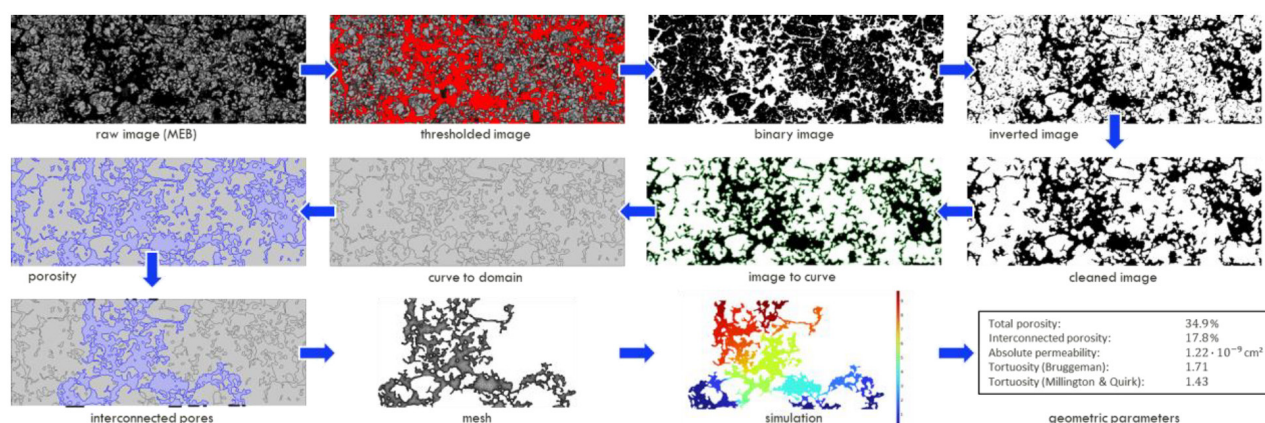


Figure 1: From raw imaging to the determination of geometric parameters.

References

[1] - M. Genovese, A. Schlüter, E. Scionti, F. Piraino, O. Corigliano, P. Fragiaco, Power-to hydrogen and hydrogen-to-X energy systems for the industry of the future in Europe, Int. J. Hydrogen Energy 48 (2023) 16545-6568, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.01.194>.

PACEEP 51 : Transition Metal Sulfides (TMS) as promising catalysts for HER in an Anion Exchange Membrane Water Electrolyzer (AEMWE)

Tatiana Yaakoub¹, Boniface Kokoh¹ and Têko W. Napporn¹

¹IC2MP UMR 7285 CNRS Université de Poitiers, 86073 Poitiers, France

The sustainability of future energy supplies is the challenges due to the increasing of global energy consumption.[1] To address these concerns, hydrogen is considered as a significant element in the recent technology makes it a sustainable option for energy storage.[2] From these technologies, water electrolysis is considered the most promising method for clean and green hydrogen with zero net CO₂ emissions.[3]

Water electrolysis offers a promising route for green hydrogen production. Specifically, AEM electrolyzers permits the use of earth-abundant metal such as nickel, molybdenum, iron and non-noble metal catalysts. The electrochemical principle is based on an applied voltage which splits water into H₂ and O₂ at the cathode and anode, respectively. [4]

In this work, Ni, NiMo and NiFeMo sulfides were synthesized by hydrothermal approach. The results obtained show that it is possible to tune the composition of these cathode materials. The addition of few amounts of Mo and/or Fe enhance the activity towards HER in alkaline medium.

Acknowledgements

The authors thank the French National Research Agency (ANR) for funding through Angelic project funded by the "France 2030" government investment plan (ANR-24-PEHY-0001 grant). The authors also thank the financial support from the European Union (ERDF) and Région Nouvelle Aquitaine. This work pertains to the French government program "Investissements d'Avenir" (EUR INTREE, reference ANR-18-EURE-0010).

References

- [1.] W. Zhai, Y. Ma, D. Chen, J. C. Ho, Z. Dai and Y. Qu, *InfoMat* **2022**, 4, e12357.
- [2.] P. Afanasev, A. Askarova, T. Alekhina, E. Popov, S. Markovic, A. Mukhametdinova, A. Cheremisin and E. Mukhina, *International Journal of Hydrogen Energy* **2024**, 78, 805-828.
- [3.] B. Amini Horri and H. Ozcan, *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry* **2024**, 47, 100932.
- [4.] C. V. M. Inocêncio, J. Rousseau, N. Guignard, C. Canaff, S. Morisset, T. W. Napporn, C. Morais and K. B. Kokoh, *International Journal of Hydrogen Energy* **2023**, 48, 26446-26460.

PACEEP 52 : Elaboration Of Ni-Based Nanomaterial Through An Easily Scalable Synthesis Towards The OER In An AEMWE

Arno Steimlé¹, Frederic Fouda-Onana², Boniface Kokoh¹ and Têko W. Napporn¹

¹IC2MP UMR 7285 CNRS Université de Poitiers, 86073 Poitiers Cedex 9, France

²CEA-Liten, 38004, Grenoble, France

In their Sixth Assessment Report, the Intergovernmental Panel on Climate Change presented the risks of not achieving global net zero CO₂ emissions by 2070. [1] To try to reduce the occurrence of terrible environmental events as we can already observe in the world, it is important to dedicate research towards new renewable energy sources. To follow these innovations, new approaches to efficiently generate and store energy are needed. [1] Hydrogen produced by carbon-free approach is one of the best solution to reduce the impact of the anthropogenic gas emissions.

Green hydrogen is produced by water electrolysis, which splits H₂O molecules into H₂ and O₂ using an electric power. This reaction takes place in a setup called a Water Electrolyzer. Several types of electrolysis devices exist, but the most promising one is called an Anion Exchange Membrane Water Electrolyser (AEMWE) [2]. It presents several advantages, such as its compactness, improving its performance, and the material used as electrocatalysts. Indeed, the AEMWE uses an alkaline membrane electrolyte, allowing the utilisation of non-critical transition metals as catalysts. Two reactions take place at the electrodes of an AEMWE, the Hydrogen Evolution Reaction (HER) at the cathode, and the Oxygen Evolution Reaction (OER) at the anode. The latter is known to be the limiting reaction because of the sluggish kinetics of its steps. Those steps have different activation energies, modifying the energy needed to start the OER. [3] To reduce the overpotential, various features of anode catalysts can be optimised, from its morphology to its composition. Nickel-based catalysts have been shown to present high activity towards the OER kinetics. Combining iron with Ni is known to improve the electrochemical performance of the catalyst.

In order to scale-up the production, a process presented by Duan et al. [4] was revisited and optimised to prepare Ni and NiFe nanomaterials. By optimising the synthesis parameters, it was successfully scaled up from 150 mg to 5 g. It was then physico and electrochemically characterized.

These nanomaterials were tested in a three-electrode cell setup, in 0.1 M NaOH. Beside the addition of Fe to Ni-based catalysts showing a drastic improvement of the electrochemical performance this bimetallic catalyst performed close to RuO₂, even after the scaling up process.

Further optimisation of the synthesis by controlling different parameters is in progress and supplementary electrochemical characterisations will be made to better understand the specificity of the material. Further techniques will be used to understand the mechanism at the catalyst surface, while durability testing can provide data on its long-term stability.

Acknowledgement

This work is carried out as part of the project PEPR H2 ANGELIC (ANR-24-PEHY-0001) funded in the France 2030 program by the French National Research Agency (ANR). The authors also thank the financial support from the European Union (ERDF) and Région Nouvelle Aquitaine. This work pertains to the French government program "Investissements d'Avenir" (EUR INTREE, reference ANR-18-EURE-0010).

[1] H. Lee, K. Calvin, D. Dasgupta, G. Krinner, A. Mukherji, P. Thorne, C. Trisos, J. Romero, P. Aldunce, K. Barrett, *The Australian National University*, **2023**.

[2] M. El-Shafie, *Results in Engineering* **2023**, 20.

[3] H.A. Miller, K. Bouzek, J. Hnat, S. Loos, C.I. Bernäcker, T. Weißgärber, L. Röntzsch, J. Meier-Haack, *Sustainable Energy & Fuels* **2020**, 4, 2114-2133.

[4] Y. Duan, Z.Y. Yu, S.J. Hu, X.S. Zheng, C.T. Zhang, H.H. Ding, B.C. Hu, Q.Q. Fu, Z.L. Yu, X. Zheng, J.F. Zhu, M.R. Gao, S.H. Yu, *Angew Chem Int Ed Engl* **2019**, 58, 15772-15777.

PACEEP 53 : Exploring electrochemical activity of Transition Metal Nitrides Nanomaterials toward Oxygen Evolution and Reduction reactions (OER/ORR)

Rania N. Ouaddour¹, Andrei I. Pastukhov², Dodzi Zigah¹, Paulo Olivi³, Andrei V. Kabashin² and Têko W. Napporn¹.

¹ IC2MP UMR 7285 CNRS Université de Poitiers, 86073 Poitiers cedex 9, France.

² LP3 UMR 7341 CNRS Université Aix-Marseille, 13288, Marseille, France,

³ Departamento de Química Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto 14040-901, Brazil

Oxygen evolution reaction (OER) and oxygen reduction reaction (ORR) play an important role and determine the cost and efficiency of low-temperature electrochemical energy conversion and storage systems. However, their major drawback is their sluggish redox kinetics as they require the use of electrocatalysts. Noble metal based electrocatalysts are known for providing high activity toward these reactions, but their widespread application is constrained by high costs and scarcity.[1] A new class of nanomaterials have emerged to replace the noble metals catalysts as the Transition-metal nitrides (TMNs) electrocatalysts.

In this work, TMNs were synthesized by laser ablation technique. Zirconium nitride (ZrN), titanium nitride (TiN), and hafnium nitride (HfN) NPs were produced in various solvents. The TEM characterizations showed that the morphology depends on the solvent and core-shell nanomaterials can be observed [2, 3]. In the literature, electrochemistry activity of such nanomaterials remains unknown and/or unexplored.

The present electrochemical measurements in alkaline medium show that the activity depends on the element and also on its solvent used for its fabrication. The preliminary results show that TiN **exhibits promising activity toward OER** with an earlier onset potential and higher current densities compared to ZrN and HfN. Further investigations are in progress in order to understand the nanomaterials behaviour by assessing the kinetic parameters and to study their stability and durability during the oxygen reactions.

Acknowledgements

The authors acknowledge the financial support from the National Agency for Research in the framework of NITRECAT project ([ANR-23-CE07-0051](#), an International Grant France-Brazil). The authors also thank the financial support from the European Union (ERDF) and Région Nouvelle Aquitaine. This work pertains to the French government program "Investissements d'Avenir" (EUR INTREE, reference ANR-18-EURE-0010).

References

- [1] H. Yang, X. Han, A.I. Douka, L. Huang, L. Gong, C. Xia, H.S. Park, B.Y. Xia, *Advanced Functional Materials* **2020**, 31.
- [2] A.I. Pastukhov, V.O. Shipunova, J.S. Babkova, I.V. Zelepukin, M. Raab, R. Schmitt, A. Al-Kattan, A. Pliss, A. Kuzmin, A.A. Popov, S.M. Klimentov, P.N. Prasad, S.M. Deyev, A.V. Kabashin, *ACS Applied Nano Materials* **2024**, 7 18737-18754.
- [3] A.A. Popov, G. Tselikov, N. Dumas, C. Berard, K. Metwally, N. Jones, A. Al-Kattan, B. Larrat, D. Braguer, S. Mensah, A. Da Silva, M.-A. Estève, A.V. Kabashin, *Scientific Reports* **2019**, 9 1194.

Fédération de recherche Hydrogène

**RESUMES DES PRESENTATIONS DE LA SESSION
"Oxydes Solides"**

**Responsables scientifiques :
Annie LE GAL LA SALLE et Jean-Marc BASSAT**

**REUNION PLENIERES FRH2 d'Annecy,
17-21 novembre 2025**

SO1 : Alternative Oxygen Electrodes for SOEC: Towards Reduced Use of Critical Raw Materials

Léa Marty^{*1,2}, B. Castay¹, E. Grindler¹, A. Ringuedé², K. Tarasov¹, O. Celikbilek¹

¹ CEA, LITEN, DTNM, Univ. Grenoble Alpes, Grenoble 38000, France

² IRCP, Chimie Paris, 11 rue Pierre et Marie Curie, Paris 75005, France

*Email: lea.marty3@cea.fr

The growing global energy demand, predominantly driven by fossil fuels, intensifies greenhouse gas emissions, highlighting the urgent need for an energy transition in which hydrogen production via high-temperature electrolysis emerges as a promising sustainable pathway [1]. To realize this, Solid Oxide Electrolysis Cells (SOECs) are manufactured with different functional components: an oxygen electrode (the state-of-the-art material is $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$, also called LSCF), a mixed ionic-electronic conductor; a hydrogen electrode (Ni/YSZ cermet) which also provides mechanical support; an electrolyte (YSZ), a dense ionic conductor for O^{2-} transport; and finally a barrier layer (gadolinium-doped ceria, CGO) which limits the interdiffusion of elements between the oxygen electrode and the electrolyte. The primary goal of this work is to identify an alternative oxygen electrode composition that reduces or eliminates the use of critical raw materials, as cobalt and strontium found in LSCF [2].

To this end, the study focuses on synthesizing various compositions derived from the lanthanum strontium chromium manganite family, specifically $(\text{La}_{0.75}\text{Sr}_{0.25})_{0.95}\text{Cr}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{O}_3$ (LSrCrM). Two derivative compositions were also prepared: calcium-substituted $(\text{La}_{0.75}\text{Ca}_{0.25})_{0.95}\text{Cr}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{O}_3$ (LCaCrM) and iron-substituted variant $(\text{La}_{0.75}\text{Ca}_{0.25})_{0.95}\text{Cr}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}\text{O}_3$ (LCaCrF) [3]. The optimization of synthesis conditions, with a particular focus on the calcination temperature, aims to ensure high phase purity. Thermal expansion coefficients and electrical conductivities of the samples have also been investigated to assess their suitability as oxygen electrode materials. These assessments, combined with electrochemical characterization, guide the evaluation of their potential for integration in energy conversion and storage devices. These materials were screen-printed onto yttria-stabilized zirconia (YSZ). The materials and a current collector composed of Lanthanum Strontium Manganite (LSM) were sequentially screen-printed onto the YSZ substrates.

Figure 1 shows the XRD pattern of the LCaCrMn powder and a SEM cross-sectional image of the electrode layers. The resulting microstructures showed promising features for the fabrication of a first symmetrical cell. The next step will involve electrochemical testing to validate the performance of these compositions under relevant operating conditions.

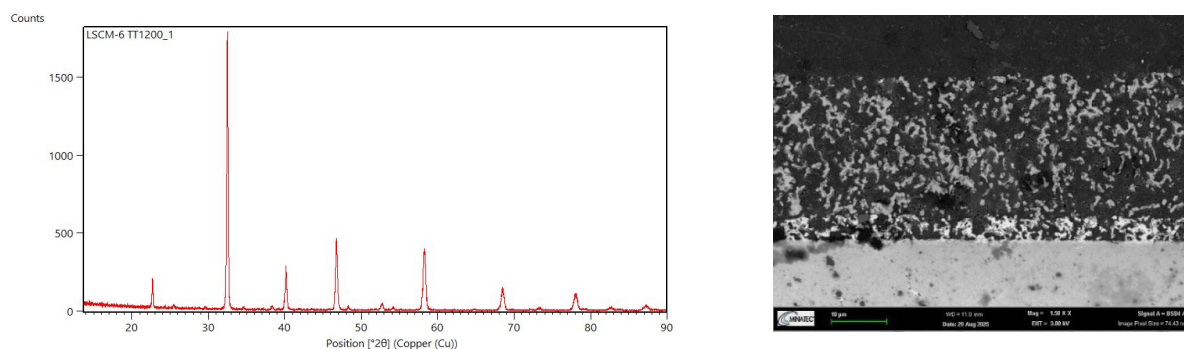


Figure 11 : XRD of $(\text{La}_{0.75}\text{Sr}_{0.25})_{0.95}\text{Cr}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{O}_3$ (left) and SEM image of the screen-printed LCaCrMn and the current collector LSM onto YSZ and CGO

[1] Institute for Sustainable Process Technology, *Energy Transition*, ISPT. 2025

[2] European Commission Sustaincell GA 101101479). 2023-2028

[3] A. Giraloin, $\text{La}_{0.75}\text{Sr}_{0.25}\text{Cr}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{O}_3$ based anodes for Solid Oxide Fuel Cells, Thesis, 2023.

SO2 : Optimisation d'électrode à air sans cobalt pour les cellules céramiques à conduction protonique

Maëlys Charleux^{1,2}, Lionel Combemale¹, Pascal Briois², Gilles Caboche¹

¹ICB Université de Bourgogne, 9 Avenue Alain Savary, 21078 Dijon, France

² Université Marie et Louis Pasteur, UTBM, CNRS, Institut FEMTO-ST UMR6174, 25200 Montbéliard, France

Le projet PROTEC^[1] vise à développer des cellules céramiques à conduction protonique pour la production d'hydrogène décarboné, capables de fonctionner à la fois en mode pile (PCFC) et en mode électrolyse (PEEC). Pour ce faire, les procédés de mise en forme, les matériaux et l'architecture des interfaces sont étudiés.

Les matériaux d'électrolyte les plus couramment utilisés pour la fabrication de ces cellules sont des oxydes pérovskites de type $\text{BaZr}_{1-x}\text{Y}_x\text{O}_3$ (BZY) et $\text{BaCe}_{1-x}\text{Y}_x\text{O}_{3-\delta}$ (BCY). Les solutions solides de ces deux composés permettent de combiner la stabilité chimique du BZY avec la forte conductivité protonique du BCY, améliorant ainsi les performances globales du matériau. Le co-dopage par plusieurs éléments, notamment l'ytterbium, permet d'optimiser ces propriétés. Dans ce travail, l'électrolyte choisi est le composé $\text{BaZr}_{0,1}\text{Ce}_{0,7}\text{Y}_{0,1}\text{Yb}_{0,1}\text{O}_{3-\delta}$ (BZCYYb1711), reconnu pour ses hautes performances. L'électrode à hydrogène est quant à elle composée d'un cermet

BZCYYb / NiO, tandis que l'électrode à air est fabriquée à partir d'un mélange de BZCYYb / $\text{LaNi}_{0,6}\text{Fe}_{0,4}\text{O}_{3-\delta}$ (LNF). Ce dernier, initialement utilisé comme couche de collectage, présente plusieurs atouts : un coefficient d'expansion thermique proche de celui de l'électrolyte^[2], une conductivité électronique élevée^[3] et l'absence de cobalt, un matériau à la fois coûteux et stratégique. Associé au matériau d'électrolyte, ce mélange peut ainsi être envisagé comme un candidat prometteur pour l'électrode à air.

L'étude se concentre donc sur l'optimisation de l'électrode à air, élaborée à partir d'un mélange BZCYYb / LNF, afin d'évaluer les avantages et limites de l'absence d'utilisation du cobalt dans ce type d'électrode.

[1] <https://www.pepr-hydrogene.fr/projets/protec/>

[2] Ohzeki T, Hashimoto T, Shozugawa K, Matsuo M (2010) Preparation of $\text{LaNi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ single phase and characterization of their phase transition behaviors. *Solid State Ion* 181:1771–1782. <https://doi.org/10.1016/j.ssi.2010.09.041>

[3] Chen JY, Rebello J, Vashook V, et al (2011) Thermal stability, oxygen non-stoichiometry and transport properties of $\text{LaNi}_{0,6}\text{Fe}_{0,4}\text{O}_3$. *Solid State Ion* 192:424–430. <https://doi.org/10.1016/j.ssi.2010.04.019>

SO3 : Etude de phases $\text{Sr}_3\text{Fe}_2\text{O}_{7-\delta}$ substituées comme électrode à oxygène pour l'application SOEC

L. Ambard, A. Demourgues, J.M. Bassat et J. Gamon

ICMCB, 87 avenue Docteur Albert Schweitzer, 33600 PESSAC

Les défis majeurs pour la montée en maturité des cellules SOEC sont l'augmentation de la durabilité des cellules ainsi que la diminution de leur impact environnemental et leur coût. L'utilisation de matériaux à conductivité mixte (MIECs) comme électrode à oxygène, a permis un gain de performances électrochimiques grâce à la délocalisation de l'Oxygen Evolution Reaction (OER) sur toute la surface des particules de l'électrode. Actuellement, les phases utilisées sont des phases de type pérovskite à base de Co et de Fe (LSCF : $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-\delta}$) ainsi que des phases de type Ruddlesden-Popper (RP) contenant du Ni [2]. Cependant ces phases tendent à se dégrader en conditions d'électrolyse (oxydation et formation de pérovskite LnNiO_3 dans le cas des nickelates et migration du strontium vers l'électrolyte principalement dans le cas de LSCF). Notre but est d'explorer de nouvelles compositions pour mettre au point des matériaux d'électrodes MIEC stables en conditions d'électrolyse, riches en fer et sans cobalt. En effet, afin de diminuer le coût et l'empreinte écologique de la fabrication des cellules, nous souhaitons éviter l'utilisation du cobalt, un métal critique qui est difficile à extraire et qui viendra à manquer à court terme.

Dans les phases $\text{Sr}_{n+1}\text{Fe}_n\text{O}_{7-\delta}$ de type RP ($n = 1, 2, 3$), la conductivité électronique se déroule au sein des octaèdres de pérovskite FeO_6 , alors que la diffusion anionique opère, elle, grâce au réseau de lacunes d'oxygène qui se trouvent localisées dans les couches dites rock-salt. La phase $n = 2$ en particulier montre une stabilité remarquable sur une large gamme de température, liée à sa capacité de moduler le taux de $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{4+}$ (et donc la possibilité d'insérer et de désinsérer de l'oxygène) tout en maintenant une intégrité structurale. Grâce à une substitution couplée de Cu et de Pr dans ces phases, des performances prometteuses en mode SOFC ainsi qu'une stabilité électrochimique à court terme ont été démontrées [3][4].

Sur la base de ces premiers résultats, l'objectif de ce travail est de comprendre l'effet de la substitution au cuivre sur le taux de Fe^{4+} , qui favorise l'OER, sur la structure cristalline, les propriétés de transport, les performances et la stabilité en mode SOEC. Les premiers résultats obtenus sur la série de composition : $\text{Sr}_3\text{Fe}_{2-x}\text{Cu}_x\text{O}_{7-\delta}$ ($x = 0, 0.1, 0.2, 0.3$) seront ainsi présentés. La limite de solubilité pour le Cu dans $\text{Sr}_3\text{Fe}_{2-x}\text{Cu}_x\text{O}_{7-\delta}$ est de $x = 0.3$. Les caractérisations structurales ont été réalisées grâce à des affinements Rietveld ainsi que des ATG sous atmosphère réductrice pour déterminer le taux d'oxygène. Des mesures Mössbauer ont également été menées pour déterminer le degré d'oxydation du fer. Le taux d'échange de surface de l'oxygène a été déterminé grâce à des mesures de Pulsed Isotopic Exchange (PIE). Les matériaux ont ensuite été déposés par sérigraphie sur des supports YSZ-GDC pour former une électrode poreuse avant que des mesures électrochimiques (Electrochemical Impedance Spectroscopy, EIS) sur cellules symétriques ne soient conduites en parallèle d'un travail d'optimisation du frittage de l'électrode.

References:

[1] L. Amina, Y. El Issmaeli, S. Kalanur, B. G. Pollet. *Journal of Energy Chemistry* 94 (2024): 688-715.

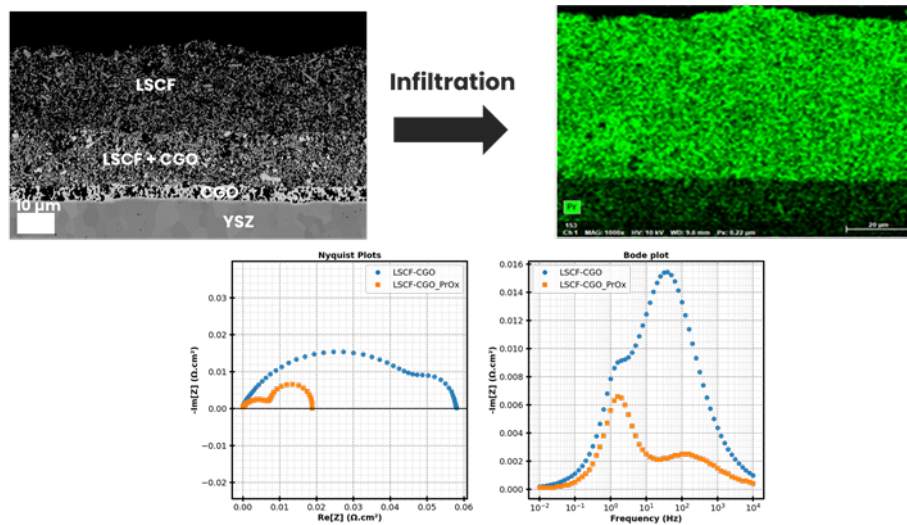
[2] Laguna-Bercero, M. A., H. Monzón, A. Larrea, et V. M. Orera. *Journal of Materials Chemistry A* 4, n° 4 (2016): 1446-53.

[3] P. Longsheng, Q-L. Liping Sun, H. Zhao. *Catalysts* 11, n° 11 (2021): 1400.

[4] S. Tian, T. Xia, L. Sun, Q. Li, H. Zhao. *Ceramics International* 49, n° 22, Part B (2023): 35812-20.

SO4 : Preliminary Studies of Stabilizing SOEC Anode LSCF Material - Improvement of oxygen electrodes for HTE

SOECs performances currently decrease by 1 to 2% after 1000 hours of operation, whereas an economic viability would be achieved for a degradation limited to few tenth of percent (<0.5%) [1]. These degradations are mainly attributed to electrode material deteriorations occurring in operation, driven by microstructural evolutions or chemical decomposition. This study aims to enhance the performances and durability of the conventional O₂ electrode material La_{0.6}Sr_{0.4}Co_{0.2}Fe_{0.8}O_{3-δ} – Ce_{0.8}Gd_{0.2}O_{2-δ} (LSCF-CGO). The performances were improved by infiltration using PrOx through LSCF-CGO backbone. Indeed, the polarization resistance at 750°C was decreased by a factor three after infiltration (cf. figure). The stability was enhanced by substituting LSCF by a high-entropy oxide (HEO), La_{0.6}Sr_{0.4}Fe_{0.33}Co_{0.33}Mn_{0.33}O_{3-δ} (LSFCM: S_{config}= 1.76R > 1.5.R).



[1] S. P. Simner, M. D. Anderson, M. H. Engelhard, J. W. Stevenson, *Electrochemical and Solid-State Letters* **2006**, 478, 9.

SO5 : Novel BaTiO₃-Based Electrode Materials for SOFC Optimization

Valerie Theuns^{*1}, Donovan Ledru², Marie-Hélène Chambrier², Aurélie Rolle¹, Anne-Sophie Mamede¹, Héroïse Tissot¹, Elise Berrier¹

¹Univ. Lille, CNRS, UCCS – Unité de Catalyse et Chimie du Solide, F-59000 Lille, France.

²Univ. Artois, CNRS, Centrale Lille, Univ. Lille, UMR 8181 – UCCS, F-62300 Lens, France

^{*}valerie.theuns@univ-lille.fr

Background and motivation. One of the challenges in solid oxide fuel cell (SOFC) development is the removal or reduction of critical raw materials (CRMs), like Co, La and Sr¹, in electrodes while maintaining adequate electrochemical activity and ionic conduction. However, non-critical alternatives such as BaTiO₃ (BTO) show lower activity. The objective of the present work is to take advantage of the capability of ABO₃ perovskite oxides to accommodate various cation substitutions at A- and/or B-site to embed the needed functions. In practice, we target the design of BTO-derived perovskites with increased redox activity and improved ionic conductivity, which is a promising starting point for low-CRM materials. Our research focuses on a comprehensive investigation of BTO-derived perovskites, examining their structure, including minority phases, redox properties, surface composition and ionic conductivity.

Materials and methods. Samples were synthesized *via* citrate autocombustion and the ceramic route for comparison purpose. Dopants included Ca²⁺ and La³⁺ (A-site) and Ni²⁺, Fe³⁺, and Cu²⁺ (B-site). Characterization of SOFC cathode candidate powders include N₂ adsorption-desorption (surface area), temperature-programmed reactions (TPR/TPO), XRD, XPS, EIS, and operando Raman spectroscopy. Quasi in-situ XPS used a catalytic cell allowing pretreatment under gas flow before UHV analysis without air exposure.

Results and discussion. XRD, Raman, and XPS analyses revealed ex-solved crystalline phases in some of the samples. Preliminary results of a Ba_{0.85}Ca_{0.15}Ti_{0.80}Fe_{0.20}O₃ (B85CTF-20) sample show some reducibility by TPR, making it suitable for H₂ reduction. Fig. 1 shows in-situ Raman spectra collected during H₂/O₂ cycling. H₂-TPR induced clear spectral modifications beyond thermal effects, notably a shift to lower frequencies, decreased intensity at 505 cm⁻¹, and increased intensity at 730 cm⁻¹. O₂-TPO restored the initial Raman spectrum,

indicating sample regeneration upon redox cycling. Similar characterizations were also performed on the La-doped samples. The results, figure 2, performed on Ba_{0.85}La_{0.15}Ti_{0.80}Fe_{0.20}O₃ and Ba_{0.85}La_{0.15}Ti_{0.80}Ni_{0.20}O₃ show a promising polarization resistance of 4.66 Ω*cm² at 800°C for B85LTF-20. Further analysis using complementary techniques provides a detailed discussion.

In conclusion, combining *in-situ* Raman experiments, XPS measurements, and other characterization techniques allows to get some insights on individual properties driving the future performance of a candidate SOFC electrode material.

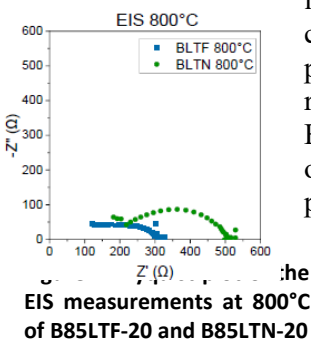
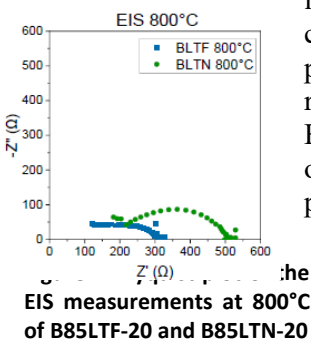


Figure 1. Left: *in-situ* Raman spectra at $\lambda = 633$ nm of B85CTF-20.

EIS



References

- [1] European Commission; (...); Veeh, C. *Publications Office of the European Union*, 2023
- [2] Zakeri, F.; (...); Khataee, A. *Scientific Reports* **2024**, 14(1), 9833.
- [3] Sun, Y.; (...); Luo, J. *Journal of Materials Chemistry A* **2015**, 3(20), 11048-11056.

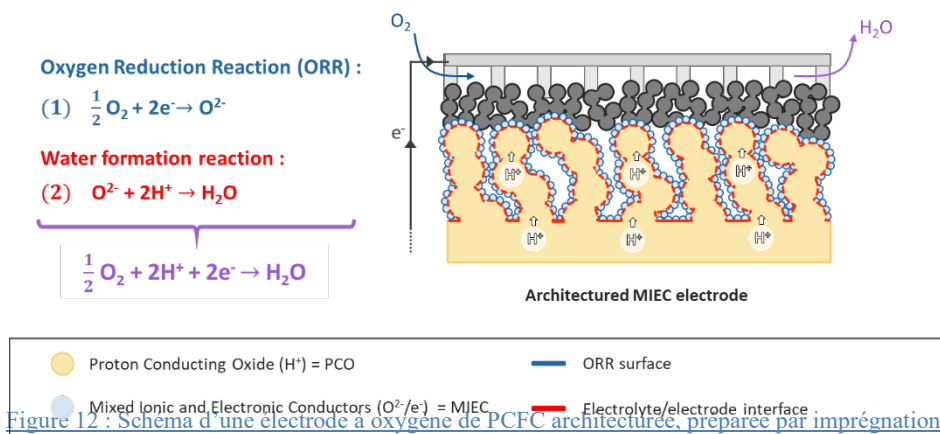
SO6 : Electrode à oxygène à base de PrO_{2-x} imprégné pour pile à combustible céramique protonique (PCFC)

L. Rocco^{1,*}, M. Charleux², S. Fourcade¹, F. Mauvy¹

¹Univ. Bordeaux, CNRS, Bordeaux INP, ICMCB, UMR 5026, Pessac, France ²Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, UMR CNRS 6303, Dijon, France

*lucas.rocco@icmcb.cnrs.fr

Dans le domaine des piles à combustible céramique à conduction protonique (PCFC), l'électrode à oxygène est un élément clé. À cet égard, les matériaux d'électrode conducteurs mixtes ioniques et électroniques (MIEC) ont été largement étudiés au cours des dernières décennies. Cependant, les performances électrochimiques de telles électrodes sont souvent limitées par la surface active de l'interface électrolyte/électrode [1]. L'objectif de la présente étude est de développer des électrodes architecturées basées sur des ossatures poreuses d'oxydes conducteurs de protons, infiltrées soit par des MIEC (O^{2-}/e^-) (Figure 1), soit par des oxydes triplement conducteurs (TCO) ($\text{H}^+/\text{O}^{2-}/\text{e}^-$). Ce type architecture permet d'obtenir une grande interface électrolyte/électrode, favorisant ainsi la réaction de réduction du di-oxygène (et de formation de l'eau) et, par conséquent, améliorant les performances électrochimiques [2]. À cette fin, un électrolyte de type $\text{BaCe}_{0.7}\text{Zr}_{0.1}\text{Y}_{0.1}\text{Yb}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ (BCZYYb 7111) a été et mis en forme. Puis, une ossature poreuse de BCZYYb 7111 a été déposée sur cet électrolyte dense. Enfin, des solutions de nitrate de praséodyme ont été infiltrées puis soumises à des traitements thermiques. Diverses méthodes de caractérisation, notamment la spectroscopie d'impédance électrochimique, l'analyse thermogravimétrique et des mesures de conductivité électronique par la méthode à quatre pointes sous différentes pressions partielles de vapeur d'eau, ont été réalisées sur ces électrodes et sur PrO_{2-x} . Des résistances de polarisation d'électrode (ASR) de $0,70 \Omega \cdot \text{cm}^2$ à 600°C ont été obtenues sur des cellules symétriques. Ces électrodes ont par la suite été intégrées dans des cellules complètes. Des études préliminaires en modes PCFC ont été menées, montrant des résultats prometteurs. Une étude approfondie de la stabilité de ces électrodes et de leurs mécanismes de conduction ionique (O^{2-}/H^+) doit maintenant être menée.



References

- [1] Kim, J.; Sengodan, S.; Kim, S.; Kwon, O.; Bu, Y.; Kim, G (2019), Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 109, p. 606-618
- [2] Tsvetkov, N.; Kim, D.; Jeong, I.; Kim, J. H.; Ahn, S.; Lee, K. T.; Jung, W (2023), Advanced Materials Technologies, vol. 8 (n° 20), p. 2201075

SO7 : Influence of gas phase impurities on the oxygen exchange kinetics of mixed conducting oxides

Clément Nicollet

Nantes Université, CNRS, Institut des Matériaux de Nantes Jean Rouxel, IMN, F-44000 Nantes, France

Oxygen exchange reaction at the surface of mixed ionic and electronic conductors is critical for many applications ranging from heterogeneous catalysis to energy conversion devices such as solid oxide fuel cells and electrolyzers. For the latter, the kinetics of oxygen exchange at the air electrode is the main contributor to activation over potentials that limits the overall performance of the device. It is widely accepted in the community that the main descriptor for the reaction rate is the ionic and electronic conductivities of the oxide. However, bulk transport properties fail to explain the wide discrepancies of surface reaction rate reported in the literature for nominally identical materials.

In the past few years, new studies have emerged focusing on surface chemistry and the role of surface impurities in defining the rate of oxygen surface exchange on those materials^{1,2}. It is now clear that small amount of acidic species are detrimental for the oxygen exchange kinetics, while basic species can enhance the reaction rates by several orders of magnitude in some cases.

Until now, previous work have focused on intentionally adding those species as solid impurities prior to the measurements of oxygen exchange kinetics, which limits the exploration to solid state compounds, whereas it is suspected, and sometimes demonstrated, that gas phase impurities can also have a dramatic influence on the oxygen exchange kinetics³.

In this contribution, we aim at studying the impact of gas phase impurities on oxygen surface exchange rates more systematically. The studies focuses on Praseodymium doped ceria as a model mixed conductor, known for its remarkable stability under various operating conditions as well as its fast ionic conductivity. The measurements of oxygen surface exchange are done *via* electrical conductivity relaxation, and a specifically designed gas monitoring system allows precise introduction of impurity species in the gas stream to systematically study their effect on the surface exchange coefficients. The results are discussed with respect to the concentration and acidity of the impurities, their reactivity with the Pr doped ceria ceramics, and their adsorption energetics.

1. Nicollet, C. *et al.* Acidity of surface-infiltrated binary oxides as a sensitive descriptor of oxygen exchange kinetics in mixed conducting oxides. *Nat Catal* **3**, 913–920 (2020).

2. Riedl, C. *et al.* *In situ* techniques reveal the true capabilities of SOFC cathode materials and their sudden degradation due to omnipresent sulfur trace impurities. *J. Mater. Chem. A* **10**, 14838–14848 (2022).

3. Siebenhofer, M. *et al.* Electronic and ionic effects of sulphur and other acidic adsorbates on the surface of an SOFC cathode material. *J. Mater. Chem. A* **11**, 7213–7226 (2023).

SO8 : Electrochemical Stability of a SOFC under Marine-Relevant Sodium Chloride Aerosol Exposure: Long-Term Testing and Reactivity Insights

(1) Stefan Henfling^{1*}, Annie Le Gal La Salle², Olivier Joubert²

¹CEA, CEA Tech Pays de la Loire, 44340 Bouguenais, France

²Nantes-Université, CNRS UMR 6502 – IMN – Institut des Matériaux de Nantes Jean Rouxel, 44300 Nantes, France

³CEA/LITEN, CEA Centre de Grenoble, 38054, Grenoble, France

*E-mail: stefan.henfling@cea.fr

Keywords: Solid oxide fuel cell, cathode, electrochemical impedance spectroscopy

The use of solid oxide fuel cells (SOFCs) offers a promising route to reduce greenhouse gas emissions in the maritime transport sector. This study investigates the long-term electrochemical stability of a SOFC operating under marine-relevant environmental conditions over 1120 hours.

An anode-supported cell with a lanthanum strontium cobalt ferrite (LSCF) cathode was exposed to alternating dry and humidified air, as well as to sodium chloride (NaCl) aerosols at different concentrations, to assess its degradation behavior. Notably, no significant acceleration in the performance decline was observed during exposure to the concentrated NaCl aerosol of $0.1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (more than twice the typical upper limit of sea-level concentrations) suggesting the cell's robustness against NaCl. The global voltage degradation rate showed a decreasing trend over time, from $45 \text{ mV}\cdot\text{kh}^{-1}$ at the start of operation to $12 \text{ mV}\cdot\text{kh}^{-1}$ toward the end of the test. Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) analysis revealed that this degradation was primarily driven by an increased polarization resistance at a frequency of $f = 3 \cdot 10^3 \text{ Hz}$ associated with charge transfer processes at the anode triple phase boundary. Scanning electron microscopy (SEM) analysis showed that the cathode surface near the gas outlet at the cell edge remained intact, whereas early signs of strontium (Sr) segregation were observed in the central region of the cathode, corresponding to the air inlet, probably promoted by humidity.

Reactivity studies between NaCl and LSCF demonstrated that NaCl promotes Sr segregation from LSCF at 850°C (in NaCl vapor). No detectable Sr segregation occurred after 7 days of contact at 750°C . These findings support the observed electrochemical stability of the cell at 750°C towards the NaCl aerosol.

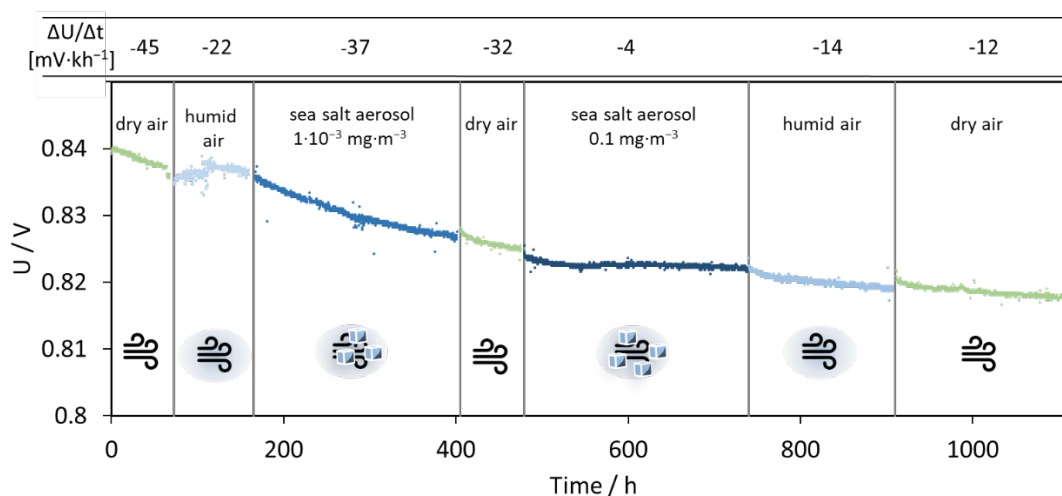


Figure: Evolution of the cell voltage at $0.5 \text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$ under different cathode gas stream conditions.

SO9 : Diagnostic électrochimique d'une nouvelle électrode à oxygène architecturée pour application SOFC

F. Brunet-Coy, S. Fourcade, F. Mauvy

CNRS, Université de Bordeaux, Institut de Chimie de la Matière Condensée de Bordeaux (ICMCB), 87 Av. Dr. Schweitzer, F-33608 Pessac Cedex, France

Les piles à combustible à oxyde solide (SOFC) et les électrolyseurs à oxyde solide (SOEC) sont reconnus pour leur rendement thermodynamique élevé, pouvant [1]. Toutefois, le développement de systèmes commerciaux exige une amélioration des performances électrochimiques. Dans ce contexte, la mise au point de matériaux d'électrode à oxygène nouveaux, fiables et robustes demeure un enjeu crucial. En s'appuyant sur les avancées récentes concernant les matériaux et les microstructures d'électrodes [2,3], la présente étude est consacrée à de nouvelles électrodes à oxygène architecturées ainsi qu'aux méthodes de diagnostic électrochimique des électrodes. Dans le domaine des mesures sur cellules complètes, l'analyse de la réponse électrochimique en configuration à trois électrodes (avec une Electrode de Référence, RE) a déjà été rapportée dans la littérature [4]. Il devient ainsi possible de déterminer séparément la polarisation de l'Electrode de Travail (WE) de celle de la Contre-Electrode (CE) [5]. En outre, placer une électrode de référence (RE) à la fois du côté oxygène et du côté hydrogène permettrait une analyse spécifique de la contribution électrochimique de chaque électrode en conditions de fonctionnement. Cette approche est également utile pour vérifier la stabilité des différents composants lors de mesures de vieillissement.

À cet effet, l'élaboration des demi-cellules commence par la préparation d'un électrolyte en Cérite Dopée au Gadolinium (GDC). Un squelette poreux de GDC a ensuite été déposé par sérigraphie sur l'électrolyte à partir d'une formulation d'encre optimisée. Ce squelette a été infiltré à l'aide d'une solution de nitrate de praséodyme afin d'obtenir l'électrode architecturée GDC/PrO_{2-x}. Enfin, la conductivité ionique et la résistance de polarisation (Rp) de l'échantillon ont été déterminées par Spectroscopie d'Impédance Electrochimique (SIE) sous air de 800°C à 500 °C. Sur la base de cette électrode architecturée, une cellule en configuration à trois électrodes a été réalisée. L'électrode de référence a été déposée sur la tranche de la demi-cellule et collée à l'aide d'une encre de platine. Des mesures SIE sous polarisation continue (E_{dc}) ont ensuite été effectuées en fonction de la température afin de déterminer la courbe de polarisation (courbe de Tafel) de l'électrode à oxygène. Par ailleurs, une cellule complète constituée de NiO-8YSZ/8YSZ/GDC10/GDC-PrO_{2-x}, sur laquelle l'électrode à oxygène optimisée a été sérigraphiée, a été caractérisée en configuration à quatre électrodes, avec une électrode de référence (RE) disposée sur chacune des faces. Une étude électrochimique préliminaire selon cette méthodologie sera présentée.

- (1) Stambouli, A. B.; Traversa, E. Solid Oxide Fuel Cells (SOFCs): A Review of an Environmentally Clean and Efficient Source of Energy. *Renewable & sustainable energy reviews* **2002**.
- (2) Tucker, M. C.; Cheng, L.; DeJonghe, L. C. Selection of Cathode Contact Materials for Solid Oxide Fuel Cells. *Journal of Power Sources* **2011**, *196* (20), 8313–8322. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2011.06.044>.
- (3) Nicolle, C.; Flura, A.; Vibhu, V.; Fourcade, S.; Rougier, A.; Bassat, J.-M.; Grenier, J.-C. Preparation and Characterization of Pr₂NiO_{4+δ} Infiltrated into Gd-Doped Ceria as SOFC Cathode. *J Solid State Electrochem* **2016**, *20* (7), 2071–2078. <https://doi.org/10.1007/s10008-016-3211-x>.
- (4) Cimenti, M.; Co, A. C.; Birss, V. I.; Hill, J. M. Distortions in Electrochemical Impedance Spectroscopy Measurements Using 3-Electrode Methods in SOFC. I – Effect of Cell Geometry. *Fuel Cells* **2007**, *7* (5), 364–376. <https://doi.org/10.1002/fuce.200700019>.
- (5) Finklea, H.; Chen, X.; Gerdes, K.; Pakalapati, S.; Celik, I. Analysis of SOFCs Using Reference Electrodes. *J. Electrochem. Soc.* **2013**, *160* (9), F1055–F1066. <https://doi.org/10.1149/2.093309jes>.

SO10 - Mesures de la conductivité électrique en température du LSC et LSCF, matériaux d'électrode à oxygène pour les SOFC/SOEC

M. Massoule¹, S. Alamome¹, D. Vincent¹, A. Pereira¹, S. Di Iorio¹, B. Morel^{1*}

Univ. Grenoble Alpes, CEA-Liten, 38000 Grenoble, France

[*] Auteur à contacter : bertrand.morel@cea.fr

L'assemblage d'une pile à combustible ou d'un électrolyseur à oxyde solide (SOFC/SOEC) implique la connexion mécanique et électrique d'un certain nombre de cellules et d'interconnecteurs en série. Le contact électrique entre l'électrode à oxygène et l'interconnecteur est un des points clefs pour obtenir un stack performant. Ce contact est souvent facilité par l'utilisation d'une couche de contact appliqué sous forme de pâte ou d'encre lors du montage du stack.

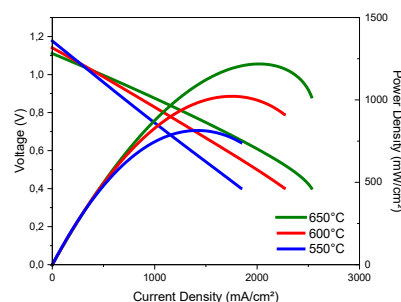
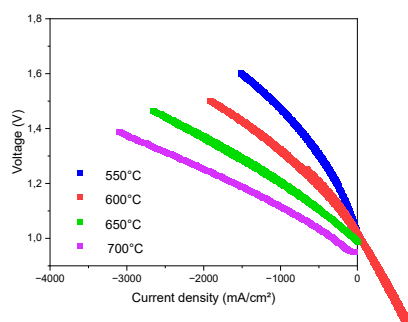
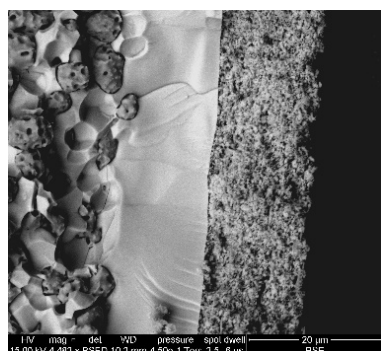
Ce travail vise à mesurer la conductivité électrique de 2 matériaux classiques d'électrode à oxygène LSC et LSCF sur la plage 20-800°C sous air. Il s'agit donc de mesurer la conductivité électrique sur une électrode mise en forme dont l'épaisseur varie entre 20 et 40 μm avec une porosité de l'ordre de 40%. On est donc loin des mesures de conductivité électrique faites traditionnellement sur pastille dense. Pour ce faire, un dispositif de mesure de conductivité électrique 4 pointes a été développé au laboratoire. Il a été testé dans un premier temps sur des feuillards en K41X et Ni pur afin de valider le dispositif. Ensuite, des mesures ont été réalisées sur l'électrode à oxygène de cellules complètes de chez Elcogen (LSC), SRT (LSCF) et CEA (LSCF). Ces mesures vont permettre d'alimenter en données expérimentales les modèles développés au labo, de qualifier différents matériaux pour les couches de contact et in fine, d'optimiser le contact électrique entre l'électrode à oxygène et l'interconnecteur.

SO11 : Optimisation du procédé de mise en forme des cellules de types PCE(F)C

Paul Pers, Jeanne Boissadie, Gilles Taillades

*Institut Charles Gerhardt de Montpellier, Université de Montpellier, 1919 Route de Mende 34293
Montpellier cedex 5, France*

La technologie d'électrolyse de l'eau basée sur des électrolytes à conduction protonique de type BaZrCeYO_3 suscitent un intérêt croissant pour la production d'hydrogène bas carbone. Ces systèmes peuvent présenter des performances équivalentes à celles des SOEC à des températures inférieures, sont potentiellement plus réversibles et stables. L'émergence de la technologie PCEC nécessite une optimisation des procédés de mise en forme et une mise à l'échelle. Parmi les procédés envisageables, le co-coulage en bande de l'électrode à hydrogène (NiO-electrolyte) et de l'électrolyte est parfaitement adaptée à la mise à l'échelle. L'optimisation de ce procédé afin d'obtenir les microstructures adaptées est essentiel afin d'atteindre de bonnes performances. Les derniers développements, qui seront décrit dans cette communication, ont permis d'obtenir un électrolyte de 10 microns d'épaisseur qui présente une microstructure de type bambou en évitant la ségrégation de l'yttrium, la diffusion du nickel ou un dé titrage en baryum qui diminuent sensiblement la conductivité. Les performances électrochimiques atteignent $0.9\text{A}/\text{cm}^2$ à $1,3\text{V}$ en mode électrolyse et $1\text{W}/\text{cm}^2$ à 600°C en mode pile à combustible.



Microstructure et performances de la cellule PCE(F)C optimisée.

The authors acknowledge support from ANR under the France 2030 program (ANR-22-PEHY-0006, PROTEC project)

SO12 : Électrolyse assistée par l'oxydation du méthane

M. Legrée, C. Comminges, N. Bion

CNRS, Université de Poitiers, Institut de Chimie des Milieux et Matériaux de Poitiers-IC2MP, Poitiers, France

Les systèmes à oxyde solide se montrent particulièrement attractifs pour les applications « Power-to-gas », notamment du fait de leur adaptabilité.¹ L'électrolyse assistée par l'oxydation du méthane illustre bien cette flexibilité en gommant les frontières entre pile et électrolyseur. Dans cette méthode, l'électrolyse de l'eau et/ou du CO₂ est réalisée à la cathode tandis que l'anode est alimentée par un flux de méthane subissant une oxydation (cf. Figure 1). Le bénéfice de cette idée est double : d'une part l'oxygène produit à l'anode est valorisé par réaction avec le méthane pour produire des molécules d'intérêt (CO, H₂, C₂H₄, C₂H₆, ...) et d'autre part, les réactions d'oxydation du méthane ayant un potentiel plus bas que le simple dégagement d'oxygène, elles ont pour effet de dépolariiser la cellule.² Le défi majeur de cette technologie consiste à trouver un matériau d'anode qui soit à la fois un bon conducteur, stable chimiquement et qu'il soit un bon catalyseur de conversion du méthane (oxydation partielle et couplage oxydant).^{3,4}

L'IC2MP a développé un banc de test permettant de caractériser les performances d'un tel système en analysant précisément l'atmosphère anodique par chromatographie et spectrométrie de masse (cf. figure 1). Des expériences sur des matériaux de l'état de l'art en électrolyse (LSCF, LSM/YSZ, LSM/GDC) ont permis d'observer le phénomène de dépolariisation attendu ainsi que de mettre en évidence une activité électrocatalytique vers les molécules ciblées (éthane, éthylène, propane, ...).

[1] IEA. *Solid Oxide Electrolysis: A Technology Status Assessment*, 2023

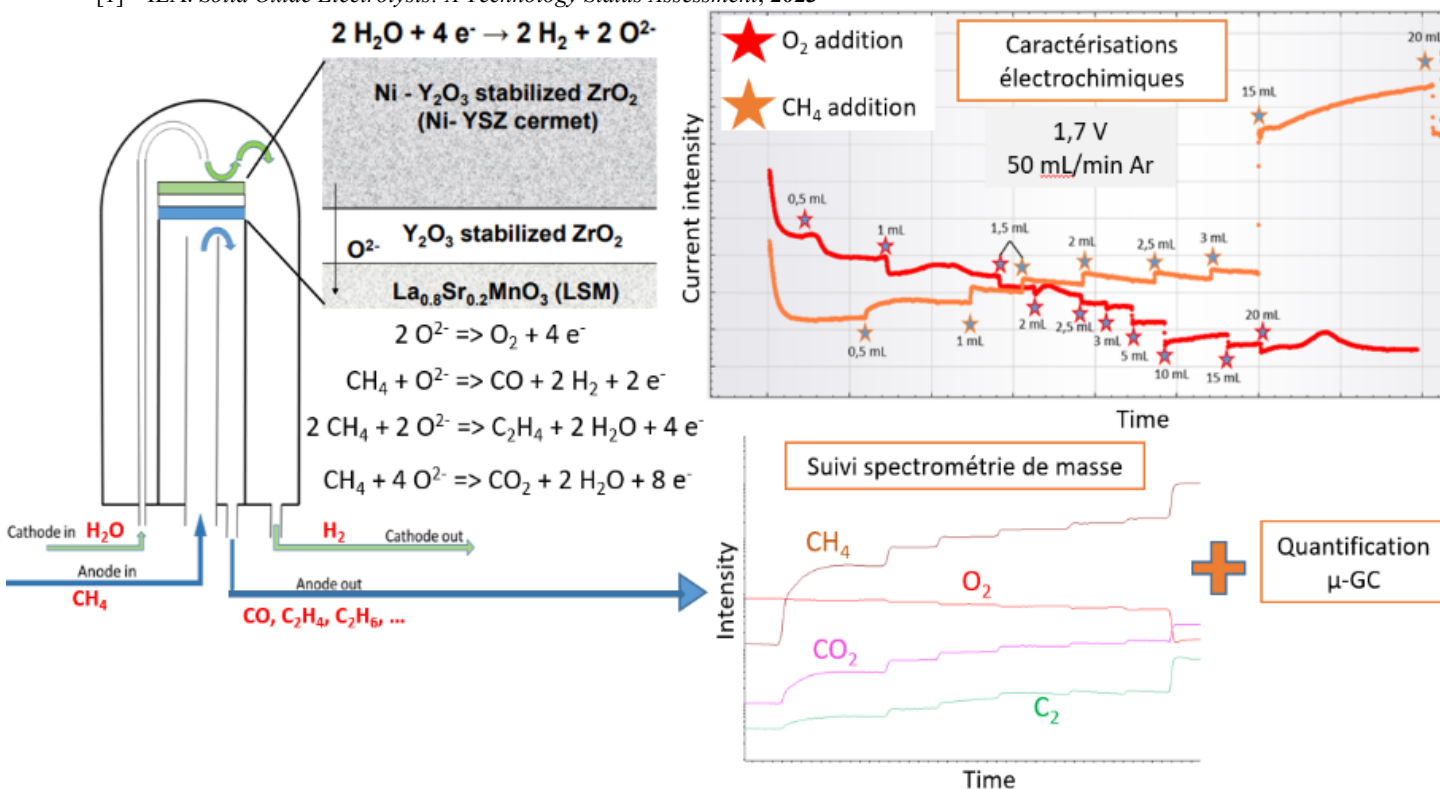


Figure 13 : Dispositif expérimental pour l'électrolyse assistée par l'oxydation du méthane.

[2] Martinez-Frias, J., Pham, A.-Q., M. Aceves, S. *Int. J. Hydrog. Energy* **2003**, 28, 483

[3] Zhu, C., Hou, S., Hu, X., Lu, J., Chen, F., Xie, K. *Nat. Commun.* **2019**, 10, 1173.

[4] Vilela, V. B., Thyssen, V. V., Fayard, F. F., Massim, L., Florio, D. Z. de, Ferlauto, A. S., Steil, M. C., Fonseca, F. C. *ECS Trans.* **2023**, 111, 1957.

SO13 : Toward Hydrogen-Powered Aircraft: SOFC Performance, Durability, and Operating Challenges

V. B. Vilela, C. Rossignol, L. Dessemond, F. Fournet-Fayard, C. Jourdin and M. C. Steil

Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, Grenoble INP (Institute of Engineering and Management), LEPMI, 38000, Grenoble, France

The global aviation sector faces increasing pressure to transition toward carbon-neutral technologies to meet sustainability goals. In this context, the EU-funded HYdrogen eLectrical Engine Novel Architecture (HYLENA) project develops a novel aircraft propulsion system integrating hydrogen-fueled Solid Oxide Fuel Cells (SOFCs) with turbomachinery [1]. The concept exploits both the electrical output of the SOFC and its high-temperature waste heat, enabling shaft efficiencies up to 65% with near-zero CO₂ and low NO_x emissions. Achieving this performance demands compact, lightweight, and durable SOFC stacks, as well as a detailed understanding of their operational limitations and degradation mechanisms [2]. The HYLENA consortium focuses on optimizing SOFC technologies, stack design, and thermodynamic cycle simulations to enhance performance, reduce weight, and minimize hydrogen consumption. A critical aspect of this research involves evaluating the performance and degradation mechanisms of anode-supported commercial SOFCs under varying operational conditions. Two different SOFC architectures were evaluated: Cell A featured a thin Ce_{0.9}Gd_{0.1}O_{2-δ} (GDC) barrier layer and a single-layer La_{1-x}Sr_xCoO_{3-δ} (LSC) cathode, while Cell B employed a thicker barrier layer and a dual-layer La_{1-x}Sr_xCo_{1-y}Fe_yO_{3-δ} (LSCF) based cathode with a GDC composite layer. Experimental investigations were conducted to assess the impact of hydrogen/air flow rates, temperature (700–850 °C), and cathode gas composition (O₂, H₂O, and CO₂) on cell efficiency. Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) and steady-state i-U-P curves were employed to assess the SOFC performance. Electrochemical characterization revealed consistently superior performance of Cell A, which achieved peak power densities up to ~1.3 W·cm⁻² at 800 °C, compared to ~1.0 W·cm⁻² for Cell B, both at 0.75 V of cell voltage. Hydrogen utilization tests revealed the expected trade-off between current output and fuel efficiency. Both cells reached utilization values in the 50–60% range at optimized flow conditions (20/60 ml·min⁻¹·cm⁻²). At low fuel flow, high utilization was achieved but at the cost of performance due to diffusion limitations. Temperature variation confirmed strong thermal activation, with performance nearly doubling between 700 °C and 850 °C. At lower operating temperatures, performance was limited by increased ohmic resistance, resulting from reduced ionic conductivity of the electrolyte, and by higher activation overpotentials associated with slower electrochemical reaction kinetics. Oxygen partial pressure (pO₂) tests further emphasized cathode limitations, with both cells showing current-limiting behavior below pO₂ = 0.07 atm. Durability and thermal cycling experiments revealed pronounced degradation under stress-test conditions (~1 and 1.5 A·cm⁻² at 800 °C). Cell A, despite its higher performance, exhibited faster degradation primarily due to ohmic resistance growth associated with cathode degradation, as confirmed by post-test SEM/EDX analysis. Overall, Cell A is a more advanced, state-of-the-art design that achieves higher efficiency and power density. Nevertheless, challenges remain regarding long-term robustness, cathode stability, and gravimetric power density. Addressing these aspects is essential to integrating SOFC technology into hydrogen-electric aviation concepts, such as HYLENA.

[1] HYLENA. Research. <https://research.airbus.com/en/products-systems/hylenea> (accessed 2025-09-10).

[2] Nehter, P.; Geisler, H.; Ahilan, V.; Friedl, S.; Rohr, O.; Walter, A.; Metzner, C.; Zimmermann, K. Solid Oxide Fuel Cells for Aviation. *ECS Trans.* **2023**, 111 (6), 143.

SO14 : Long-term operation of electrolysis stacks: component stability, design scale-up & system integration

**J. Aicart⁽¹⁾, B. Gonzalez⁽¹⁾, S. Di Iorio⁽¹⁾, K. Couturier⁽¹⁾, A. Laplace⁽²⁾, K. Vulliez⁽¹⁾,
M. Petitjean⁽¹⁾, F. Bosio⁽¹⁾, G. Cubizolles⁽¹⁾**

(2) Univ. Grenoble Alpes, CEA-Liten, 38000, Grenoble, France,

(2) Univ. Montpellier, CEA-ISEC, 30207, Bagnols-sur-Cèze, France

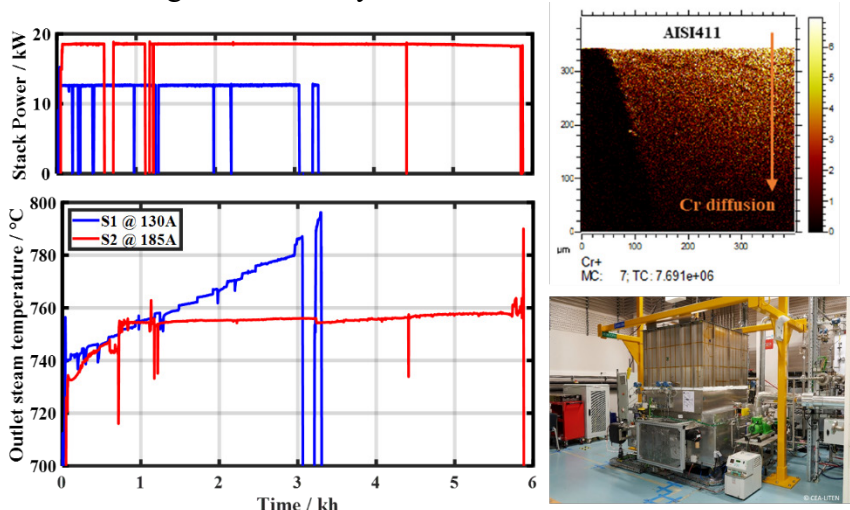
High Temperature Electrolysis (HTE) allows producing low-carbon H₂ with game-changing efficiencies compared to low temperature technologies. Consequently, HTE can help decarbonize heavy industries that rely on fossil-based H₂ as a chemical for their processes. However, to turn high efficiencies into a competitive levelized cost of H₂, significant cost reduction must still be achieved. Increasing stack lifetime and unit power both have significant cost-reduction potential. Thus, in recent years, CEA Liten has been manufacturing solid oxide stacks of increasing DC power, and conducted endurance tests in electrolysis mode to both demonstrate the potential of the technology and better understand the main drivers of degradation.

A 6.7 kh test was carried out with a standard 25-repeat unit, 2.5 kW_{DC} stack. Operation was sustained in thermoneutral conditions to maximize efficiency and limit thermal gradients across the stack. Consequently, stack temperature evolved over time to compensate degradation, from an initial 670°C to 770°C [1]. The cells, interconnects, and seals were then analyzed post-mortem using a variety of techniques [2] to assess their long-term stability.

The stack design scale-up efforts have successively yielded 12.6 kW_{DC} and 18.6 kW_{DC} prototype stacks [3,4]. They both were operated over 6 kh until failure, and have respectively produced 1.1 and 3.0 tons of H₂ over their lifetimes before dramatic events precipitated their end-of-life.

Finally, a four-stack one-module system of 10 kW_{DC} has been designed, manufactured and operated [5] to investigate operational strategies and thermal interactions between stacks. The on-going test sequence has recently passed 8 kh of operation. Analysis of system efficiencies gives insights on relevant system designs towards high efficiency industrial modules.

This overview presentation aims at sharing the most relevant findings across a range of studies dedicated to long-term electrolysis stack tests carried out at various scales.



(Left): Endurance tests of 12.6 kW_{DC} and 18.6 kW_{DC} stacks in electrolysis mode.

(Top): ToF-SIMS map of Cr recorded on an interconnect after 6.7 kh of operation.

(Bottom): Picture of a 4-stack rSOC system.

- [1] J. Aicart, A. Surrey, L. Champelovier, K. Henault, C. Geipel, O. Posdziech, J. Mougouin, *Fuel Cells* **2023**, 23, 463–473.
- [2] J. Aicart, K. Couturier, M. Hubert, K. Vulliez, M. Elie, L. Champelovier, N. Giacometti, M. Petitjean, B. Morel, B. Gonzalez, et al., *Int. J. Hydrog. Energy* **2024**, 93, 562–573.
- [3] S. Di Iorio, T. Monnet, G. Palcoux, L. Ceruti, J. Mougouin, in *15th Eur. SOFC SOE Forum*, Lucerne, Switzerland, **2022**, pp. 1–13.
- [4] J. Aicart, B. Gonzalez, L. Champelovier, A. Maisse, B. Dhe, G. Palcoux, S. Di Iorio, in *16th Eur. SOFC SOE Forum*, Lucerne, Switzerland, **2024**.
- [5] G. Cubizolles, F. Bosio, S. Fantin, C. Tantolin, S. Alamome, L. Champelovier, B. Gonzalez, J. Aicart, *J. Electrochem. Soc.* **2024**, 171, 104511.

SO15 : De la production d'hydrogène par électrolyse de la vapeur d'eau à 600°C : technologies, défis et développements nécessaires du point d'un point de vue matériaux.

Remi Costa

German Aerospace Center, Institute of Engineering Thermodynamics, Pfaffenwaldring 38-40, 70569 Stuttgart, Germany

L'électrolyse aux températures intermédiaires de l'ordre de 400°C à 600°C est particulièrement attractive produire produire de l'hydrogène en synergies avec de nombreux processus industriels clients. En effet, à production d'hydrogène équivalente, l'intégration de la chaleur industrielle résiduelle dans le procédé d'électrolyse est gage d'une consommation électrique réduite et donc d'efficacité élevée. A ce jour, si les technologies SOC (*Solid Oxide Cells*) et PCC (*Protonic Ceramic Cells*) sont les plus avancées, aucune technologie n'a encore atteint un degré de maturité compatible avec un déploiement à grande échelle. Dans cette contribution, sur la base d'une comparaison expérimentale entre cellules SOC et PCC opérées à basse température ainsi que sur les caractéristiques de performance, comportement et durabilité de cellules, nous discuterons des avantages et des inconvénients de chacune des technologies et nous intéresserons sur la base des processus physiques limitants identifiés à définir des axes de développement majeur afin de permettre un développement et une mise à l'échelle rapide des technologies.

SO16 : Production d'hydrogène sous pression par électrolyse haute température: le projet européen PressHyous

Marie Petitjean (1), Claire Houzé (1), Jérôme Aicart (1), Karl Vulliez (1), Christian Tantolin (1), Julie Mouglin (1), Ibrahim Dünder (2), Andrei Denissenko (2), Philippe Aubin (3), Romain Jordan (3), Jan van Herle (3), Nicolas Valaye (4), Aurélien Breton (4), Nicolas Massué (4), Patrice Tochon (4), Gabriel Magnaval (5), Manuele Margni (5), Simon Haanschoten (6), Daan Kok (6), Eduardo Da Rosa Silva (7), Robert Makkus (7), Marjut Suomalainen (8), Jari Pennanen, Meire Domingos (9), François Maréchal (9)

(1) Univ. Grenoble Alpes – CEA/LITEN, 38054 Grenoble, France; (2) Elcogen, Valukoja 23, 11415 Tallinn, Estonia; (3) Group of Energy Materials, Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne (EPFL), Sion, Switzerland; (4) GENVIA SAS, Plaine Saint Pierre, 34500 Béziers, France; (5) Haute école d'ingénierie HES-SO Valais, Switzerland; (6) HyGear B.V., Westervoortsedijk 73, 6827 AV Arnhem, the Netherlands; (7) Sustainable Technologies for Industrial Processes, TNO, Westerduinweg 3, Petten, 1755LE, The Netherlands; (8) VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo, Finland; (9) Industrial Process and Energy Systems Engineering group, Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne (EPFL), Sion, Switzerland

Les électrolyseurs représentent une solution compétitive pour atteindre les objectifs européens de production d'hydrogène propre. Or, selon les applications, l'hydrogène doit être utilisé à différentes pressions, ce qui nécessite généralement une compression énergivore après sa production. Produire directement de l'hydrogène sous pression dans l'électrolyseur permettrait donc de réduire les coûts de compression, la complexité technologique et d'améliorer l'efficacité globale du procédé.

Dans ce contexte, le projet européen PressHyous, financé par le partenariat Clean Hydrogen et démarré fin 2023, vise à produire de l'hydrogène bas-carbone sous pression à moindre coût. Ce projet doit démontrer le concept à l'aide d'un prototype de 20 kWe ($\approx 13,5$ kg H₂/jour), intégrant un stack d'électrolyse à oxyde solide (SOEC) dans un réacteur pressurisé fonctionnant jusqu'à 30 bar, à 1 A/cm² pendant 4000 heures.

Le projet explore également un concept innovant de stack sans enceinte pressurisée, testé jusqu'à 10 bar, afin de réduire le coût des auxiliaires du système.

Ces deux stacks utiliseront des composants optimisés dans le projet tels que cellules et joints, adaptés à la pression.

Enfin, PressHyous doit fournir des analyses technico-économiques et de cycle de vie pour plusieurs cas d'usages, afin d'évaluer les performances et le potentiel de ces technologies à plus grande échelle (jusqu'à plusieurs centaines de MWe).

SO17 : Nanoparticules de céria dopé au nickel : vers des électrodes plus performantes pour les cellules d'électrolyse à oxydes solides

**Hadrane Bachchar¹, Mathias Barreau^{1,2}, Fengchen Zhou¹, Anastasia Pappa¹
et Spyridon Zafeiratos¹**

¹ *Institut de Chimie et Procédés pour l'Energie, l'Environnement et la Santé (ICPEES), ECPM, UMR 7515 CNRS – Université de Strasbourg, 25 rue Becquerel, 67087 Strasbourg Cedex 02, France*

² *Université de Caen Normandie, ENSICAEN, CNRS, LCS, 14000 Caen, France*

L'hydrogène constitue aujourd'hui une source énergétique alternative pour réduire la dépendance aux énergies fossiles et accompagner la transition vers une économie plus verte. Dans cette perspective, les cellules d'électrolyse à oxydes solides (SOEC), utilisées pour l'électrolyse de la vapeur d'eau à haute température (EHT), représentent une technologie prometteuse grâce à leurs rendements électriques élevés issus de la conversion efficace de l'énergie électrique en énergie chimique. Néanmoins, leur durabilité et leurs performances demeurent limitées par rapport à d'autres procédés d'électrolyse, freinant encore leur commercialisation.

Afin de répondre à ces limitations, l'une des voies de recherche très étudiée récemment consiste à améliorer les performances électrochimiques du cermet Ni-YSZ6 (l'électrode à hydrogène) en intégrant au sein de lui des nanoparticules de céria dopé au Ni [1]. Dans ce travail, en s'appuyant sur la méthode de synthèse développée par Elias et al. [2], puis optimisée par Derafa et al., [3] et Barreau et al., [4] des nanoparticules de céria dopé au nickel, présentant une taille (d'environ 5 nm) réduite et une meilleure distribution homogène, ont pu être élaborées à partir de complexes de type base de Schiff dans un milieu organique.

Les matériaux ainsi obtenus feront ensuite l'objet de tests électrochimiques ainsi que de caractérisations spectroscopiques avancées en conditions operando, permettant une meilleure compréhension de leur comportement dynamique au cours de l'électrolyse de la vapeur d'eau à haute température.

Les références :

[1] J. Zhang, M. Barreau, T. Dintzer, M. Haevecker, D. Teschner, A. Efimenko, W. Luo, and S. Zafeiratos, *ACS Applied Materials & Interfaces* **2024**, 16, 29.

[2] J. S. Elias, M. Risch, L. Giordano, A. N. Mansour, and Y. Shao-Horn, *Journal of the American Chemical Society* **2014**, 136, 49.

[3] W. Derafa, F. Paloukis, B. Mewafy, W. Baaziz, O. Ersen, C. Petit, G. Corbel and S. Zafeiratos, *RSC advances* **2018**, 8, 71.

[4] M. Barreau, D. Chen, J. Zhang, V. Papaefthimiou, C. Petit, D. Salusso, ... and S. Zafeiratos, *Materials Today Chemistry* **2022**, 26, 101011.

SO18 : Matériau de cathode à base de ferrite de lanthane pour l'électrolyse du CO₂ à haute température

Kaisse HAMADA, Cécile ROSSIGNOL, Nicolas SERGENT, Franck FOURNET-FAYARD, Marlu César STEIL and Laurent DESSEMOND

Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, Grenoble INP, LEPMI, 38000 Grenoble, France*

**Institute of Engineering and Management Univ. Grenoble Alpes*

La concentration en CO₂ dans l'atmosphère ne cesse d'augmenter avec un rythme toujours plus rapide, passant de 0,5 à 2 ppm/an [1] au cours des cinquante dernières années. Il est donc urgent de réduire la concentration de CO₂ dans l'atmosphère. À l'heure actuelle, plusieurs méthodes ont été mises au point pour remédier à ce problème, dont l'une consiste à capturer puis convertir le CO₂ en produits chimiques à faible teneur en carbone. Parmi les différentes technologies de conversion du CO₂ l'utilisation de SOEC (Solid Oxide Electrolyser Cell) est identifiée comme l'un des dispositifs les plus prometteurs pour l'électrolyse directe du CO₂ en CO [2-3] avec un rendement élevé [4-5]. Le composant le plus critique de ces cellules est le matériau cathodique. En effet, un dépôt de carbone est observé sur les électrodes Ni-YSZ lors de l'électrolyse à haute température. Notre objectif est d'améliorer les performances cathodiques des SOEC en utilisant la ferrite de lanthane dopée au strontium (La_{0,8}Sr_{0,2})_{0,95}FeO_{3-δ} (LSF) comme matériau cathodique.

L'activité électrochimique et la stabilité du LSF déposé par sérigraphie sur une membrane électrolytique dense de 1 mm d'épaisseur (ZrO₂)_{0,95}(Y₂O₃)_{0,08} (YSZ, zircone stabilisée à l'oxyde d'yttrium) ont été caractérisées dans une cellule symétrique à trois électrodes. Des diagrammes de spectroscopie d'impédance électrochimique en circuit ouvert (OCP) et sous polarisation cathodique, ainsi que des courbes i-V en régime permanent, ont été enregistrés dans trois atmosphères (air, argon et CO₂) entre 600 et 800 °C. À faible P(O₂) (argon et CO₂), la résistance de polarisation ne peut être déterminée avec précision pour la gamme de fréquences de mesure choisie. Pour une telle détermination, une polarisation cathodique supérieure à 0,6 V doit être appliquée. Des caractérisations similaires ont été réalisées sur une cellule d'électrolyse avec YSZ comme électrolyte support et LSM (La_{0,7}Sr_{0,3}MnO₃) comme matériau d'anode. Le compartiment anodique est alimenté par de l'air synthétique et le compartiment cathodique par du CO₂. A 800°C et pour une tension de cellule de 1,8 V, la résistance de polarisation de la cellule est de 4,88 Ω.cm² et la densité de courant de 65 mA.cm⁻², ce qui correspond à une conversion de CO₂ de 9 %. Il convient de noter que la réduction du CO₂ est susceptible de commencer pour une tension de cellule supérieure à 0,8 V, ce qui correspond aux résultats des mesures à trois électrodes

[1] J. G. Canadell, *et al.*, *Proc Natl Acad Sci U S A* **2007**, 104(47), 18866.

[2] S.B. Liu, *et al.*, *J. Mater. Chem. A* **2016**, 4, 17521.

[3] S. Liu, *et al.*, *J. Mater. Chem. A* **2017**, 5, 2673.

[4] J.T.S. Irvine *et al.*, *Nat. Energy* **2016**, 1, 15014.

[5] A. Butler and H. Spliethoff, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2018**, 82, 2440.

SO19 : New materials for hydrogen electrode of Solid Oxide Electrolysis Cells (SOEC)

Laura Huc¹, Christophe Tenailleau¹, Sandrine Duluard¹, Logane Malié¹, Julien Vulliet², Marlu César Steil³, Pascal Lenormand¹

(1) CIRIMAT, Université de Toulouse, Toulouse INP, CNRS, France;

(2) CEA/Le Ripault, DMAT, F-37260 Monts, France

(3) Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mt Blanc, LEPMI, Grenoble INP, CNRS, F-38000 Grenoble

In order to produce hydrogen with a low carbon impact, High Temperature Electrolysis (HTE) is a solution to avoid using fossil fuels. In SOEC, nickel depletion and agglomeration are observed at the interface between the electrolyte (8YSZ) and the hydrogen electrode (cermet, Ni-8YSZ) after 1000h of use¹. This evolution of the cermet morphology leads to the degradation of the cell performance. This study aims to focus on stabilizing the cermet of the HTE cell. Indeed, to limit the depletion and agglomeration of Ni, the chosen strategy is to improve the wettability between yttria stabilized zirconia and nickel (8YSZ/Ni) by reducing the interfacial energy and thus increase the adhesion energy between the two phases¹. For this purpose, the addition of titanium to yttria-stabilized zirconia has been proposed as a means to enhance the system durability¹⁻³.

Ti-doped 8YSZ (xTiYSZ with $0 \leq x \leq 16$ mol% of Ti) powder was synthesized by a modified Pechini process in order to control the stoichiometry and grain size of the powders. A study on the impact of titanium content within the structure of yttria stabilized zirconia was conducted using structural and microstructural analyses on powders and sintered pellets. Measurements of Ni droplet contact angle on modified yttria-stabilized zirconia substrates highlighted the decrease of the interfacial energy upon Ti addition ($\gamma_{\text{SL } 8\text{YSZ/Ni}} = 1,670 \text{ J/m}^2$ and $\gamma_{\text{SL } 3\text{TiYSZ/Ni}} = 0,648 \text{ J/m}^2$ as shown in Tableau 1). Finally, the characterization of electrical properties showed a decrease in ionic conductivity with the addition of titanium ($\sigma_{900^\circ\text{C } 8\text{YSZ}} = 1,10 \cdot 10^{-1} \text{ S/cm}$ and $\sigma_{900^\circ\text{C } 3\text{TiYSZ}} = 0,34 \cdot 10^{-1} \text{ S/cm}$). However, a trade-off between improved wettability and limited degradation of ionic conductivity is possible at low Ti levels. The powder was also screen-printed to fabricate single cells for electrochemical testing, enabling an evaluation of the titanium impact on the cell overall performance. The electrochemical results here obtained will be discussed, in comparison to the structural and microstructural analyses.

Tableau 1 – Photographs of Ni wires on YSZ pellets substituted with 0, 3 and 5 mol% titanium, contact angles and interfacial energy (γ_{SL}) between Ni and the corresponding substrates after 45 min at 1500 °C under Ar/3%vol H₂

x (% molaire)	0	3	5
After 45 min at 1 500 °C			
$\gamma_{\text{SL}} \text{ (J/m}^2\text{)}$	1,670	0,960	0,648
$\theta - 45 \text{ min } (^\circ)$	115(2)	103(3)	98(1)

This work was supported by the CEA, GENVIA and the project CELCER-EHT, grant agreement ANR-22-PEHY-0008, France 2030.

- (1) Tsoga, A.; Nikolopoulos, P.; Naoumidis, A. Modified YSZ/Ni Structures with Improved Stability. *Ionics* **1996**, 2 (5), 427–434. <https://doi.org/10.1007/BF02375822>.
- (2) Mantzouris, X.; Zouvelou, N.; Skarmoutsos, D.; Nikolopoulos, P.; Tietz, F. Interfacial Properties and Structure Stability of Ni/Y₂O₃-ZrO₂-TiO₂ Cermet Anodes for Solid Oxide Fuel Cells. *J Mater Sci* **2005**, 40 (9), 2471–2475. <https://doi.org/10.1007/s10853-005-1977-9>.
- (3) Colomer, M. T.; Guglieri, C.; Díaz-Moreno, S.; Maczka, M.; Boada, R.; Chaboy, J. Effect of Titania Doping and Sintering Temperature on Titanium Local Environment and Electrical Conductivity of YSZ. *Journal of Alloys and Compounds* **2016**, 689, 512–524. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.07.164>.

SO20 : Single-Phase Ni-Doped GDC: A Novel Oxide Material as a Potential Fuel Electrode Candidate for Solid Oxide Electrolysis

Sara TALEB*, V. ZAPATA-RAMIREZ, A. MERIEAU, E. QUAREZ, A. LE GAL LA SALLE, C. NICOLLET, O. JOUBERT

Nantes-Université, CNRS UMR 6502 – IMN – Institut des Matériaux de Nantes Jean Rouxel, 44300 Nantes, France

*sara.taleb@cnrs-imn.fr

While the Ni/YSZ cermet electrode remains the state-of-the-art hydrogen electrode for high-temperature electrolysis, the Ni/GDC cermet is gaining increasing attention as a promising alternative, owing to its extended reaction sites provided by the mixed electronic-ionic conductivity of the GDC phase under reducing atmosphere [1]. However, the limited long-term durability of these electrodes, mainly due to Ni coarsening and depletion, remains a key barrier to commercial viability. A novel approach to mitigate Ni migration is Ni exsolution [2], in which the Ni catalyst is initially incorporated as a dopant into the GDC lattice under oxidizing conditions, followed by its partial exsolution as nanoparticles anchored on GDC grain surfaces under a reducing atmosphere (**Fig. 1**). For instance, the effect, if any, of infiltrating single-phase Ni-doped GDC (NGDC) into conventional Ni/YSZ or emerging Ni/GDC electrodes has not yet been reported in the literature. This work focuses on the study of a novel oxide material, single phase Ni-doped GDC ($\text{Ce}_{0.9}\text{Gd}_{0.1}\text{O}_{2-\delta}$)_{0.95}Ni_{0.05}O_{2-δ} (NGDC), synthesized via auto-combustion using the glycine-nitrate process. To evaluate the eventual impact of post-synthesis treatments, such as calcination temperature and ball milling, on the electrochemical performance of the hydrogen electrode, electrolyte-supported symmetric cells were fabricated by screen-printing the synthesized powder onto commercial 8YSZ electrolyte substrates. Preliminary results show that the ASR at 700 °C in humidified H₂ for electrodes based on the NGDC powder is similar to that of commercial powder: 0.47 Ω·cm² for NGDC, versus 0.54 Ω·cm² for GDC and 0.49 Ω·cm² for Ni/YSZ. In parallel, and for the first time, the infiltration of NGDC into commercial electrodes of symmetric cells is being investigated. Structural and microstructural characterizations were carried out using X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), energy-dispersive X-ray spectroscopy (SEM-EDS), thermogravimetric analysis (TGA), laser granulometry, and Brunauer-Emmett-Teller (BET) surface area analysis. Electrochemical performance was evaluated by electrochemical impedance spectroscopy (EIS).

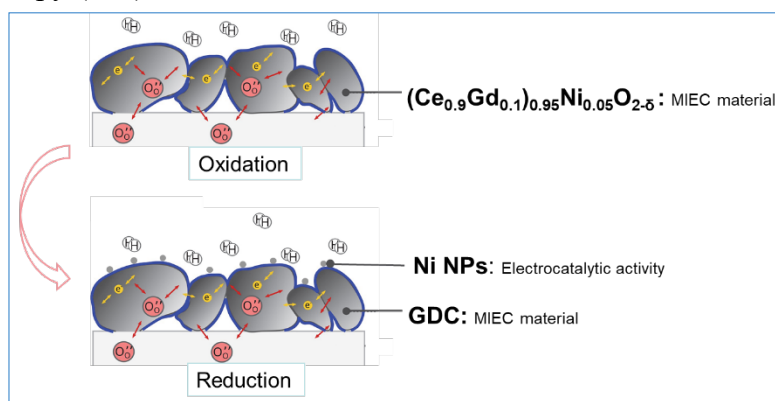


Fig. 1: Schematic illustration of the exsolution phenomenon (L. Thommy, thesis manuscript, Nantes University, 2015)

Acknowledgments: The authors acknowledge support from the French National Research Agency (ANR) under the France 2030 program, reference ANR-22-PEHY-0008 (project PEPRH2: CELCER-EHT)

References:

- [1] A. Nenning, M. Holzmann, J Fleig, A. Opitz, *Mater. Adv.*, **2021**, 16, 5422-5431
- [2] J. Tan, D. Lee, J. Ahn, B. Kim, J. Kim, J. Moon, J. *Mater. Chem. A*, **2018**, 6, 18133

SO21 : Influence de la nature des plastifiants dans la formulation de coulage en bande NiO-3YSZ sur le séchage et les comportements mécaniques des bandes crues pour les applications de piles à combustible

C. Guillet¹, E. Bechade¹, E. Bichaud², R. Billard², C. Bourgès¹, P-M. Geffroy¹

¹ IRCER, UMR7315, 12 Rue Atlantis, 87280 Limoges, France

² SRT Microcéramique, 4 Rue de Mons, 41100 Vendôme, France

Le coulage en bande est un procédé largement utilisé dans la mise en forme de piles à combustible de type Solide Oxide Fuel Cell (SOFC). Cependant, leur fabrication demande l'utilisation de produits parfois nocifs pour l'opérateur et l'environnement tel que les phtalates. Cependant, ces additifs sont utilisés et nécessaires pour faciliter la mise en forme et améliorer la qualité finale des bandes en cru. [1]

Cette étude vise à évaluer l'influence de la nature du plastifiant sur la qualité de la bande en cru et sur l'intensité des contraintes résiduelles générées pendant le séchage. Cette étude a pour but également de proposer des plastifiants alternatifs présentant un faible impact environnemental.

Pour ce faire, des formulations ont été préparées à partir de 4 plastifiants de différentes natures. Le séchage des bandes coulées a été étudié, notamment l'évolution de l'intensité des contraintes dans la bande permettant de définir les différentes étapes du séchage via un montage original basé sur le principe d'un cantilever [2]. Dans cette méthode, la déflexion du cantilever, mesuré précisément par des lasers, permet de déterminer l'augmentation des contraintes pendant le séchage. De manière complémentaire, des tests de traction ont permis de caractériser le comportement mécanique en cru des bandes en fonction de la nature du plastifiant.

Les résultats démontrent que la nature du plastifiant a une influence importante sur l'évolution des contraintes dans la bande lors du séchage. De même, la nature du plastifiant affecte de manière non négligeable le comportement mécanique en cru de la bande avec une contrainte à rupture variant de 0,5 MPa à 1,3 MPa selon le plastifiant. Enfin, la densité en cru de la bande varie très significativement selon la nature du plastifiant en passant de 2,9 g.cm⁻³ à 3,46 g.cm⁻³. Ceci suppose donc que la nature du plastifiant peut conduire ou non à un réarrangement de l'empilement granulaire au cours du séchage.

Ces résultats indiquent que le plastifiant a une influence importante sur l'étape de séchage, la qualité, le comportement mécanique et la microstructure des bandes en cru. Cela montre qu'un choix optimal de la nature du plastifiant permet d'améliorer la qualité des bandes en cru (pas de fissures ou contraintes internes) pour la fabrication de SOFC en réduisant par ailleurs l'impact environnemental du procédé.

[1] R. E. Mistler et E. R. Twiname, Éd., *Tape casting: theory and practice*. Westerville, OH: American Ceramic Society, 2000.

[2] P.-M. Geffroy, H. Schubert, J. Günster, et A. Zocca, « Quantification of in-plane stress development during drying of tape-cast ceramic layers by cantilever deflection method », *J. Eur. Ceram. Soc.*, vol. 45, n° 1, p. 116868, janv. 2025, doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2024.116868.

SO22 : New Anode Materials for Solid Oxide Fuel Cells powered with various gas mixtures

The hydrogen energy vector offers a great potential for enhancing intermittent renewable energy systems, which are rapidly expanding. Hydrogen can be produced by using electrolysis powered by electricity from renewable energies and utilized in fuel cells for energy storage and transportation afterwards. This ensures energy availability when renewable sources are inactive or distant from consumption areas.

Currently, polymer membrane fuel cell systems are technologically advanced but still require extremely pure hydrogen. In contrast, Solid Oxide Fuel Cells (SOFCs), although less mature, they operate at high temperatures and employ either anionic or proton conduction. They can utilize diverse fuels, such as syngas derived from biomass gasification, and function in reversible modes, alternating between electrolyzer and generator operations [1,2].

This study focuses on new anode materials for solid oxide fuel cell operating at high temperatures developed in frame of FLEXISOC project. Ce-rich and Zr-rich

Ce_{0.63}Zr_{0.33}Sm_{0.04}O_{1.99} cermets with 10%wt of Ni, prepared by co-precipitation-impregnation method will be presented, and characterized by DRX and SEM.

This presentation will highlight on promising electrochemical property of this samples by using electrochemical impedance spectroscopy. Symmetrical cells based on these compounds, tested under H₂/Ar 5/95 atmosphere, showed excellent performance, corresponding to charge transfer and mass transfer phenomena.

As a part of this work, these complete fuel cell prepared with YSZ/GDC (Zr_{0.85}Y_{0.15}O_{1.93} /Ce_{0.8}Gd_{0.2}O₂) as electrolyte and LSCF (La_{0.6}Sr_{0.4}Co_{0.2}Fe_{0.8}O₃) as cathode show great performance, with high stability over time when feed by hydrogen but also by a mixture of CH₄ and CO₂.

[1] Singh, M. (2021). *Int. J. Hydrog. Energy*, 46(54), 27643-27674.

[2] Sharma, M. (2016). *Renew. sustain. energy rev.*, 60, 450-463.

The authors acknowledge support from the French National Research Agency (ANR) under France 2030 program and reference ANR-PEHY-00 (project PEPRH2)

SO23 : Effect of fuel composition on the performance and stability of solid oxide fuel cells

Gudaysew T. YENESEW,¹ Annie LE GAL LA SALLE¹, Gilles TAILLADES², Paul PERS², Clément NICOLLET¹, Eric QUAREZ¹, Olivier JOUBERT¹

¹Nantes Université, CNRS, Institut des Matériaux de Nantes Jean Rouxel, IMN, F-44000 Nantes, France

²Institut Charles Gerhardt de Montpellier, ICGM, 1919 route de Mende, 34293, Montpellier, France

Abstract

Solid oxide fuel cells possess the unique capabilities of high efficiency and fuel flexibility, which form the basis of the potential for direct hydrocarbon utilization. This study examines the performance of solid oxide fuel cells with different gas compositions, including CH₄, H₂, CO₂, and steam. This study explores effect of fuel composition on the stability and carbon deposition on the cells. Under controlled fuel flows, the experiments for both oxide ion and the proton-conducting fuel cells were run at 700°C for fuel cell systems and electrochemical performance was evaluated. The findings indicate that for the mixed feeds which consisted of CH₄ and H₂ with sufficient steam, there is optimal stability with high power density, and degradation is reduced. However, fuel cell systems with unblended CH₄ were operationally promising at the beginning, but with time performance began to degrade due to fuel electrode coking which is due the deposition of carbon. The inclusion of H₂ and high steam concentration in the feed gas matrix prevented coking and enhanced stability. These findings provide evidence to the fact that SOFCs can directly utilize methane when optimal operational conditions are used to minimize the potential for carbon-related degradation. The phase stability of the electrode materials was assessed after operation and confirmed by X-ray diffraction (XRD). Scanning electron microscopy (SEM) was also used for surface morphology and shows the degradation of the fuel electrode for cells operating on pure methane. This project is funded by PROTEN project.

Keywords:

Solid oxide fuel cell, methane, hydrogen, coking, fuel flexibility and composition, steam reforming, fuel electrode degradation



SO24 : Innovative, flexible Electrochemical devices based on proton-conducting ceramic electrolytes

J. Boissadie, P. Pers, G. Taillades

Institut Charles Gerhardt de Montpellier, Université de Montpellier, 1919 Route de Mende 34293 Montpellier cedex 5, France

Currently, most research on high-temperature technologies focused on PCE(F)C and SOE(F)C. Only 1% of recent literature focuses on hybrid systems, which appears to be very promising [1].

The hybrid system is a combination of SOEC and PCEC, meaning that the electrolyte will be a mixed proton and anion conductor.

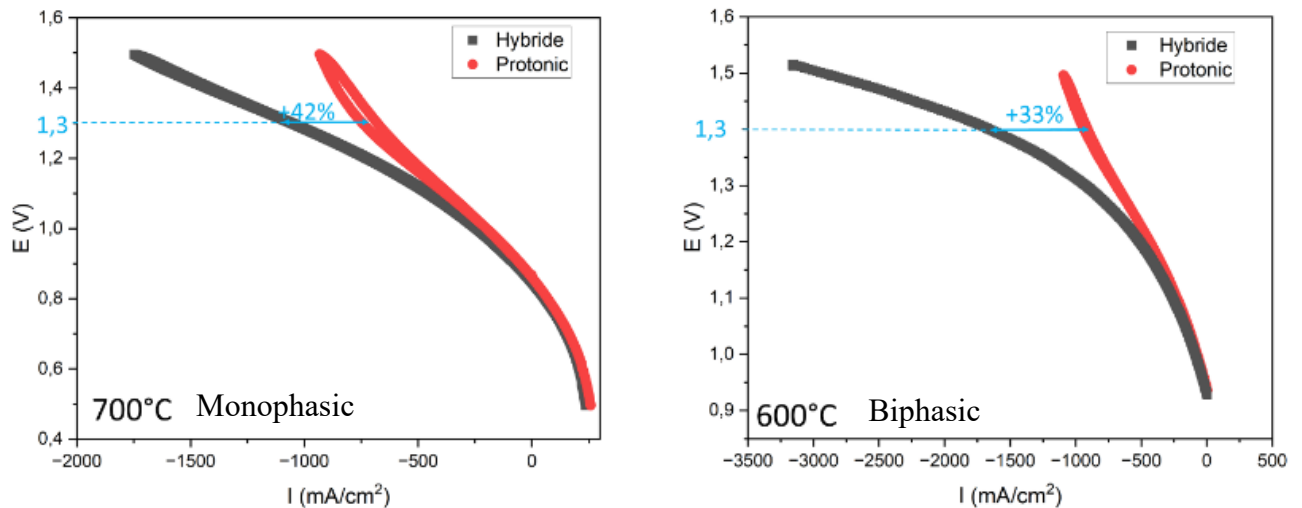
This technology has the advantages of producing more hydrogen and oxygen compared to SOEC and PCEC. These systems also improve efficiency and significantly reduce power surges. Finally, these cells enable higher current densities at low potentials, which directly reduces the energy required for hydrogen production.

Two approaches were tested to achieve this dual conduction: a single-phase electrolyte ($\text{BaZr}_{0.1}\text{Ce}_{0.7}\text{Y}_{0.1}\text{Yb}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ and $\text{BaZr}_{0.1}\text{Ce}_{0.8}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$) and a composite ($70\%\text{BaCe}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}-30\%\text{Ce}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{2-\delta}$). The single-phase electrolyte is a proton conductor but also an anion conductor at high temperature. Whereas, the biphasic electrolyte contains a proton conductor and an anion conductor.

In this study, electrolyte and electrode materials were synthesised using the glycine-nitrate process and characterized. Next, the cells were shaped and analysed using SEM before being tested electrochemically.

The two cells manufactured on a nickel-cermet as support electrode with an electrolyte (monophasic and bi-phasic) and $\text{LnBa}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Co}_{1.5}\text{Fe}_{0.5}\text{O}_{5+\delta}$ as the oxygen electrode showed remarkable performances in hybrid mode compared to protonic mode, with a current density of $1.0\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$ under 1.3V at 700°C and $0.9\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$ under 1.3V at 600°C for monophasic and biphasic electrolytes, respectively.

Polarization curves of water electrolysis for the comparison of the performances in protonic and



hybrid modes

[1] Lahrichi, A., El Issmaeli, Y., Kalanur, S. S., & Pollet, B. G. (2024). Advancements, strategies, and prospects of solid oxide electrolysis cells (SOECs): Towards enhanced performance and large-scale sustainable hydrogen production. *Journal of Energy Chemistry*.

The authors acknowledge support from ANR under the France 2030 program (ANR-22-PEHY-0006, PROTEC project)

SO25 : New proton-conducting ceramics for hydrogen production by electrolysis

R. Mendez¹, Y. Leconte², A. Zaki³, G. Dezanneau¹

¹*Université Paris-Saclay, CentraleSupélec, CNRS, Laboratoire de Génie Electrique et Electronique de Paris, 91192, Gif-sur-Yvette, France*

²*Université Paris-Saclay, CEA, CNRS, NIMBE, LEEL, 91191, Gif-sur-Yvette, France.*

³*Université Paris-Saclay, CentraleSupélec, CNRS, Laboratoire Structures, Propriétés et Modélisation des Solides, 91192, Gif-sur-Yvette, France*

Solid oxide cells (SOCs) based on ceramic materials show great promise for hydrogen production plants due to their superior expected efficiency. Among them, a highly promising technological development involves the use of proton-conducting compounds. In contrast to classical SOC based on oxygen-ion conductors, protonic ceramic cells (PCCs) can produce dry hydrogen at reduced temperatures (400–600 °C) while preserving high efficiency [1]. However, the maturity of PCC technology still needs to be improved to achieve economically viable productivity. There is still intense research on the development of suitable materials for both electrolytes and electrodes in such cells. Electrolyte materials should exhibit very high proton conductivity, stability in both hydrogen- and oxygen-rich atmospheres, limited electronic conductivity, and thermo-chemical compatibility with electrode materials. In this context, we are studying the ternary system $\text{BaCe}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_3\text{--BaCe}_{0.4}\text{Zr}_{0.4}\text{Y}_{0.2}\text{O}_{2.9}\text{--BaCe}_{0.4}\text{Zr}_{0.4}\text{Yb}_{0.2}\text{O}_{2.9}$ in which we mainly play on dopant nature and content to improve materials properties as electrolyte. Basing on previous studies, we will explore the use of advanced synthesis and characterisation tools to accelerate the creation of knowledge. Among them, the ExploraMat platform with its liquid dispensing facilities will be employed to study both ceramics and thin films in a complementary approach. Moreover, the raw materials should display good sinterability and shaping properties suitable for typical shaping procedures such as tape casting and spray or screen-printing deposition. Flame spray pyrolysis (FSP) is an original method to produce very fine powders with controlled stoichiometry and microstructure. First tests show that the powders produced by FSP can be easily sintered to obtain high-density electrolyte materials. In addition, the possibility of obtaining core-shell powders are particularly suitable for tuning the electrochemical properties of electrode materials [2].

[1] Meng, Y., Gao, J., Zhao, Z. et al. Review: recent progress in low-temperature proton-conducting ceramics. *J Mater Sci* 54, 9291–9312 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10853-019-03559-9>.

[2] Pokhrel, S., Mädler, L. et al. Flame-made Particles for Sensors, Catalysis, and Energy Storage Applications. *Energy & Fuels* 34, 13209–13224 (2020). <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c02220>

SO26 : Effect of Zn substitution on densification, stability and conductivity of proton conducting $\text{BaZr}_{0.6-x}\text{Ce}_{0.4}\text{Zn}_x\text{O}_{3-x}$

Electrolyte material plays a key role in the operation of Proton-Conducting Fuel Cells (PCFCs) and electrolyser (PCECs).¹ Perovskite type $\text{BaZr}_{0.8-x}\text{Ce}_x\text{Y}_{0.1}\text{Yb}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ ($0 \leq x \leq 0.8$) is becoming a reference for PCFC or PCEC electrolyte.²

My thesis aims to synthesize and investigate new electrolyte materials based on core elements (Ba, Zr, Ce), with a zirconium-rich composition to ensure chemical stability, and incorporating low-criticality elements (Zn). A second objective is to reduce the number of post-synthesis heating steps, in order to obtain a dense material in a single step (instead of two), and to lower the sintering temperature to a maximum of 1400 °C while maintaining an ionic conductivity above $10^{-2} \text{ S cm}^{-1}$. Various substitutions will be explored on both A and B sites of the ABO_3 perovskite structure to meet both goals while preserving the properties required for an efficient electrolyte. In the first step, the solid solution $\text{BaZr}_{0.6-x}\text{Ce}_{0.4}\text{Zn}_x\text{O}_{3-x}$ was synthesized using the glycine–nitrate combustion method. It has been demonstrated that the incorporation of zinc into the structure allows the synthesis of dense ceramics (RD ~ 90%) in a single-step sintering at 1400 °C for 5 hours. Structural analysis shows that all compositions crystallize in the same space group, $R\text{-}3c$ (No. 167). The influence of Zn substitution on the crystal structure was evaluated through Rietveld refinements (**Figure 1**). A range of characterization techniques, including Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) and Scanning Electron Microscopy (SEM), was used to establish correlations between structural, microstructural, and conductive properties.

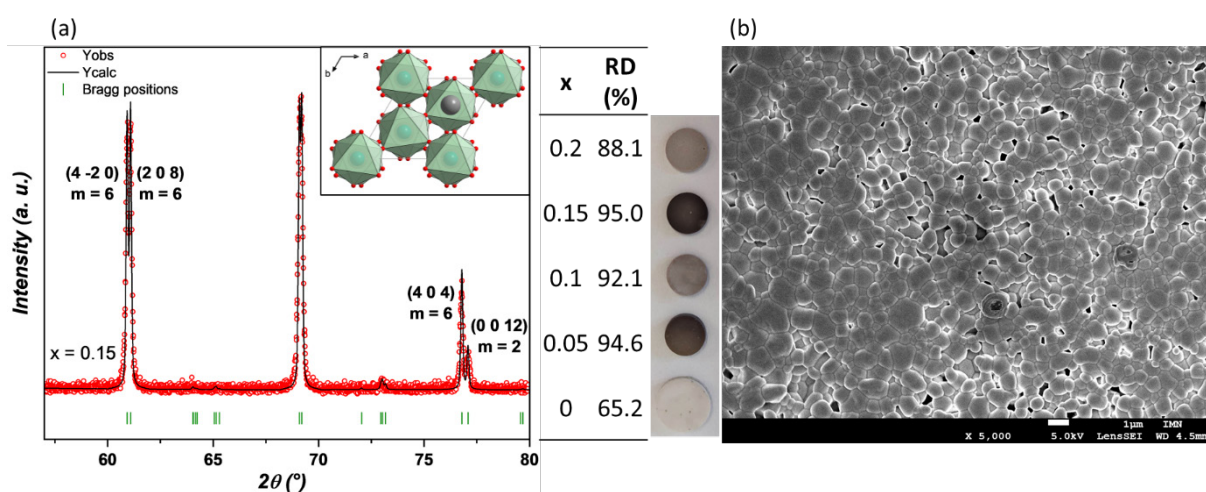


Figure 1 – (a) Relative density (RD) and corresponding pellet images of $\text{BaZr}_{0.6-x}\text{Ce}_{0.4}\text{Zn}_x\text{O}_{3-x}$ ($0 \leq x \leq 0.2$). Rietveld refinement showing characteristic peaks of the $R\text{-}3c$ space group and (b) SEM image for $x = 0.15$.

References

- [1] Wang, Y., *et al.*, *Energy Environ. Sci.*, **2023**, 16 (12), 5721–5770.
- [2] Hamze, L., *et al.*, *Solid State Ionics*, **2024**, 417, 116682.

SO27 : Studies of ammonia decomposition for the production of pressurized hydrogen in reactors based on proton-conducting ceramic membranes

A. Guibert, O. Joubert, C. Nicollet

Nantes-Université, CNRS UMR 6502 – IMN – Institut des Matériaux de Nantes Jean Rouxel, 44300 Nantes, France

As Europe is looking to decarbonize its energy production, alternative energy vectors such as hydrogen (H_2) are becoming relevant. In that regard, transporting it safely and efficiently is of the utmost importance. Thanks to an already existing infrastructure all over the world, ammonia (NH_3) emerged as an excellent hydrogen carrier candidate^[1] because it can readily decompose back to H_2 . The goal of the HADES project is to implement one-step electrocatalytic cracking of NH_3 and better understand the mechanisms involved.

For this purpose, reactors based on $BaCe_{0.1}Zr_{0.8}Y_{0.1}O_{3-\delta}$ proton conducting membranes^[2] can be designed to convert ammonia into pressurized hydrogen. As ammonia is decomposed over the surface of the NH_3 electrode, protons (H^+) can travel across the cell and recombine on the H_2 electrode with the electrons carried over an external electrical circuit. Candidate NH_3 electrode materials can be processed as porous ceramics with various porosities and their transport properties as well as catalytic activity toward NH_3 decomposition can be studied.

Thanks to a newly designed test bench, pulses of ammonia can be sent towards a sample of $BaCe_{0.1}Zr_{0.8}Y_{0.1}O_{3-\delta}$ placed in a furnace and in an airtight nitrogen atmosphere. Gas composition is monitored by a mass spectrometer and the electrical properties of the sample are monitored with 4-point conductivity measurements. The method enables the detection of H_2 production, and the related changes in electrical conductivity of the sample. Then, ammonia decomposition is studied as a function of temperature, flow rate, sample composition and the results are discussed. The changes of electrical resistance are analyzed with respect to adsorption theory.

References

- [1] C.R. Santhosh, Ravi Sankannavar, A comprehensive review on electrochemical green ammonia synthesis: From conventional to distinctive strategies for efficient nitrogen fixation, *Applied Energy*, Volume 352, 2023, 121960, ISSN 0306-2619
- [2] F. He, D. Song, R. Peng, G. Meng, S. Yang, Electrode performance and analysis of reversible solid oxide fuel cells with proton conducting electrolyte of $BaCe_{0.5}Zr_{0.3}Y_{0.2}O_{3-\delta}$, *Journal of Power Sources*, Volume 195, Issue 11, 2010, Pages 3359-3364, ISSN 0378-7753

SO28 : Etude des performances électrochimiques de l'électrode composite ESB-LSM sur électrolyte ESB|YSZ dans les SOFC basse température

Ikram El-Otmani^{1,2}, Aurélie Rolle¹, Pascal Briois², Rose-Noëlle Vannier¹

¹Univ.Lille, CNRS, Centrale Lille, Univ. Artois, Unité de Catalyse et Chimie du Solide, UMR
CNRS 8181, 59651 Villeneuve d'Ascq

²Univ. Franche-Comté-UTBM, FEMTO-ST, UMR CNRS 6174, 2 place Lucien Tharradin 25200
Montbéliard

Les piles à oxyde solide (SOFC) utilisent couramment la zircone stabilisée à l'yttrium (YSZ) comme électrolyte. Bien que ce matériau reste la référence comme matériau d'électrolyte, il demeure problématique d'atteindre une conductivité optimale d'au moins 10 mS/cm à des températures inférieures à 650°C. Des matériaux tels que la cérine dopée au gadolinium (GDC) et l'oxyde stabilisé à l'erbium (ESB) présentent des propriétés de conduction par ions oxyde nettement plus élevées. Cependant, leur instabilité dans une atmosphère réductrice entraîne une perte de rendement dans le cas du GDC du fait de la réduction partielle du cérium IV en cérium III et la dégradation complète de l'électrolyte pour l'ESB, l'oxyde de bismuth se réduisant en bismuth métallique, liquide au-dessus de 271°C.

Pour pallier ces difficultés, Wachsmann¹ a proposé une structure d'électrolyte bicouche intégrant l'ESB, recouvert d'une couche de YSZ ou GDC. L'ESB est placé du côté air, garantissant ainsi la stabilité de l'ESB. Ces configurations permettent d'atteindre une puissance de 2 W/cm² à 650°C, avec des optimisations visant 3,5 W/cm² à 700°C, dépassant les performances actuelles².

L'un des principaux inconvénients des oxydes de bismuth reste leur forte réactivité, rendant difficile la mise au point d'électrodes à air compatibles. Parmi les matériaux d'électrodes possibles, les composites La_{1-x}Sr_xMnO₃-ESB se révèlent prometteurs. Comme l'ont montré Pajot *et al*³, pour un composite contenant 50% en masse d'ESB, la meilleure résistance surfacique spécifique (ASR) est obtenue pour une composition de LSM avec x=0,4-0,5. Lors des tests réalisés sur une demi-pile commerciale comportant un électrolyte d'YSZ d'une épaisseur de 3µm, Soukaina Mountadir a confirmé que la densité de puissance maximale est améliorée lorsqu'une couche dense d'ESB est déposée entre l'électrolyte YSZ et l'électrode à air ESB-LSM, atteignant 0,76 W/cm² à 650°C, contre 0,56 W/cm² sans la couche ESB⁴.

Afin de mieux comprendre l'effet de l'ajout d'une couche dense d'ESB sur les performances électrochimiques d'électrolytes YSZ ou GDC, nous avons mené une étude approfondie sur des cellules symétriques utilisant le composite ESB-LSM comme électrode à air. Différentes techniques de dépôt ont été utilisées, notamment la sérigraphie, le spin coating et la pulvérisation cathodique. Les résultats préliminaires portant sur la synthèse des matériaux, l'optimisation de l'assemblage des cellules, ainsi que sur les caractérisations structurales, microstructurales et électrochimiques, seront présentés. La spectroscopie d'impédance, combinée à l'analyse des temps de relaxation, a permis d'identifier les mécanismes impliqués permettant de définir des pistes d'amélioration des performances des cellules.

Remerciements

Le CNRS, le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche et le programme PEPR-H2 dans le cadre du projet FLEXISOC sont remerciés pour leur financement.

Références

- [1] E.D. Wachsmann, K.T. Lee, Lowering the Temperature of Solid Oxide Fuel Cells, *Science* 334 (2011) 935, DOI: 10.1126/science.1204090
- [2] E.D. Wachsmann, T. Ishihara, J.A. Kilner, Low-temperature solid-oxide fuel cells, *MRS Bulletin* 39 (2014) 773, DOI:10.1557/mrs.2014.192
- [3] M. Pajot, V. Duffort, E. Capoen, A.N. Mamede, R.N. Vannier, Influence of the strontium content on the performance of La_{1-x}Sr_xMnO₃/Bi_{1.5}Er_{0.5}O₃ composite electrodes for low temperature Solid Oxide Fuel Cells, *Journal of Power Sources* 450 (2020) 227649, <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2019.227649>
- [4] Soukaina MOUNTADIR, Elaboration d'une pile à combustible à oxyde solide basse température à électrolyte bicouche, PhD, Lille 2023

SO29: Improvement of the anodic half-cell in a metal-supported architecture using water-based processing

Logane Malié, Sandrine Duluard, Patrick Rozier

CIRIMAT, Université de Toulouse, 118 route de Narbonne, 31062 Toulouse/France

While conventional shaping processes are well established using organic routes, aqueous processing remains more difficult to implement, though it is essential in the framework of sustainable development. Previous studies already demonstrated that sequential aqueous tape casting allows assembling the anodic half-cell densified using a single heat treatment stage, but reveal a limitation in decrease of resistive layer (electrolyte) thickness [1,2]. This study aims to work on the improvement of the anodic half-cell while employing only water based processing. Two aspects will be study: the optimization of the electrolytic layer thickness to reduce the cell resistance and the use of a Ni mechanical support instead of the Ni-YSZ cermet, to study its interactions in the cell in working conditions.

An automated aqueous spraying technique (*Wet Powder Spraying* – WPS) was employed for the sequential deposition of the electrolytic layer (electrolyte and diffusion barrier). Optimization of the initial powder size distribution and dispersion of suspensions proved to be essential for obtaining thin, dense and homogeneous layers. Spraying parameters have been tailored for the control of the microstructure of the ceramic and a composite layer (CGO-YSZ: 50-50 %_{mass}) was added to ensure mechanical adhesion. An electrolytic layer of 26 µm has been obtained which corresponds to a 35 % thickness reduction in comparison with a sequential tape casting process. Switching from a cermet support (Ni-YSZ) to a metallic support brings advantages in terms of cost and performances, but requires a thorough understanding of the densification process of the oxide precursor, its reduction mechanisms into metal, and the evolution under different atmospheres (neutral, reducing, humid). Ni being involved in degradation mechanisms (coarsening, migration), a Ni based mechanical support has been selected. Tape casted bilayers electrode/support samples composed of NiO-YSZ/NiO were obtained, reduced and their microstructures were observed. It has been shown that the choice of the initial powder size distribution governs the mechanical integrity of the interfaces. In-situ EIS experiments under different atmospheres to mimic the life cycle of the SOC are currently on going to link with microstructural observations and determine the evolution of the electrochemical interfaces to both assess performances and degradation mechanisms.

- [1] L. Parvaix, S. Duluard, F. Ansart, P. Lenormand, P. Rozier, Planar Solid Oxide Fuel Cell Fabricated by Aqueous Reverse Sequential Tape-Casting of the Anode, Electrolyte, and Barrier Layer, *Energy Tech* 11 (2023) 2300020. <https://doi.org/10.1002/ente.202300020>.
- [2] L. Parvaix, P. Lenormand, P. Rozier, Designing a Cost-Effective and Sustainable Process for the Efficient Production of Planar Anode-Supported Solid Oxide Fuel Cells, *Energy Tech* 12 (2024) 2400266. <https://doi.org/10.1002/ente.202400266>.

SO30 : Structural, microstructural and electrical characterization of anode coated impregnated FeCrAl metal support for the application of intermediate temperature – metal supported solid oxide fuel cell (MS-IT-SOFC)

S. Dattamandal^{*}, D. Fasquelle

University of Littoral Côte d'Opale, Unit of Dynamics and Structure of Molecular Materials (UDSMM), EA 4476, Calais, F-62228, France

**Email: didier.fasquelle@univ-littoral.fr*

Solid oxide fuel cells (SOFCs) operating in the intermediate temperature (IT) range (500°C–700°C) provide advantages including enhanced material stability, reduced thermal stress, and cost effectiveness. However, it is difficult to develop a durable structure for the MS-IT-SOFCs due to their exposure to high temperatures and redox environments. In this study, FeCrAl alloys are examined as metallic supports for IT-SOFCs, leveraging their unique properties such as excellent oxidation resistance, mechanical strength, and thermal stability.

Lanthanum strontium cobalt ferrite (LSCF) and lanthanum nickel ferrite (LNF) solutions, prepared by sol-gel method, are employed for the impregnation of the FeCrAl metal support. This impregnation process aims to protect the metal fibres of the support by forming a protective layer, thereby enhancing the durability and stability of the FeCrAl structure under desired operating conditions of SOFCs. The impregnated FeCrAl support is deposited with NiO and Ni-CGO anode bi-layers using screen-printing technique. All conditions for optimising the thermal stability and the required quality of the MS anode are also presented. Structural, microstructural and morphological characterizations were carried out using SEM and XRD. Electrical conductivity was studied by Van der Pauw method to assess the electrical behaviour and interfacial resistances of the cells. This study demonstrates the potential of impregnated FeCrAl as a durable metal support for the deposition of NiO anode, facilitating the commercialization of MS-IT-SOFCs.

Keywords: SOFC, FeCrAl, Metal Support, Impregnation, Sol-Gel

SO31 : Electrochemical conversion of propane in a SOE Cell: Influence of anode material on the propylene selectivity

T.G. Rocha¹, F. Fournet-Fayard¹, M.C. Steil¹, S. Loridant², L. Dessemond¹

¹Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, LEPMI, 38000 Grenoble, France

²Université Claude Bernard Lyon I, CNRS, IRCELYON, F-69626, Villeurbanne, France

Over the past 20 years, Solid Oxide Cells (SOC) have been highlighted as a modern pathway to address inherent challenges in global warming topics due to their cogeneration mode of power and chemicals. By feeding SOC with low molecular alkanes, such as propane, the fuel is dehydrogenated to propylene, water and electrons by oxygen species that come to the anode surface through a dense ion conducting membrane¹. In this context, the Oxidative Dehydrogenation of Propane (ODHP) reaction, represented by the global anodic reaction $C_3H_8 + O^{2-} \rightarrow C_3H_6 + H_2O + 2e^-$, can be achieved enhanced propane conversion and improved propylene selectivity by operating at high temperatures (550-600 °C) under applied current, which facilitates C-H and C-C bond activation. However, the alkane activation at the anode surface remains a significant challenge. In this work, ODHP was investigated using a dense 8YSZ (8 mol% Ytria-Stabilized Zirconia) membrane, Pt as cathode material and three lanthanum-strontium-titanium-based anode materials, as follows: La_{0.3}Sr_{0.7}TiO₃ (LST), La_{0.3}Sr_{0.7}TiO₃-Cr (LSTCr) and La_{0.3}Sr_{0.7}TiO₃-Cl (LSTCl). The experiments were conducted at 550 °C, with a three-electrode setup using Pt/air as reference electrode. Electrocatalytic tests were performed under anodic polarization up to 3 V/Air, feeding the anode side with 10% propane in argon while the cathode side was supplied with 5.4 L/h of synthetic air. Outlet gases were continuously analyzed using a micro-gas chromatograph.

The first test performed with LST anode material for ODHP exhibited a low propane conversion of around 1% across the applied current range (0-6 mA). In contrast, the LSTCr anode showed an increase in propane conversion from 0% at Open-Circuit Potential (OCP) to about 2.5% at 3 V/Air (6.5 mA/cm²), while the C₃H₆ selectivity reduced from 70% at 0.8 mA/cm² to around 40% at 6.5 mA/cm² (Figure 1a). Conversely, the Pt/YSZ/LSTCl cell presented lower propane conversion compared to the LSTCr anode, with values decreasing steadily from 2% at OCP to almost no conversion (Figure 1b), likely due to a catalyst deactivation during the polarization protocol. Concerning the product distribution in the three cells, higher polarization was associated with a decrease in propylene selectivity in favor of complete oxidation products, resulting in the CO₂ production, suggesting that oxidative pathways predominate over partial oxidative dehydrogenation. Simultaneously, the presence of C₂H₄, C₂H₆ and CH₄ suggests the occurrence of parallel reactions to ODHP, such as propane cracking, direct dehydrogenation and methyl recombination. Finally, EIS measurements performed after tests revealed an increasing polarization resistance, suggesting possible segregation of inactive phases or morphological changes at the material surface.

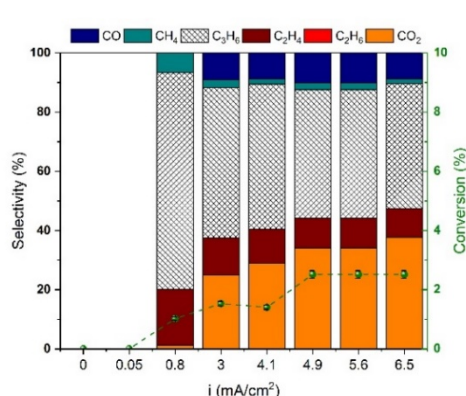


Figure 1a: Propane conversion and product selectivity as a function of the applied current density during 1 hour of operation for the Pt/YSZ/LSTCr cell under 10% C₃H₈/Ar at 550 °C.

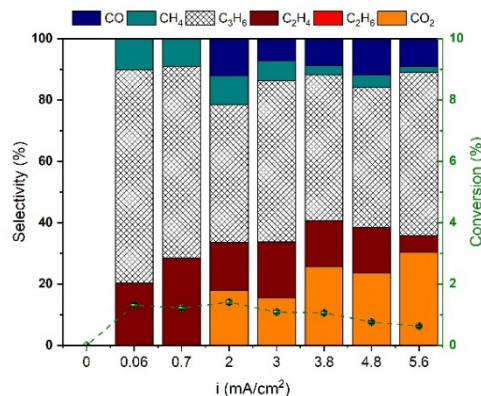


Figure 1b: Propane conversion and product selectivity as a function of the applied current density during 1 hour of operation for the Pt/YSZ/LSTCl cell under 10% C₃H₈/Ar at 550 °C.

SO32 : Echange isotopique polarisé dans des systèmes de type SOEC/SOFC : une nouvelle méthode analytique pour l'étude de la mobilité de l'oxygène

Comminges Clément¹, Manon Alexandre¹, Nau Alexandre¹, Belin Thomas¹, Mazurier Arnaud¹, Bassat Jean-Marc², Bion Nicolas¹

¹ Institut de Chimie des Milieux et Matériaux de Poitiers (IC2MP), Université de Poitiers, CNRS, UMR 7285, 4 Rue Michel Brunet, TSA 51106, F-86073 Poitiers 9, France

² Institut de Chimie de la Matière Condensée de Bordeaux (ICMCB), Université de Bordeaux, CNRS, 87 Avenue du Dr. Albert Schweitzer, F33600, Pessac, France

L'échange isotopique de l'oxygène est une technique puissante permettant de caractériser les paramètres de transport de l'oxygène dans un oxyde solide [1]. Dans une pile à combustible SOFC, l'échange isotopique de surface ainsi que le coefficient de diffusion dans le bulk du matériau sont classiquement déterminés par l'emploi de méthodes destructives tels que l'« *Isotopic Exchange Depth Profiling method* » suivi par une caractérisation *SIMS ex situ*. Malgré la pertinence de cette méthode, l'utilisation de nouvelles techniques *in situ* (ou *operando*) permettant de mesurer la cinétique d'échange isotopique sous contrôle de potentiel reste rare. L'objet de cette étude est le développement d'un système permettant un suivi *in situ* de la cinétique d'échange d'oxygène dans une cellule symétrique à oxyde solide sous polarisation, pour établir l'influence du potentiel sur la mobilité de l'oxygène.

Le fonctionnement du dispositif expérimental développé a été évalué sur une cellule symétrique Pt/YSZ/Pt. Des réactions d'échange homomoléculaire ainsi que d'échange hétérolytique à circuit ouvert ainsi que sous polarisation ont été entreprises afin d'étudier les étapes d'activation de l'oxygène et ainsi d'identifier l'étape limitante parmi la séquence d'étapes élémentaires constituant le processus de transport de l'oxygène dans un système SOFC. A partir des données issues des expériences d'échange isotopique (figure 1.a), il a été possible d'émettre l'hypothèse que l'étape limitante suit une cinétique d'ordre 1. Les constantes de vitesse de l'étape limitante, ici attribué à l'incorporation de l'oxygène dans l'électrolyte, ont pu être extraites à chaque potentiel appliqué. Une évolution exponentielle (figure 1.b) est observable [2]. Cette technique a alors été employée sur d'autres matériaux d'électrodes à oxygène permettant ainsi d'identifier les constantes de vitesses relatives à différents chemins réactionnels dans un conducteur mixte ionique et électronique [3].

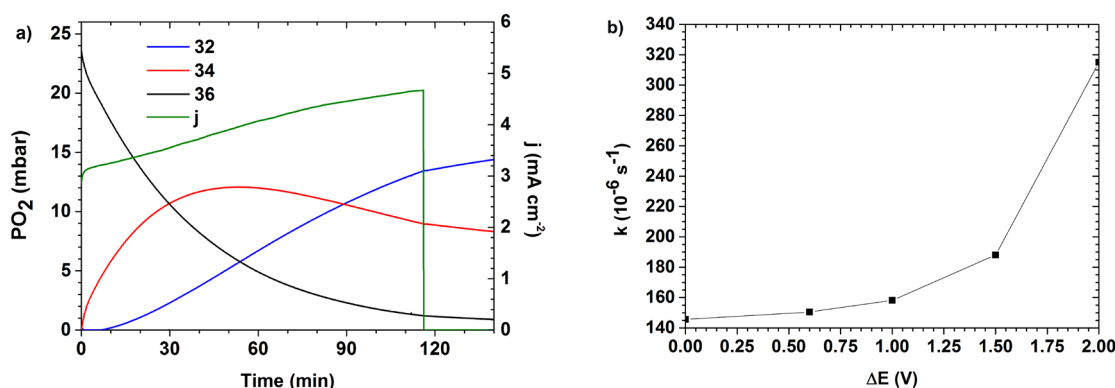


Figure 1 : (a) évolution de la distribution isotopique en phase gaz au cours de la réaction d'échange de ¹⁸O₂ avec la cellule symétrique Pt/YSZ/Pt à 600°C, ΔE=1.5 V ; (b) Evolution de la constante de vitesse du 1^{er} ordre de l'étape limitante en fonction de la tension de cellule.

[1] M. Richard, F. Can, S. Gil, A. Giroir-Fendler, D. Duprez and N. Bion, ChemCatChem, 8 (2016) 1921-1928.

[2] A. Nau, C. Comminges, N. Bion, ChemPhysChem, 21 (2020) 2357-2363.

[3] A. Manon, A. Nau, T. Belin, A. Mazurier, J.M. Bassat, N. Bion, C. Comminges, Chemcatchem, 16 (2024).

SO33 : Méthodologie de criblage haut-débit pour le développement de nouvelle couche barrière pour électrolyseur haute température par pulvérisation cathodique magnétron

RAMOND Matthieu^{1,2}, FOURCADE Sébastien¹, YILDIRIM Gunay², MURAT Yolande², LE CRAS Frédéric^{1,2,3}, MAUVY Fabrice¹

¹CNRS, Univ. Bordeaux, Bordeaux INP, ICMCB – UMR 5026, 87 Av. du Dr Schweitzer 33608 Pessac, France

²CEA, CEA TECH Nouvelle Aquitaine, 28 Avenue Gustave Eiffel, 33600 Pessac, France

³Univ. Grenoble Alpes, CEA, LITEN, 38054 Grenoble, France

Afin de diminuer la réactivité entre les matériaux de l'électrolyte et de l'électrode à oxygène, les électrolyseurs haute température (SOEC) intègrent dans leur architecture une couche dite barrière. Généralement à base de cérine dopée au gadolinium (GDC), elle vise à limiter la formation d'oxydes mixtes isolants, type SrZrO_3 ou $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$, tout en restant perméable aux ions O^{2-} . Pourtant, cette couche n'est pour l'heure que partiellement satisfaisante principalement pour deux raisons. Premièrement, sa mise en forme par coulage en bande requiert un frittage haute température favorisant la formation des oxydes mixtes isolants [1]. Néanmoins, l'étape de traitement thermique pourrait être évitée en contrôlant mieux la microstructure et la densité de la couche lors du dépôt. Permettant la maîtrise de ces paramètres, la pulvérisation cathodique magnétron (sputtering) semble être une solution prometteuse. Si son utilisation a déjà été envisagée, les résultats n'en sont que partiellement satisfaisant, car une étape de recuit à haute température reste nécessaire lors du dépôt de l'électrode à oxygène [2]. Secondement, la couche barrière est constituée d'éléments critiques (cf. terres-rares), rendant délicat le déploiement de cette solution à grande échelle. De nouvelles compositions doivent émerger. En autorisant le dépôt simultané de plusieurs matériaux, la pulvérisation cathodique permet de constituer et caractériser rapidement des bibliothèques de nouveaux matériaux. Cette technique s'intègre ainsi dans une méthode de criblage de haut-débit favorisant l'émergence de compositions innovantes et moins gourmandes en matériaux critique [3].

Pour discriminer ces matériaux, la conductivité ionique de la couche a été retenue, comme critère mesurable et fonctionnel. Toutefois, le développement d'un nouveau dispositif de mesures s'avère nécessaire, mêlant les contraintes des couches minces et celles des hautes températures.

Lors de cet exposé, la méthodologie de travail pour le criblage haut-débit de couches barrières ainsi que les développements d'un montage haute température seront présentés.

- [1] F. Wang *et al.*, « Effect of polarization on Sr and Zr diffusion behavior in LSCF/GDC/YSZ system », *Solid State Ion.*, vol. 262, p. 454-459, sept. 2014, doi: 10.1016/j.ssi.2014.04.002.
- [2] S. Sønderby *et al.*, « Strontium Diffusion in Magnetron Sputtered Gadolinia-Doped Ceria Thin Film Barrier Coatings for Solid Oxide Fuel Cells », *Adv. Energy Mater.*, vol. 3, n° 7, p. 923-929, 2013, doi: 10.1002/aenm.201300003.
- [3] W. Berthou *et al.*, « High-Throughput Experimentation Unveils Composition – Structure – Conductivity Relationships in the Extended LiPON System », *Adv. Energy Mater.*, vol. 14, n° 36, p. 2400656, 2024, doi: 10.1002/aenm.202400656.

SO34 : Optimisation de revêtements protecteurs d'interconnecteurs métalliques pour la production d'hydrogène par électrolyse à haute température

Ndeye Saly DIOUF^{1,2}, Ioana POPA², Maria-Rosa ARDIGO-BESNARD², Pascal BRIOIS¹

¹ *Université Marie et Louis Pasteur, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, CNRS, Institut FEMTO-ST (UMR 6174), F-25200 Montbéliard, France*

² *Université Bourgogne Europe, CNRS, Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne ICB (UMR 6303), F-21000 Dijon, France*

Dans le cadre du plan de relance France 2030, et notamment via les Programmes d'Équipements Prioritaires de Recherche - H₂, le projet CELCER-EHT vise la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau à haute température (700–850 °C), en mettant en œuvre une cellule céramique. Ces systèmes, reconnus pour leur haut rendement, permettent également de réduire les émissions de CO₂ [1].

Un électrolyseur est constitué d'un empilement (ou « stack » en anglais) de plusieurs cellules céramiques élémentaires, reliées par des interconnecteurs métalliques. Ces derniers assurent le transport des gaz et du courant, ainsi que la connexion électrique entre les cellules [2]. Exposés à des atmosphères oxydantes (O₂) et réductrices (H₂/H₂O), et à des températures élevées, les interconnecteurs subissent une dégradation progressive, se traduisant par des phénomènes de corrosion, d'oxydation, ou d'une perte de performance électrique. Pour prévenir ces effets, l'application de revêtements protecteurs devient nécessaire, notamment pour limiter la volatilisation d'oxydes contenant du Cr⁶⁺, tels que CrO₃, formés notamment en atmosphère anodique [3], qui peuvent ensuite réagir avec les espèces présentes dans l'électrode pour former des chromates susceptibles d'altérer les performances de l'électrolyseur.

C'est dans cette optique que s'inscrivent les travaux menés dans cette thèse, visant à développer et évaluer des revêtements protecteurs pour les interconnecteurs en acier inoxydable ferritique K41, sélectionné par le consortium du projet. Ces revêtements sont élaborés par pulvérisation cathodique magnétron en conditions réactives. Ils reposent sur une architecture bi-couche, composée d'une fine couche d'oxyde de terre rare (< 150 nm) en sous-couche, suivie d'un revêtement de type spinelle à base de cobalt (< 2 µm). Cette configuration est conçue pour assurer une bonne conductivité électrique, former une barrière contre la diffusion du chrome, et garantir une résistance accrue à l'oxydation en atmosphère anodique.

Au cours de cette étude, une attention particulière sera portée à la détermination des conditions expérimentales en vue de l'obtention de l'architecture visée du revêtement, ainsi qu'aux caractérisations structurales et microstructurales du substrat et des films élaborés.

Les auteurs remercient l'Agence nationale de la recherche (ANR) pour son soutien dans le cadre du programme France 2030, ANR-22PEHY0003 (projet PEPRH2-CELCER-EHT)

-
- [1] A. Lahrichi, Y. El Issmaeli, S. S. Kalanur, et B. G. Pollet, « Advancements, strategies, and prospects of solid oxide electrolysis cells (SOECs): Towards enhanced performance and large-scale sustainable hydrogen production », *J. Energy Chem.*, vol. 94, p. 688-715, juill. 2024, doi: 10.1016/j.jechem.2024.03.020.
 - [2] C.-M. Hsu, A.-C. Yeh, W.-J. Shong, et C.-K. Liu, « Development of advanced metallic alloys for solid oxide fuel cell interconnector application », *J. Alloys Compd.*, vol. 656, p. 903-911, janv. 2016, doi: 10.1016/j.jallcom.2015.10.029.
 - [3] M. R. Ardigo, « Optimisation d'interconnecteurs métalliques pour la production d'hydrogène par électrolyse de la vapeur d'eau à haute température (EVHT) », phdthesis, Université de Bourgogne, 2012. Consulté le: 30 avril 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://theses.hal.science/tel-00842263>

SO35 : Modélisation de l'oxydation du nickel à l'origine de la fissuration de la zircone dans les cellules à électrolyte solide

Sylvain Fournier¹, Maxime Hubert¹, Thomas David¹, Aurélien Doitrand², Gergely Molnár³, Sylvain Meille², Jérôme Laurencin¹

¹Univ. Grenoble Alpes, CEA-Liten, DTCH ; ²Univ. Lyon, INSA Lyon, CNRS UMR5510, MatéIS

³Univ. Lyon, INSA Lyon, CNRS UMR5259, LaMCoS

Les cellules à électrolyte solide sont des dispositifs de conversion d'énergie à haute température (700°C-850°C) au rendement élevé en mode pile à combustible et en mode électrolyse et pouvant être utilisées dans de nombreux cas d'applications technologiques. Cependant, leur déploiement à grande échelle reste limité par des problèmes de durabilité et de fiabilité, notamment des dégradations mécaniques affectant les électrodes et l'électrolyte [1].

L'électrode « hydrogène » conventionnelle est un cermet composé de nickel et de zircone stabilisée à l'yttrium (Ni-YSZ), qui combine la conductivité électronique du Ni et la conductivité ionique du YSZ. Une défaillance du système (telle que la réintroduction d'air, une fuite de gaz ou une surconsommation de combustible) peut entraîner la réoxydation du Ni. La transformation du Ni en NiO entraîne une expansion volumique dans les pores et induit des contraintes mécaniques sur la structure en YSZ, compromettant son intégrité et la fonctionnalité de l'électrode. Améliorer la robustesse de ces composants, en particulier du cermet, est donc un enjeu majeur.

A ce jour, le seuil de réoxydation du Ni déclenchant la fissuration du cermet n'est pas connu avec précision. Afin de mieux comprendre les mécanismes en jeu, une approche de modélisation de champs de phase est proposée pour simuler la réoxydation du Ni menant au développement de fissures dans la structure du YSZ.

En ce qui concerne l'oxydation du Ni, le modèle prend en compte l'évolution des phases Ni, NiO et porosité au fil du temps. Le modèle tient compte des spécificités du mécanisme d'oxydation du Ni, comme la contrainte induite dans la couche de NiO précédemment exploré par Lin et al. [2], ainsi que le gonflement de l'oxyde, tous deux à l'origine du chargement mécanique de l'YSZ menant à sa fissuration. Contrairement à la majorité des modèles d'oxydation PFM, notre approche suit simultanément l'évolution de deux interfaces (Ni-NiO et NiO-porosité), similairement à l'approche de Zaeem et al. [3], mais dans notre cas appliqué à des microstructures 2D complexes. L'intégration d'un modèle de champ de phase précédemment développé [4] pour la rupture de la structure YSZ est en cours afin d'évaluer la probabilité de fissuration au cours de la réoxydation.

Le modèle d'oxydation a été calibré et validé avec des images microscopiques de cermet soumis à différents états d'oxydation Ni/NiO. Les résultats ont montré que le modèle reproduit fidèlement l'expansion et de la cinétique de l'oxydation pour les couches fonctionnelle et support de l'électrode, aux propriétés structurelles différentes. Le modèle a également permis d'explorer l'influence de paramètres structuraux (taille de particules, tortuosité) pour optimiser la résistance à l'oxydation.

Cette étude illustre le potentiel de la modélisation par champs de phase pour décrypter les mécanismes de dégradation des cellules à électrolyte solide, ouvrant la voie à l'amélioration des microstructures ou à l'identification de matériaux atténuant ces dégradations.

[1] McPhail, S. *et al.* (2021). Addressing planar solid oxide cell degradation mechanisms: A critical review of selected components. In *Electrochemical Science Advances* (Vol. 2, Issue 5). Wiley. <https://doi.org/10.1002/elsa.202100024>

[2] Lin, C., & Ruan, H. (2019). Phase-field modeling of scale roughening induced by outward growing oxide. In *Materialia* (Vol. 5, p. 100255). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.mtla.2019.100255>

[3] Zaeem, M., & El Kadiri, H. (2014). An elastic phase field model for thermal oxidation of metals: Application to zirconia. In *Computational Materials Science* (Vol. 89, pp. 122–129). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2014.03.042>

[4] Abaza, A., Laurencin, J., Nakajo, A., Meille, S., Debayle, J., & Leguillon, D. (2022). Prediction of crack nucleation and propagation in porous ceramics using the phase-field approach. In *Theoretical and Applied Fracture Mechanics* (Vol. 119, p. 103349). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2022.103349>

SO36 : Co-electrolysis coupled experimental-numerical study: mapping operating parameters for stable syngas during cell's lifetime

Panisset Silvère, Petitjean Marie, Aicart Jérôme

CEA, LITEN, Grenoble

H₂O/CO₂ co-electrolysis (CoEl) is increasingly studied as a promising route to syngas (H₂/CO) production, enabling downstream conversion into valuable products such as methanol and dimethyl ether (DME) for the chemical industry, synthetic fuels via Fischer–Tropsch synthesis for aviation and transport, as well as methane and ammonia [1], [2], [3]. CoEl builds on the more mature Solid Oxide Electrolysis (SOEL) technology, which benefits from decades of development in pure H₂O electrolysis. However, the coupled electrochemical and thermochemical reactions involved in CoEl introduce significant challenges in maintaining a stable syngas ratio over the cell's lifetime. To address this, precise control of operating parameters (e.g., temperature, current density, and gas feed composition) is essential to mitigate degradation effects and ensure consistent syngas production for downstream applications.

In this work, a two-dimensional axisymmetric finite element multiphysics model was extended from previous studies [4], [5] and calibrated against experiments on a commercial cathode-supported cell (CSC) composed of a Ni-YSZ cermet support and fuel electrode, a thin YSZ electrolyte, and an LSC oxygen electrode with a GDC barrier layer. The button cell (9.08 cm²) performance was characterized through I-V curves and impedance spectra under various operating conditions, while the outlet gas composition was quantified using micro-GC analysis.

The validated model successfully predicts both cell performance and outlet gas composition across a wide range of temperatures, inlet gas compositions, inlet flow rates, and current densities. Sensitivity analysis further identified key parameters influencing the cell performance and syngas selectivity. Finally, the model was applied to investigate operating windows and potential lifetime conditions, highlighting strategies to stabilize outlet composition under cell degradation.

This combined experimental–numerical approach provides new insights into the optimal operation of CoEl systems and contributes to the development of durable, efficient syngas production routes.

References

- [1] J. Liang, J. Zhu, M. Han, X. Hua, D. Li, et M. Ni, « The development of solid oxide co-electrolysis of H₂ O and CO₂ on large-size cells and stacks », *iEnergy*, vol. 2, n° 2, p. 109-118, juin 2023, doi: 10.23919/IEN.2023.0007.
- [2] M. Machado, R. L. De Souza Junior, J. M. A. R. De Almeida, P. N. Romano, et M. A. S. Garcia, « Syngas enhancement for Fischer-Tropsch integration via solid oxide electrolyzer cell co-electrolysis with or without methane », *iScience*, vol. 27, n° 10, p. 111014, oct. 2024, doi: 10.1016/j.isci.2024.111014.
- [3] C. Choe, S. Cheon, J. Gu, et H. Lim, « Critical aspect of renewable syngas production for power-to-fuel via solid oxide electrolysis: Integrative assessment for potential renewable energy source », *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 161, p. 112398, juin 2022, doi: 10.1016/j.rser.2022.112398.
- [4] L. Bernadet, J. Laurencin, G. Roux, D. Montinaro, F. Mauvy, et M. Reytier, « Effects of Pressure on High Temperature Steam and Carbon Dioxide Co-electrolysis », *Electrochimica Acta*, vol. 253, p. 114-127, nov. 2017, doi: 10.1016/j.electacta.2017.09.037.
- [5] J. Aicart, J. Laurencin, M. Petitjean, et L. Dessemond, « Experimental Validation of Two-Dimensional H₂ O and CO₂ Co-Electrolysis Modeling », *Fuel Cells*, vol. 14, n° 3, p. 430-447, juin 2014, doi: 10.1002/fuce.201300214.

SO37 : Etude numérique du comportement en régime transitoire d'une cellule d'électrolyse à carbonates fondus (MCEC)

**Durand Tsiatsipy^{1,2}, Dominique Grondin¹, Jonathan Deseure³,
Krishna Busawon², Jean-Jacques Kadjo¹**

¹ENERGY-Lab, Université de La Réunion, 15 Avenue René Cassin 97400 Saint-Denis, France

²Université des Mascareignes, Avenue de la Concorde, Roches Brunes, Rose Hill, Maurice

³Université Grenoble Alpes, Université Savoie Mont Blanc, CNRS, Grenoble INP, LEPMI, 38000 Grenoble, France

L'électrolyse à carbonates fondus (MCEC) est considérée comme une technologie alternative pour la production d'hydrogène (H_2) bas carbone ou de gaz de synthèse (H_2+CO) à partir d'électricité renouvelable, telle que le solaire photovoltaïque[1]. Afin d'évaluer la faisabilité du couplage d'une cellule MCEC à une source électrique renouvelable, il est crucial d'étudier son comportement dynamique. L'une des manières d'analyser le comportement de MCEC soumis à une source intermittente, est de recourir à des sollicitations transitoires de type échelon et rampe[2].

Dans ce contexte, cette étude propose le développement et la résolution, à l'aide du logiciel COMSOL, d'un modèle dynamique 2D d'une cellule MCEC, basé sur nos travaux de modélisation stationnaire préalablement validés[3]. Le modèle dynamique considère les réactions électrochimiques, la réaction inverse de gaz à l'eau (Reverse Water Gas Shift) ainsi que les transferts de charges, de matières, de chaleur et de la quantité de mouvement. Des profils de courant transitoires (échelon et rampe) ont été appliqués au modèle pour analyser les réponses temporelles en termes de transferts de charges, de matières et de chaleur.

Les résultats de simulations ont montré que la tension électrique réagit rapidement aux variations abruptes, avec un temps de réponse de quelques millisecondes (0,2s-0,7s). Le transfert de matière a une dynamique plus lente par rapport au transfert de charges. En effet, les fractions molaires de gaz ont besoin d'environ 1,7s pour atteindre un nouveau régime stationnaire. En revanche, le transfert thermique, notamment la température, constitue le phénomène de transfert le plus lent dans la cellule MCEC, nécessitant une période transitoire comprise entre 1h30 et 1h50 avant de retrouver un nouvel état permanent. Ces résultats soulignent que la température, identifiée comme paramètre dynamique le plus critique de la cellule, nécessite une stratégie de contrôle adaptée lors du couplage à une sollicitation électrique très variable, afin de garantir à la fois le bon fonctionnement de MCEC et la production optimale d'hydrogène ou de gaz de synthèse.

Remerciements

Ce travail a reçu le soutien financier de la Région Réunion et de l'Union Européenne – Programme FEDER INTERREG 2021-2027, dont l'Autorité de Gestion est à la Région Réunion. L'Europe s'engage à La Réunion avec le fonds FEDER.

Références

- [1] L. Hu, H. Ekström, G. Lindbergh, and C. Lagergren, 'A Model for Analysis of the Porous Nickel Electrode Polarization in the Molten Carbonate Electrolysis Cell', *J. Electrochem. Soc.*, vol. 164, no. 8, p. H5197, May 2017, doi: 10.1149/2.0311708jes.
- [2] H. Chen, S. Luo, T. Wu, Y. Wang, and X. Xu, 'Dynamic response and safety performance of an anode-supported solid oxide electrolysis cell operating under electrical transients', *Int. J. Hydrog. Energy*, vol. 52, pp. 108–124, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.ijhydene.2023.05.176.
- [3] D. B. Z. Tsiatsipy, D. Grondin, J. Deseure, K. Busawon, and J.-J. Kadjo, 'Optimization of molten carbonate electrolysis cells: Numerical modeling for reducing the risk of carbon deposition and enhancing the heat transfer', *Int. J. Hydrog. Energy*, vol. 138, pp. 1131–1143, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.ijhydene.2025.05.190.

SO38 : Modélisation macroscopique multiphysique d'un stack de pile à combustible à oxyde solide (SOFC)

Takarli Zineb^a, Daniela Chrenko^a, Amine Jaafar^b, Christoph Turpin^b, Marie- Cécile Péra^a

^aUniversité Marie et Louis Pasteur, UTBM, CNRS, institut FEMTO-ST, FCLAB, F-90000 Belfort, France.

^bLAPLACE, Université de Toulouse, CNRS, Toulouse INP, UPS, Toulouse, France.

(zineb.takarli@femto-st.fr)

Les piles à combustible (PAC) constituent une technologie de conversion électrochimique prometteuse pour une production d'énergie décarbonée et efficace. La pile à combustible à oxyde solide (SOFC) est une technologie de pile qui fonctionne à haute température et qui allie rendement élevé et flexibilité vis-à-vis des carburants. Dans ce cadre s'inscrit la thèse menée au sein du projet **FLEXISOC (PEPR H₂)**, en collaboration entre les laboratoires **FEMSTO-ST** à Belfort et **LAPLACE** à Toulouse. Elle porte sur la **modélisation macroscopique multiphysique du stack SOFC et de son système**, fonctionnant en hydrogène pur et en **mélanges gazeux** (CH₄, H₂, CO₂, H₂O), afin de décrire les couplages **thermiques, électriques et fluidiques**, d'évaluer les performances selon les **conditions opératoires** (température, pression, etc.) et de prédire les potentielles dégradations.

Le travail combine la simulation du modèle et sa validation expérimentale.

La présentation introduira le projet et l'objectif global, puis détaillera l'architecture du **modèle multiphysique du stack**, et montrera ensuite les premiers **résultats de simulation obtenus**. Enfin, elle précisera que les essais complémentaires sur le stack et son système ainsi que la validation expérimentale des modèles constitueront les perspectives de ce travail.

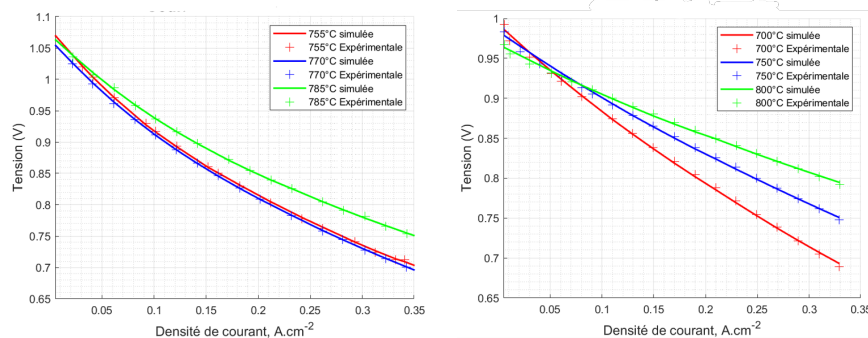


Figure : résultats de validation du modèle électrique quasi-statique sur deux stacks SOFC (S-design et R-design)

Remerciements : Ce travail a été soutenu par EIPHI Graduate School (contract ANR-17-EURE-0002) et la région Bourgogne Franche-Comté et par le projet FLEXISOC PEPR Hydrogène.

Références :

- [1] J. Lesmayoux, « Caractérisation et modélisation en régimes statique et dynamique d'un stack pile à combustible à oxyde solide de température intermédiaire (IT-SOFC) », phdthesis, Institut National Polytechnique de Toulouse - INPT, 2022.
- [2] M. Chnani, « Modélisation Macroscopique de piles PEFC et SOFC pour l'étude de leur couplage », phdthesis, Université de Franche-Comté; Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, 2008.
- [3] J. Lesmayoux, A. Jaafar, C. Turpin, O. Rallières, T. Hordé, J. Göös, et M. Noponen, "Modélisation quasi-statique d'un stack de pile à combustible à oxydes solides," dans Plénières du GDR HySPaC, Le Croisic, France, 11-13 juin 2019.
- [4] M. Chnani, M. C. Péra, R. Glises, et J. M. Kauffmann, "Macroscopic model of solid oxide fuel cell stack for integrating in a generator simulation," dans 7th European SOFC Forum, p. 19, juillet 2006.

SO39 : Caractérisations électrochimiques et infiltration catalytique des cellules SOFC fonctionnant sous biogaz

Ariel KABWAYA KONGOLOJA^{1,2*}, Lionel COMBEMALE¹, Pascal BRIOIS², Gilles CABOCHE¹

1.Laboratoire ICB, Dijon, France

2.Université Marie et Louis Pasteur, UTBM, CNRS, Institut FEMTO-ST UMR6174, 25200 Montbéliard, France

Pour faire face aux enjeux climatiques et environnementaux, le développement de moyens de production d'énergie propre n'utilisant pas les énergies fossiles (pétrole, charbon) s'impose. Le biogaz issu de systèmes de méthanisation à partir de déchets organiques industriels ou agricoles est amené à jouer un rôle essentiel dans le mix énergétique de demain pour la production d'électricité et chaleur [1].

Ce travail doctoral, financé par le projet Interreg France-Suisse ELECTRIVERT, a pour objectif de valoriser localement l'énergie apportée par la biomasse, en particulier le biogaz, en promouvant sa conversion en électricité grâce à des systèmes de pile à combustible de type SOFC (Solid Oxide Fuel Cell) [2]. Les SOFC présentent l'intérêt de pouvoir utiliser du biogaz sans purification préalable. L'architecture des piles utilisées dans le cadre de cette étude est constituée d'une anode en NiO-8YSZ (oxyde de nickel et zircone stabilisée à l'yttrium), d'un électrolyte en 8YSZ et d'une cathode en LSCF (Oxyde de lanthane et de strontium dopé au cobalt et au fer). La mise en forme de l'anode et de l'électrolyte a été réalisée par tape-casting avant densification par Co-frittage de la demi-cellule anode/électrolyte. La cathode a ensuite été déposée par spray coating.

Cependant, le choix du biogaz comme combustible implique l'utilisation de catalyseurs au sein de l'anode. Ces derniers, souvent des métaux de transition, permettent d'effectuer un reformage interne (RIP) du CH₄ en gaz de synthèse H₂ et CO, comme illustré sur la Figure 1, tout en limitant la formation et le dépôt de carbone. Les éléments métalliques utilisés au cours de cette étude sont : Cu, Co, Fe ou Sn.

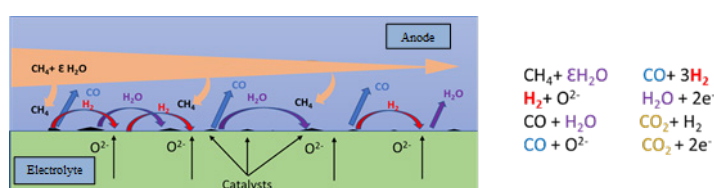


Figure 1. Reformage interne progressif à l'interface Anode-Electrolyte

Sur ce poster seront présentés : les procédés de fabrication et de mise en forme des cellules utilisées, les premiers résultats issus des caractérisations électrochimiques (courbes I-V et impédance) ainsi que ceux issus de l'infiltration des catalyseurs (Cu, Fe et Sn). Les prévisions et perspectives pour la suite de ce travail seront également présentées.

[1] W. Wang, C. Su, Y. Wu, R. Ran, et Z. Shao, « Progress in Solid Oxide Fuel Cells with Nickel-Based Anodes Operating on Methane and Related Fuels », Chem. Rev., vol. 113, no 10, p. 8104-8151, oct. 2013, doi: 10.1021/cr300491e.

[2] <https://www.interreg-francesuisse.eu/les-projets-aides/electrivert>

*Ariel.kabwaya-kongoloja@u-bourgogne.fr

SO40 : Study of Dense Ceria-Based Interface Layers for Enhanced Stability in High-Temperature Electrolysis Cells

Omar Rahmouni¹, Eric Aubry¹, Alain Billard¹, Monica Bernal Salamanca¹, Giulio Cordaro², Armelle Ringuedé², Pascal Briois¹

¹Université Marie et Louis Pasteur, UTBM, CNRS, Institut FEMTO-ST (UMR6174), F-25200 Montbéliard

²Université PSL, Chimie ParisTech, CNRS, Institut de Recherche de Chimie Paris, Paris, France

This study is carried out within the framework of the CELCER-EHT project, part of the PEPR (Priority Research Programs and Equipment) initiative led by CNRS-France, which aims to develop next-generation High-Temperature water vapour Electrolysis (HTE) cells with improved performance and long-term stability. The main objective of this work is to design and develop thin, dense interface layers that limit chemical reactivity and interdiffusion between the yttria-stabilized zirconia (YSZ) electrolyte and the oxygen electrode materials. By stabilizing these interfaces, the durability and efficiency of HTE cells can be significantly enhanced.

Reactive magnetron sputtering is employed for the synthesis of buffer layers, focusing primarily on ceria-based ceramics (GDC) due to their favorable electrochemical properties [1]. The GDC layers are deposited using a Ce-Gd (90-10 at. %) alloy target. In parallel, an alternative composition, $\text{Ce}_x\text{Pr}_{1-x}\text{O}_{2-x}$, is synthesized from dual metal targets under reactive conditions to further optimize oxide-ion conductivity (O^{2-}), reduce electronic conductivity, and ensure chemical compatibility with both the electrolyte and oxygen electrode materials.

After optimizing the deposition parameters, the films are characterized structurally and microstructurally using X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), and surface profilometry. The electrochemical performance of the interface layers is evaluated by electrochemical impedance spectroscopy (EIS) on symmetrical electrolyte-supported cells incorporating LaSrCoFeO_3 -based air electrodes.

The results demonstrate the potential of engineered interface layers to improve the stability and performance of HTE cells, contributing to the advancement of durable, high-efficiency technologies for sustainable hydrogen production.

Acknowledgements

This work is part of the PEPR-H₂ program managed by the Agence Nationale de la recherche under the France 2030 program, referenced as ANR-22-PEHY-0008.

References

[1] Brahim, C., Ringuedé, A., Gourba, E., Cassir, M., Billard, A., & Briois, P. (2006). Electrical properties of thin bilayered YSZ/GDC SOFC electrolyte elaborated by sputtering. *Journal of Power Sources*, 156(1), 45-49.

SO41 : Performant and Efficient Planar Proton-conducting Electrolysis Reactor: the PEPPER project

Remi Costa, and the PEPPER consortium

German Aerospace Center, Institute of Engineering Thermodynamics, Pfaffenwaldring 38-40, 70569 Stuttgart, Germany

The global hydrogen market is expanding rapidly, with demand projected to reach 175 million tons by 2030. In Europe alone, clean hydrogen supply is expected to hit 170 GW and 20 Mt H₂ per year, still short of the estimated 30 Mt H₂ needed—highlighting a 10 Mt H₂ supply gap. This is primarily due to the low capacity factor of renewables and the high energy demand of current electrolysis technologies.

Electrolysis using high-temperature steam can reduce electricity consumption by up to 20% at nominal rates, particularly where industrial waste heat is available. Many industrial processes—such as refining and chemical production—generate heat in the form of steam within the 400–600°C range, ideal for integration with electrolysis systems. Reusing this heat can cut emissions and energy costs associated with hydrogen production.

Proton-Conducting Ceramic Electrolysis Cells (PCCEs) operate effectively in this intermediate range. Their design allows for steam and hydrogen stream separation and enables electrochemical compression, reducing the need for mechanical compression. This makes PCCEs uniquely suited for decarbonizing hard-to-abate sectors.

Led by DLR (Germany), the PEPPER consortium gathers research and industrial partners across Europe including AVL (Austria), CEA (France), CNRS (France), DTU (France), EIFER (Germany), ELCOGEN (Estonia) and Grant Garant (Czech Republic).

The PEPPER project aims to develop two scalable, high-efficiency planar PCCEL technologies for operation at 600°C. The project integrates sustainability aspects by reducing reliance on critical raw materials and validating performance under industrial conditions. The goal is to scale up cells to 100 cm², integrate them into short stacks, and assess their long-term durability and efficiency.

By comparing this technology with existing SOEL-based systems, PEPPER will assess both environmental and economic impacts. The project will deliver a roadmap to guide commercialization and industrial uptake by 2035, supporting Europe's leadership in clean hydrogen technologies.

Acknowledgment

The project is supported by the Clean Hydrogen Partnership and its members (PEPPER, Grant agreement ID 101192341). Co-funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or Clean Hydrogen Partnership. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

Fédération de recherche Hydrogène

**RESUMES DES PRESENTATIONS DE LA SESSION
SYSTEMES**

**Responsables scientifiques : Nadia Yousfi Steiner &
Christophe**

**REUNION PLENIERES FRH2 d'Annecy,
17-21 novembre 2025**

SYS 1 : Optimisation des performances et de la durabilité des systèmes hydrogène en utilisant un jumeau numérique avancé (OPUS-H2)

Raphaël Gass, Dominique Grondin, Cédric Damour, Michel Benne
ENERGY-Lab, Université de La Réunion, Saint-Denis, France

La modélisation numérique contribue à améliorer les performances et la durabilité des piles à combustible PEM en permettant un diagnostic précis des états internes, ce qui permet d'établir un meilleur contrôle en temps réel des paramètres clés de fonctionnement (pression, température, humidité, répartition des flux).

Le projet OPUS-H2 s'inscrit dans cette dynamique en développant un jumeau numérique avancé et open-source nommé AlphaPEM [1], basé sur de précédents travaux de thèse [2]. Ce modèle dynamique 1D, validé pour une cellule PEM avec auxiliaires [3], a déjà permis d'élaborer une stratégie de contrôle de l'humidité en entrée, théoriquement capable d'augmenter soit la puissance de la pile en allant à de plus fortes densités de courant, soit son efficacité. Deux améliorations majeures ont été intégrées au début de cette nouvelle étude : l'introduction d'un bilan thermique couplé et la modélisation explicite de la couche microporeuse (MPL).

Les objectifs en cours visent à :

- étendre les capacités du modèle en y intégrant des modules complémentaires (couplage 1D+1D, caractérisation de stacks multi-cellulaires) et optimiser les outils de contrôle des auxiliaires,
- valider expérimentalement les gains de performance via des essais sur des stacks, en produisant des courbes de polarisation et d'impédance (EIS) sous conditions opératoires contrôlées,
- intégrer des modèles de dégradation pour estimer l'évolution temporelle de paramètres clés, tels que l'ECSA (Electrochemically Active Surface Area), et la durée de vie restante (RUL), afin d'adapter les stratégies de contrôle en fonction de l'état de santé réel des piles,
- développer des stratégies de contrôle avancées pour maintenir des performances optimales tout en limitant les mécanismes de dégradation, notamment pour des piles ayant déjà subi un vieillissement,
- valider ces stratégies par des tests de dégradation accélérée sur des stacks.

Ce projet, mené en collaboration avec le centre de recherche allemand ZSW, favorise le transfert de compétences et renforce la place d'ENERGY-Lab comme acteur scientifique clé dans l'océan Indien.

[1] Gass R., Li Z., Outbib R., Jemei S. and Hissel D. SoftwareX 2025, 29 102002.

[2] Gass R., Li Z., Outbib R., Jemei S. and Hissel D. PhD thesis, University of Aix-Marseille 2025, <https://hal.science/tel-04923016>.

[3] Gass R., Li Z., Outbib R., Jemei S. and Hissel D. International Journal of Hydrogen Energy 2025, 97 1108-1125.

SYS 2 : Digital Twin for PEMFC Diagnostics and Prognostics

VinothKumar NATESAN, Elena BREAZ, Fei GAO, Nadia YOUSFI STEINER

Université Marie et Louis Pasteur, UTBM, CNRS, Institut FEMTO-ST, FC Lab, F-90000 Belfort, France

Fuel cell technology plays a pivotal role in zero-emission energy conversion and, when integrated with renewable sources, offers the potential for completely emission-free operation. Among different fuel cell types, the Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) is widely used due to its high efficiency and versatility across applications. However, challenges remain in terms of cost reduction, durability enhancement, and performance improvement. Current research on Prognostics and Health Management (PHM) of PEMFCs often employs data-driven, model-based, or hybrid approaches. While valuable, these approaches often lack connection between the physical system and the model, limiting their ability to provide real-time insights. To address this limitation, this work proposes a steady-state PEMFC digital twin. A digital twin serves as a virtual replica of the physical system, continuously updated with real-time sensor data, enabling monitoring, diagnostics, and predictive capabilities. The foundation of the proposed digital twin is a 1D steady-state physics-based PEMFC model, chosen for its balance between physical accuracy and computational efficiency. Sensitive and uncertain parameters of the model are identified using Sobol's global parameter sensitivity analysis, ensuring that only the most impactful parameters are optimized in the model. For model calibration and parameter estimation, Particle Swarm Optimization (PSO) is implemented both as an offline optimization and for online real-time updating of the digital twin. The approach achieves an R^2 accuracy of 99.35% during calibration, confirming its robustness. The model is validated against experimental polarization curve data, which also serves as historical datasets for initializing the digital twin. Once calibrated, the digital twin's predictive capability is tested against additional experimental polarization curves, achieving an R^2 accuracy of 92%. This work demonstrates the feasibility of a steady-state PEMFC digital twin that integrates physics-based modeling with advanced parameter identification, and establishes a foundation for future developments, including dynamic digital twins, aging model integration, and AI-driven fault diagnosis. These future extensions will further strengthen the digital twin's ability to support real-time PHM, and predictive maintenance of PEMFC systems.

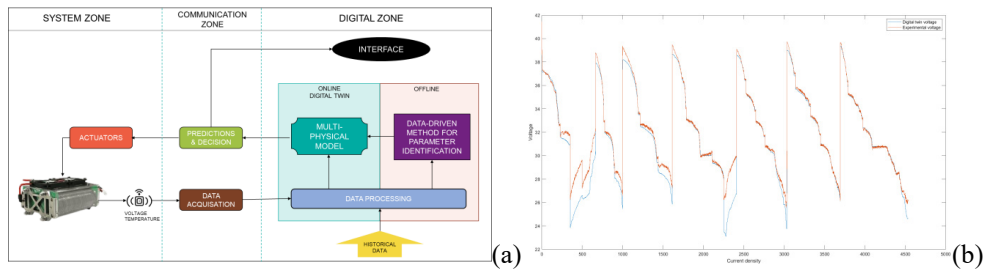


Figure 1 (a) Proposed model of PEMFC Digital Twin; (b) Digital twin results

Acknowledgment

The authors acknowledge support from the French National Research Agency (ANR) under France 2030 program and reference ANR-22-PEHY-00 02 (project PEPR-H2 DURASYS-PAC).

SYS 3 : Approches de diagnostic basées sur l'impédancemétrie pour le suivi de l'état de santé des piles à combustible et batteries lithium-ion en usage embarqué

Jules MILLET¹, Daniel DEPERNET¹, Ali SARI², Frédéric GUSTIN³, Hugo HELBLING²

¹UTBM, Institut FEMTO-ST, FCLAB, CNRS, Belfort, France

²Université Claude Bernard Lyon 1, Ampère, UMR5005, INSA Lyon, Ecole Centrale de Lyon, CNRS, Villeurbanne, F-69100, France

³Université de Franche-Comté, Institut FEMTO-ST, FCLAB, CNRS, Belfort, France

Le projet HYSySPEM vise à optimiser les systèmes énergétiques hybrides intégrant des piles à combustible multi-stacks et des batteries, destinés aux applications de transport lourd. Ces systèmes reposent sur l'association d'une pile à combustible et d'une batterie, éventuellement complétée par des convertisseurs de puissance pour améliorer la gestion énergétique.

Les travaux menés portent principalement sur l'évaluation de l'état de santé (SoH) de ces sources d'énergie, à travers le développement de méthodes de diagnostic fiables. La spectroscopie d'impédance électrochimique (EIS), déjà largement utilisée en laboratoire, a été retenue comme outil de caractérisation pour une utilisation en conditions embarquées.

La mise en oeuvre de l'EIS nécessite de travailler en régime permanent et avec une source d'excitation, des conditions rarement réunies dans un système embarqué. Une étude de faisabilité a donc été menée sur les sources d'excitation disponibles dans le système, ainsi que sur la possibilité de travailler en régime dynamique.

Une première étape a consisté à représenter le comportement réel des piles et des batteries. Pour cela, des modèles dynamiques ont été élaborés à partir de modèles statiques. Ces modèles, obtenus via des mesures EIS de référence réalisées dans différentes conditions (courant, température, état de charge), ont permis de déterminer les paramètres des modèles de circuit équivalent associés à chaque source. Cette approche rend possible le suivi de l'impédance dans des situations proches de l'embarqué, c'est-à-dire en régime dynamique.

Afin de mesurer l'impédance dans ces conditions, une méthode de traitement du signal a été développée, reposant sur la segmentation des signaux et la compensation de la dérive [1]. Le choix a été fait de concevoir une méthode non intrusive, n'exigeant ni blocage de la commande, ni synchronisation complexe entre convertisseur de puissance et gestion d'énergie. Deux types d'EIS ont alors été distingués [2][3]:

- L'EIS active, lorsque le convertisseur de puissance génère des signaux d'excitation,
- L'EIS passive, qui exploite le contenu fréquentiel intrinsèquement présent dans le système,

Grâce à la méthode développée et aux modèles dynamiques, l'EIS en régime dynamique a pu être validée pour les deux types d'EIS.

Après validation de cette approche, un cycle de conduite réel (trajet Lyon–Milan) a été utilisé, permettant d'appliquer aux piles à combustible et aux batteries les profils de courant correspondants. Les résultats montrent une bonne corrélation entre l'EIS de référence et les mesures d'impédance en conditions dynamiques.

[1] C. A. Schiller, F. Richter, E. Gülzow, et N. Wagner, « Validation and evaluation of electrochemical impedance spectra of systems with states that change with time », *Phys. Chem. Chem. Phys.*, vol. 3, no 3, p. 374-378, 2001, doi: 10.1039/b007678n.

[2] D. Depernet, A. Narjiss, F. Gustin, D. Hissel, et M.-C. Péra, « Integration of electrochemical impedance spectroscopy functionality in proton exchange membrane fuel cell power converter », *Int. J. Hydrog. Energy*, vol. 41, no 11, p. 5378-5388, mars 2016, doi: 10.1016/j.ijhydene.2016.02.010.

[3] B. Liebhart, L. Komsiyyska, et C. Endisch, « Passive impedance spectroscopy for monitoring lithium-ion battery cells during vehicle operation », *J. Power Sources*, vol. 449, p. 227297, févr. 2020, doi: 10.1016/j.jpowsour.2019.227297.

SYS 4 : Multiscale and Multiphysics 1D Modeling of a PEM Water Electrolyser

Simone PIEROBON¹, Roberta TITTARELLI², Zhongliang LI¹, Florence DRUART³

¹Université Marie et Louis Pasteur, CNRS, institut FEMTO-ST, F-90000 Belfort, France

²Université Marie et Louis Pasteur, SUPMICROTECH, CNRS, institut FEMTO-ST, F-25000 Besançon, France ; ³Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, Grenoble-INP, LEPMI, 38000 Grenoble, France

Polymer Electrolyte Membrane Water Electrolysers (PEMWEs) are particularly promising for coupling with intermittent renewable energy. However, their widespread adoption is hindered by durability challenges, as dynamic operating conditions can accelerate degradation mechanisms within the Membrane Electrode Assembly (MEA) [1]. Understanding the interplay between local thermodynamic conditions and material degradation is crucial for developing mitigation strategies.

We present the development of a one-dimensional (1D), through-plane, multiphysics model of a PEMWE, focusing on the coupling between electrochemical phenomena and multiphase fluid dynamics [2]. The model resolves the physical phenomena across the main components of the electrolyser: the Porous Transport Layers (PTLs), Catalyst Layers (CLs), and the membrane.

The model integrates three strongly coupled physical domains. The distribution of electric and ionic potentials is described by Poisson's equation. Electron transport is modeled in the solid phases (PTLs and CLs), while proton transport is considered in the ionomer phase (CLs and membrane). The transport of reactants (liquid water) and products (gaseous H_2 and O_2) through the porous layers is described by a compositional multiphase flow model. Mass conservation equations are formulated for each phase, while the velocity fields are determined by Darcy's law, accounting for capillary pressure effects at the liquid-gas interface. The reaction terms for the charge and mass balance equations are governed by Butler-Volmer kinetics.

The model is implemented in Python using the FEniCSx finite element computing platform, with the MultiPhenicsx library employed to manage the coupled system. The steady-state electrochemical part of the model has been successfully solved, as presented in [3].

The current focus is on solving the transient, non-linear system of PDEs for the fluid dynamics. This presents significant numerical challenges due to the stiff nature and tight coupling of the equations for saturation, pressure, and mass fraction. Various solver strategies are being investigated to achieve robust convergence for the fully coupled multiphysics problem.

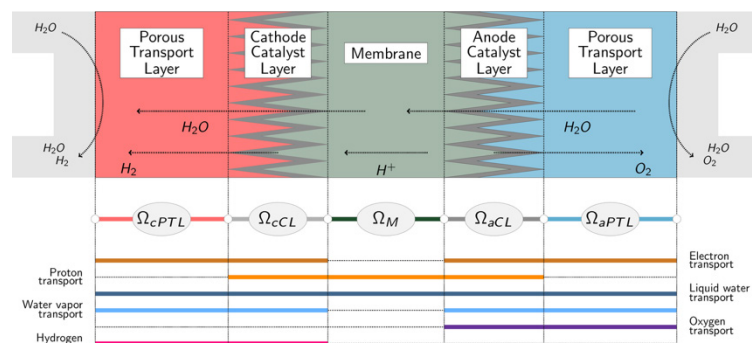


Figure 14 - Visual representation of the PEMWE and its components; distribution of the different phenomena in the various subdomains.

[1] Q. Feng, X.-Z. Yuan, G. Liu, B. Wei, Z. Zhang, H. Li, and H. Wang, «A Review of Proton Exchange Membrane Water Electrolysis on Degradation Mechanisms and Mitigation Strategies», Journal of Power Sources, vol. 366, pp. 33-55, Oct. 2017.

[2] N. Lin, S. Feng, and J. Wang, «Multiphysics Modeling of Proton Exchange Membrane Water Electrolysis: From Steady to Dynamic Behavior», AIChE Journal, vol. 68, no. 8, p. e17742, Aug. 2022.

[3] S. Pierobon, R. Tittarelli, Z. Li, «Multiscale and Multiphysics 1D Modeling of Polymer Electrolyte Membrane Water Electrolysers.» Symposium de Génie Electrique (SGE 2025), Toulouse, France.

SYS 5 : Modélisation du vieillissement d'un électrolyseur de type PEM dans un contexte de vieillissement accéléré

Damien QUERE¹, Antony PLAIT¹, Daniel HISSEL², Christophe TURPIN¹ ;

¹ LAPLACE, UMR 5213, CNRS, Toulouse INP, Université Paul Sabatier, Toulouse, France ; ² Université Marie et Louis Pasteur, Institut Universitaire de France (IUF), UTBM, CNRS, Institut FEMTO-ST, Belfort, France

Le projet ASTERHYX s'inscrit dans le cadre des Programmes et Équipements Prioritaires de Recherche (PEPR) du plan France 2030 : PERP « Hydrogène décarboné ». L'objectif de ce plan est de faire de la France l'un des leaders mondiaux dans la production d'hydrogène. Cette orientation vers une énergie plus propre répond à la demande croissante de réduction des énergies carbonées. En effet, le dérèglement climatique se manifeste de plus en plus chaque année, et ce, sous différentes formes.

Concernant la production d'hydrogène, les électrolyseurs PEM (Polymer Electrolyte Membrane), fonctionnant à basse température, représente une technologie plus récente que les électrolyseurs alcalins. Les électrolyseurs à Oxyde Solide (SO) haute température, sont quant à eux encore émergents. Les points forts de la technologie PEM résident théoriquement dans son adaptabilité aux variations de l'énergie électrique ainsi que ses performances élevées (pression de fonctionnement, rendement, etc.). Ces deux avantages permettent, a priori, une intégration aisée dans différents systèmes énergétiques. Cependant, l'utilisation de cette technologie reste limitée par son coût (lié aux matériaux et à la nécessité d'utiliser une eau pure/déionisée) et par une durabilité encore à démontrer.

L'objectif général de ces travaux est de comprendre le lien entre les facteurs et les mécanismes de dégradation des cellules et stacks PEM, afin d'améliorer leur durabilité et d'atteindre des durées de vie adaptées à leur utilisation. Dans ce cadre et dans un premier temps, des cellules avec des défauts artificiels seront testées pour en mesurer l'impact macroscopique à l'aide d'outils électrochimiques (spectroscopie d'impédance électrochimique, distribution des temps de relaxation, voltamétrie cyclique et courbe de polarisation), puis observées en réalisant des analyses post-mortem afin d'établir le lien entre les données macroscopiques et microscopiques. La mise en place de protocoles AST (Accelerated Stress Test), largement utilisés dans le domaine des piles à combustible (à l'échelle monocellule essentiellement), permettra d'accélérer la dégradation ciblée. En comparant les résultats obtenus avec les données réalisées sur les premières cellules, il sera possible de valider l'efficacité du protocole utilisé sur le mode de dégradation souhaitée. Ceci pour améliorer la fiabilité des électrolyseurs, ce qui constitue le cœur de ce projet.

La création d'un modèle macroscopique 0D/1D, combinant des lois physiques et des approches basées sur les données, doit permettre de proposer des protocoles AST en fonction des paramètres de stress appliqués. Ces données alimenteront ensuite le modèle lui-même, favorisant l'évolution et l'optimisation de ces protocoles. Le formalisme de modélisation retenu dans le cadre de ces travaux est le Bond-Graph. Ce formalisme est maîtrisé au sein du laboratoire Laplace, notamment à travers la thèse de Rémi SAISSET [1], et est déjà documenté dans la littérature [2].

[1] R. Saïssset, "Contribution à l'étude systémique de dispositifs énergétiques à composants électrochimiques", Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Toulouse-INPT, 2004.

[2] S. Sood, O. Prakash, M. Boukerdja, J.-Y. Dieulot, B. Ould-Bouamama, M. Bressel, A.-L. Gehin, "Generic Dynamical Model of PEM Electrolyser under Intermittent Sources", *Energies*, 2020, 13, 6556, doi: 10.3390/en13246556

SYS 6 : Quantification du vieillissement induit sur des piles à combustibles et électrolyseurs PEM pour des applications de stratégies de gestion de puissance

Théo Lenoir¹, Daniela Chrenko¹, Robin Roche¹, Samir Jemel¹, Mickaël Hilaiet² ;

¹Université Marie et Louis Pasteur, UTBM, CNRS, institut FEMTO-ST, FCLAB, F-90000 Belfort, France ;

²Ecole Centrale de Nantes - LS2N, UMR CNRS 6004

Les piles à combustible et électrolyseurs de type PEM (membrane échangeuse de protons) sont sujets au vieillissement au cours de leur vie, et celui-ci est dépendant de leurs conditions d'utilisation [1], [2]. Pour des applications de stratégies de gestion de puissance, qui se veulent soutenables, il est donc nécessaire de pouvoir quantifier les conséquences en termes de vieillissement des composants induites par le choix d'un point de fonctionnement.

La stratégie de gestion de puissance de ce travail se place dans le cadre d'un micro-réseau électrique, situé sur l'île de la Réunion, et associant des panneaux photovoltaïques à plusieurs moyens de stockage, notamment les batteries lithium-ion et l'hydrogène. Pour les conversions avec l'électricité, ce stockage hydrogène est associé à une pile à combustible et un électrolyseur de types PEM. Les enjeux de ce travail sont notamment de construire une stratégie de gestion de puissance soutenable, c'est-à-dire qui permette de préserver autant que possible les caractéristiques des composants du stockage dans le temps.

Pour les piles à combustibles et électrolyseurs, plusieurs facteurs de dégradation ont tout d'abord été identifiés, comme les phases de démarrage/arrêt, le fonctionnement au ralenti, les variations de puissance ainsi que le fonctionnement à haute puissance. Des quantifications des pertes ont été identifiées dans [3], [4] et [5]. Les dégradations étant rapportées en pertes en tension, ces données ont été normalisées par rapport au critère de fin de vie des composants et ainsi mise en commun formant un indicateur de vieillissement à minimiser pour la gestion de puissance. Un travail similaire a été effectué pour les batteries afin d'obtenir une quantification unifiée pour tout le système de stockage.

[1] E. Pahon, D. Bouquain, D. Hissel, A. Rouet, et C. Vacquier, « Performance analysis of proton exchange membrane fuel cell in automotive applications », *J. Power Sources*, vol. 510, p. 230385, oct. 2021, doi: 10.1016/j.jpowsour.2021.230385.

[2] G. Papakonstantinou, G. Algara-Siller, D. Teschner, T. Vidaković-Koch, R. Schlögl, et K. Sundmacher, « Degradation study of a proton exchange membrane water electrolyzer under dynamic operation conditions », *Appl. Energy*, vol. 280, p. 115911, déc. 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.115911.

[3] K. Song, X. Wang, F. Li, M. Sorrentino, et B. Zheng, « Pontryagin's minimum principle-based real-time energy management strategy for fuel cell hybrid electric vehicle considering both fuel economy and power source durability », *Energy*, vol. 205, p. 118064, août 2020, doi: 10.1016/j.energy.2020.118064.

[4] X. Lu et al., « Optimization of power allocation for wind-hydrogen system multi-stack PEM water electrolyzer considering degradation conditions », *Int. J. Hydrog. Energy*, vol. 48, no 15, p. 5850-5872, févr. 2023, doi: 10.1016/j.ijhydene.2022.11.092.

[5] B. Xu et al., « Degradation prediction of PEM water electrolyzer under constant and start-stop loads based on CNN-LSTM », *Energy AI*, vol. 18, p. 100420, déc. 2024, doi: 10.1016/j.egyai.2024.100420.

SYS 7 : Caractérisation et étude du transport de matière dans le compresseur électrochimique à hydrogène

M.A. Diop¹, G. Sdanghi¹, J. Dillet¹, G. Maranzana¹, S. Didierjean¹ :

¹LEMTA, Univ. de Lorraine, CNRS, 54500 Vandœuvre-lès-Nancy, France

Le compresseur électrochimique d'hydrogène est un système compact qui, comparé aux compresseurs mécaniques, a l'avantage de permettre une compression de l'hydrogène sans bruit, à faibles coûts d'investissement et d'exploitation avec de meilleurs rendements à faible débit d'hydrogène [1]. Le fonctionnement de ce compresseur à fortes densités de courant entraîne un risque d'assèchement de la membrane protonique qui a pour conséquence d'augmenter sa résistance et peut provoquer des dégradations. Ce problème peut être évité avec une bonne humidification de la membrane liée à une meilleure maîtrise des flux d'eau dans le système.

L'objectif de ce travail est de mieux comprendre les phénomènes de transfert de l'eau au sein d'un compresseur électrochimique. Pour avoir un bon contrôle de l'humidité de l'hydrogène en entrée du compresseur, un humidificateur à membrane a été utilisé, et un protocole de conditionnement est mis en place pour améliorer les performances du compresseur. Si on se base sur la littérature, ce conditionnement n'était fait que pour les électrolyseurs et les piles à combustible [2].

Une cellule de 25 cm² constituée d'un assemblage membrane électrode comprenant une membrane Nafion®XL a été testée dans différentes conditions opératoires. Les caractérisations faites à des températures de cellule de 40, 50 et 60°C, la pression de l'anode fixée à 1 bar et celle de la cathode variant entre 1 et 50 bar, ont donné des résultats prometteurs. A 60°C et une pression de 50 bar, la valeur maximale de la densité de courant obtenue avoisine les 2 A/cm² à une tension de cellule de 0.3 V, pour un débit d'hydrogène comprimé de 20NL/h. Il est observé que les performances dépendent fortement de la température de cellule. Par contre des problèmes liés au transport du gaz et de l'eau, comme la perméation d'hydrogène ou de noyage de la cellule sont observés lors des différentes caractérisations. Les mesures et analyses qui vont suivre devront permettre de trouver les conditions de fonctionnement optimales pour améliorer les performances et minimiser les problèmes de transport.

[1] G. Sdanghi, J. Dillet, M. Branco, T. Prouvé, et G. Maranzana, « An innovative water management system for the electrochemical compression of hydrogen up to 10 MPa », *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 87, p. 117-129, oct. 2024, doi: 10.1016/j.ijhydene.2024.09.019.

[2] J. Zou *et al.*, « Insights into electrochemical hydrogen compressor operating parameters and membrane electrode assembly degradation mechanisms », *Journal of Power Sources*, vol. 484, p. 229249, févr. 2021, doi: 10.1016/j.jpowsour.2020.229249.

SYS 8 : Dégradations d'une PEMFC en phases de démarrages et arrêts

Wafa Hafsa Saidouni^{1,2}, Marielle Marchand¹, David Gérard¹, Samir Jemei², David Bouquain²

¹*Ampère, Renault group, France*

²*Université Marie et Louis Pasteur, UTBM, CNRS, Institut FEMTO-ST, FCLAB, F-90000 Belfort, France*

Le développement de véhicules à hydrogène est entravé par la durabilité des piles à combustible à membrane échangeuse de protons (PEMFC). Leur dégradation peut être attribuée à divers modes de fonctionnement. En effet, selon Jouin et al. [1], la dégradation des PEMFC est principalement causée par trois facteurs : le fonctionnement au ralenti (28 %), les cycles de démarrage/arrêt (28 %) et les cycles de variation de puissance (44 %).

La majeure partie des dégradations lors du démarrage arrêt sont dues à un front H₂/O₂ à l'anode. En effet, lors de la phase d'arrêt, l'oxygène se propage de la cathode vers l'anode par pression différentielle. Ce phénomène, dit de crossover, a une incidence sur la durabilité de la membrane, celle-ci étant conçue exclusivement pour le transport des protons H⁺ dont la taille est inférieure à celle d'une molécule de gaz. A cela s'ajoute un phénomène de starvation qui se manifeste sur le côté anodique, en raison de l'occupation d'une partie du volume par l'oxygène. Ce phénomène induit une corrosion du support carbone du catalyseur engendrant une altération de la couche active. En effet les particules de platine, qui servent de catalyseur des réactions chimiques, se libèrent car elles n'ont plus de support [2]. Par ailleurs les taux de dégradations des PEMFC sont couramment exprimés en $\mu\text{V}/\text{cellule}$ ou $\mu\text{V}/\text{cycle}$, unités de mesure qui peuvent être considérés comme peu représentatives.

Dans ce contexte, le travail de recherche mené en collaboration avec Ampere (Renault Group) se concentre sur l'impact des phases d'arrêt/démarrage, ainsi que sur le vieillissement calendaire. L'étude bibliographique a révélé que ces phénomènes sont peu étudiés à l'échelle d'un stack. Une campagne expérimentale a été initiée, ciblée sur les arrêts / démarrages, dans plusieurs conditions opératoires. Suites à ces essais, plusieurs objectifs sont visés.

Le premier consiste à mettre en évidence les mécanismes de dégradation, les confronter à la littérature et d'en comprendre leurs origines.

Ensuite, dans une démarche d'innovation, un outil d'analyse dynamique a été développé afin de dépasser les limites des approches classiques. Cet outil a pour vocation de suivre l'évolution des performances en fonctionnement. Cette approche méthodologique, mise en oeuvre en parallèle de protocoles de vieillissement reproduisant des conditions d'usages réels, permettra d'analyser in situ des points de fonctionnement caractéristiques.

Enfin, un ou plusieurs protocoles d'arrêt / démarrage et de fonctionnement seront proposés afin d'augmenter la durabilité d'une PEMFC dans une application transport.

Les premiers résultats de l'étude mettent en évidence une dégradation graduelle des performances, dont l'intensité est proportionnelle au régime de sollicitation appliqué. Des comportements différents de la PEMFC ont été constatés en fonction des stratégies d'arrêts. De ces premières analyses pourra également en découler la définition d'un nouvel indicateur de dégradation considérant plusieurs paramètres.

[1] M. Jouin, R. Gouriveau, D. Hissel, M.-C. Péra, et N. Zerhouni, « Degradations analysis and aging modeling for health assessment and prognostics of PEMFC », *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 148, p. 78-95, avr. 2016, doi: 10.1016/j.ress.2015.12.003.

[2] W. H. Saidouni, M. Marchand, D. Gérard, S. Jemei, et D. Bouquain, « Impact of start-stop and load cycling on the lifetime of PEMFC-powered vehicles », in *2024 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, Washington, DC, USA: IEEE, oct. 2024, p. 1-6. doi: 10.1109/VPPC63154.2024.10755359.

SYS 9 : Quantification of PEMFC degradation during start-up/shutdown phases

Guillaume LAPHITZ¹, **Fabrice MICOUD¹**, **Éric PINTON¹**, **Nicolas MARIAGE¹**, **Raphaël RIASSE¹**, **Yann BULTEL²**

¹ Univ. Grenoble Alpes, CEA, LITEN, 38000, Grenoble, France

² Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, Grenoble INP, LEPMI, 38000 Grenoble, France

The proton exchange membrane fuel cells (PEMFCs) offer significant potential for transport and industry decarbonation. However, the lifespan of these systems remains a major challenge [1] and start-up/shutdown (SU/SD) phases causing internal reverse current linked to the H₂/air interface account for around one-third of total degradation at the end of life [2]. Numerous studies aim to limit these effects at small scales [3], which are not fully representative of real system and stack configurations.

The objective of this work is to quantify performance losses and stack degradation in a reference and unprotected SU/SD configuration through a tailored accelerated stress test (AST) for realistic SU/SD cycles (Fig. 1), as an extent from previous study at CEA [4]. The evolution of PEMFC stack performance along the SU/SD AST cycles has been monitored here coupled with periodic complementary characterizations such as polarization curves and cyclic voltammetry (CV) for ECSA measurements. CO₂ emission at the cathode outlet, directly linked to carbon support degradation, has been also monitored continuously during our AST to better quantify the carbon corrosion kinetics (Fig. 2 and 3). Additional information coming from local current density mapping have also been acquired to follow internal stack operation evolution, monitor internal current during H₂ injection and deepen the different electrochemical characterizations by local polarization curve and local cathode CV.

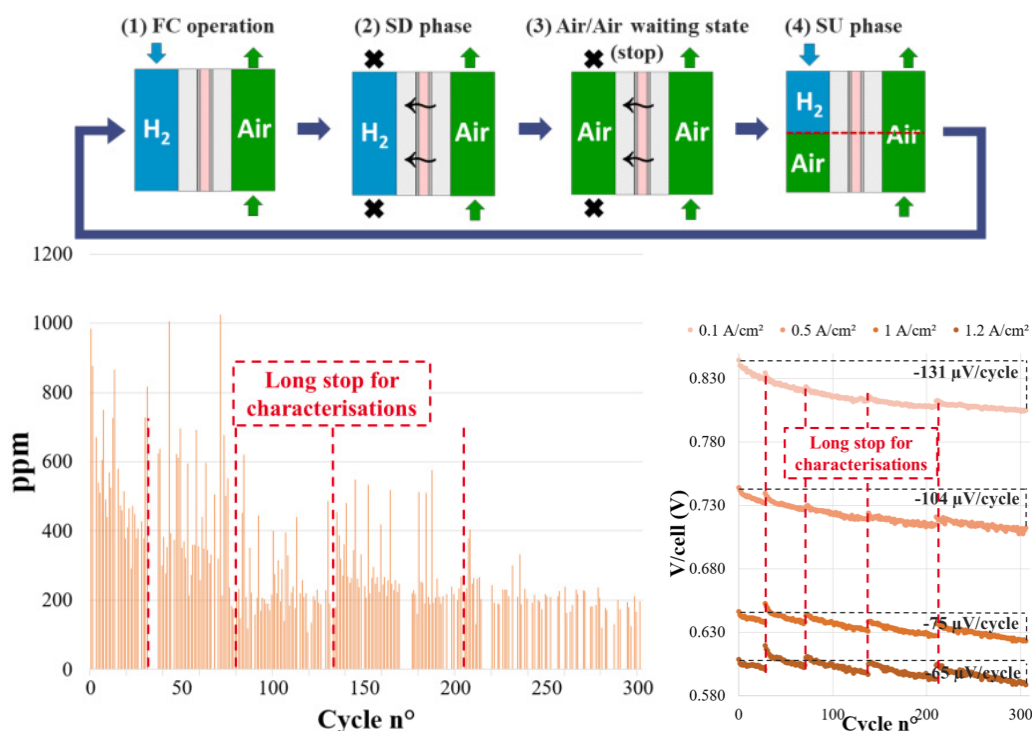


Figure 1 - Short-stack SUSD protocol

Figure 2 - CO₂ emissions for each SUSD cycle

Figure 3 – Performance evolution along 300 cycles

[1] P. Pei, *et al.*, *Int. J. Hydrog. Energy*, vol. 33, no 14, Art. no 14, 2008.

[2] C. A. Reiser *et al.*, *Electrochem. Solid-State Lett.*, vol. 8, no 6, Art. no 6, 2005.

[3] A. Oyarce, *et al.*, *Journal of Power Sources* 254 (2014) 232-240.

[4] T. Drugeot, *et al.*, *Int. J. Hydrog. Energy*, déc. 2022, doi: 10.1016/j.ijhydene.2022.11.020.

SYS 10 : Modélisation de l'arrêt-démarrage à froid d'un stack PEMFC

Mattéo Gantzer¹, Stefan Giurgea², Daniel Hissel¹, Nadia Yousfi Steiner¹

¹ Université Marie et Louis Pasteur, UTBM, CNRS, institut FEMTO-ST FCLAB, F-90000 Belfort, France

² Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, UTBM, CNRS, institut FEMTO-ST FCLAB, F-90000 Belfort, France

La capacité d'un système pile à combustible PEMFC à démarrer en température négative fait partie des derniers principaux verrous technologiques des systèmes hydrogène dans les applications de transport. Pour un système de propulsion de 80KW_{net} destiné à la mobilité lourde, l'objectif est d'assurer le démarrage à -20°C en 30 secondes et en consommant moins de 5MJ_{eq} (PCI) d'hydrogène [1]. Un démarrage est considéré comme réussi dès lors que le système peut délivrer durablement 50% de sa puissance nominale.

A l'échelle des cellules du stack, l'eau générée par la réaction gèle dans les pores de l'électrode cathodique dès lors qu'elle ne peut plus être absorbée par l'ionomère de la membrane. La capacité d'absorption de ce dernier est réduite en température négative, et le gel qui s'ensuit réduit la surface active électrochimique et le transport de masse dans l'électrode. Les performances d'une cellule individuelle en condition de gel sont ainsi généralement caractérisées par sa durée de fonctionnement à courant constant pour une température imposée, et dépend notamment du niveau d'hydratation initial de l'ionomère [2,3].

La réaction électrochimique produit de la chaleur qui tend à réchauffer les cellules. A l'échelle du stack le réchauffement des cellules au centre est favorisé par les échanges thermiques mutuels entre voisines, contrairement aux cellules aux extrémités et à proximité des plaques terminales. Il en résulte une inhomogénéité progressive des températures et des tensions de cellules au cours du démarrage, pouvant conduire à l'arrêt prématuré du stack et l'échec du démarrage.

C'est dans ce contexte que sont développés des stratégies de commande du système pile à combustible. La phase de démarrage à froid étant à la fois potentiellement dégradante et coûteuse expérimentalement, ces stratégies peuvent être développées au moyen de simulations numériques, à condition que la modélisation multiphysique combine les échelles cellules/stack précédemment évoquées [4,5].

Lors de ma présentation, je présenterai les travaux de modélisation de la cellule et du stack PEMFC dans le but de développer des stratégies de démarrage à froid.

[1] U.-S. D. O. Energy, DOE technical targets for fuel cell systems and stacks for transportation applications, 2022. [Online]. Available: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/doe-technical-targets-fuel-cell-systemsand-stacks-transportation-applications> (visited on 01/11/2024).

[2] K. Tajiri, Y. Tabuchi, C-Y Wang, Isothermal Cold Start of Polymer Electrolyte Fuel Cells, *Journal of The Electrochemical Society*, 2007, 154, B147.

[3] K. Tajiri, F. Kagami, S. Takahashi, K. Yoshizawa, Y. Tabuchi, C-Y Wang, , *Journal of Power Sources*, **2007**, 165, 279-286

[4] K. Jiao, X. Li, Three-dimensional multiphase modeling of cold start processes in polymer electrolyte membrane fuel cells, *Electrochimica Acta*, **2009**, 544, 6876-6891

[5] J. Tao, X. Wei, X. Wang, S. Jiang, H. Dai, Control-oriented cold start modelling and experimental validation of PEM fuel cell stack system, *International Journal of Hydrogen Energy*, **2024**, 50, 450-459.

SYS 11 : 1-D fuel cell model identification and observer design

QiAn HE¹, Zhongliang LI¹, Fabien HAREL^{2,3}, Nadia YOUSFI STEINER¹, Daniel HISSEL^{1,4}

¹Université Marie et Louis Pasteur, CNRS, institut FEMTO-ST, F-90000 Belfort, France

² CNRS, institut FEMTO-ST, F-90000 Belfort, France

³ Univ Eiffel, ENTPE, EMob-Lab, Lyon, France

⁴ Institut Universitaire de France

Inspired by the ambition of drastically reducing greenhouse gas emissions by 2030, with their high efficiency and zero-emission characteristics, PEMFCs have increasingly captured attention as one of the most promising hydrogen energy technologies. To address the challenge of high cost and low durability of the PEMFC, the health state should be identified accurately during long-term operation. For the PEMFC, the internal condition such as applied potential is subject to the load demand, significantly impact the degradation of different component. For example, degradation of the electrode and membrane.

In this context, a novel dual-scale model-based assessment method for the degradation prediction in the PEMFC was initially proposed in [1]. In the framework shown in the following figure, a 1-D multiphysics macro model is built to infer the thermodynamic conditions of the concerned working membrane electrode assemble from the system operating parameters. While a degradation model is coupled with the outputs of the 1-D multiphysics model to quantify the degradation rates of both the electrodes and membrane.

Figure 1: Macro multiphysics and micro degradation model

Due to the inherent properties of the degradation mechanisms of the platinum particles and the membrane, as illustrated in the figure, variations in these parameters under different control settings introduce increased uncertainty into the degradation model prediction [1]. Inversely, the model identification and observer design in such a dual-scale modelling framework has been challenging given an arbitrary fuel cell configuration and limited experimental data.

Specific to the 1-D multiphysics model, this work contributes to the model identification and model-based observer design based on the dual-scale degradation model. We will demonstrate how undetermined material parameters can be identified in a reliable way to fit conventional experimental data (polarization curves) in a sufficiently wide operating range. In addition, we will also show how to evaluate the observability and design numerical observer using the identified model.

[1] W. Touil, Z. Li, R. Outbib, D. Hissel, and S. Jemei, "A system-level modeling framework for predicting Pt catalyst degradation in proton exchange membrane fuel cells," *Journal of Power Sources*, vol. 625, p. 235628, Jan. 2025.

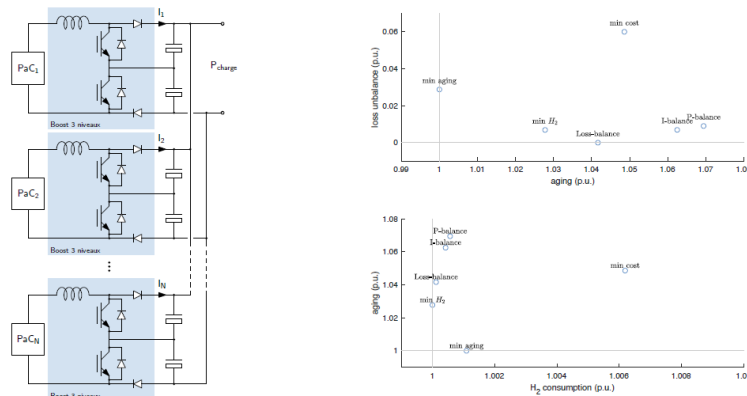
SYS 12 : Gestion d'énergie de systèmes multi-stacks : Quand tout fonctionne

Jihane Ait El Majhoub^{1,2}, Jean-Christophe OLIVIER¹, Mohamed Machmoum¹, Salah Laghrouche²

¹IREENA, UR 4642, Nantes Université,

²FEMTO-ST, UMR 6174, Université Marie et Louis Pasteur

Dans le cadre du projet « HySysPem » du PEPR H2, notre objectif est de développer des solutions de gestion d'énergie pour des systèmes multi-piles à combustible (multi-stacks) destinés à des applications de mobilité routière ou navale de forte puissance (MW). L'architecture retenue consiste en une mise en parallèle des piles à combustible, chacune étant couplée à un convertisseur de type Boost à trois niveaux [1]. L'intégration d'un convertisseur pilotable au niveau de chaque pile confère au système de nombreux degrés de liberté pour la gestion d'énergie. Ces solutions de gestion visent à optimiser divers objectifs, tels que la consommation d'hydrogène, la durée de vie des piles, ou l'équilibrage des pertes [2-4]. Face à la multitude de stratégies possibles, nous avons formulé un problème d'optimisation générique où les courants (i_1 à i_n) fournis par chaque ensemble pile/convertisseur doivent être optimisés. Dans cette présentation, nous définirons la fonction objective basée sur six critères distincts. Une comparaison de ces stratégies sera ensuite proposée à l'aide de bilans technico-économiques simples. Il sera ainsi démontré que la stratégie de gestion a une influence étonnamment faible sur les performances globales du système. Ce constat nous amène à réévaluer les critères d'optimisation et à intégrer des facteurs plus implicites, tels que la simplicité de mise en oeuvre ou encore le recours à un minimum d'informations/capteurs sur le système. Enfin, nous ouvrirons la discussion vers une potentielle simplification du système de gestion thermique des piles. Pour cela, nous proposerons une gestion par équilibrage des pertes entre des piles présentant des niveaux de dégradation ou de performance différents.



- [1] J. Ait El Mahjoub, J.C. Olivier, M. Machmoum, S. Laghrouche, Energy management strategy of multi-stack hydrogen fuel cell system considering aging factors. In EPJ Web of Conferences, 2025.
- [2] A. Roy, J.C. Olivier, F. Auger and A. Igourzal, Experimental validation of an optimized power allocation strategy for multi-stack fuel cell, In 2022 IEEE 31st International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), 2022.
- [3] A. Igourzal, F. Auger, J.C. Olivier, C. Retiere, Electrical, thermal and degradation modelling of PEMFCs for naval applications, Mathematics and Computers in Simulation, 2024.
- [4] W. Touil, Z. Li, R. Outbib, D. Hissel, S. Jemei. A system-level modeling framework for predicting Pt catalyst degradation in proton exchange membrane fuel cells. Journal of Power Sources, 2025.

SYS 13 : Développement d'un banc pédagogique pile à combustible dans le cadre du projet GENHYO

Maëlie HEULS¹, Thomas JARRY¹, François PARACHE¹, Antony PLAIT¹, Olivier RALLIERES¹, Amine JAAFAR¹, Bruno SARENI¹, Christophe TURPIN¹

LAPLACE, Université de Toulouse, CNRS, Toulouse INP, Toulouse, France

Le développement des technologies liées à l'hydrogène décarboné est au cœur des enjeux de transition énergétique et industrielle, nécessitant à la fois des innovations techniques et une montée en compétence des futurs acteurs du secteur [1]. Dans ce contexte, et pour préparer les jeunes générations aux métiers de demain, 26 partenaires se sont alliés pour construire le projet GENHYO [2]. Toulouse INP figure parmi les acteurs du projet et s'inscrit dans cette dynamique en ayant intégré depuis plusieurs années des enseignements sur l'hydrogène dans ses formations d'ingénieurs. Son implication dans le projet GENHYO se traduit par le développement de bancs pédagogiques illustrant différentes briques technologiques de l'hydrogène (pile à combustible, électrolyseur, combustion, stockage...). Ces équipements seront déployés sur la plateforme pédagogique de 550 m² du futur Technocampus Hydrogène Occitanie.

Le laboratoire LAPLACE s'appuie sur son expérience et son savoir-faire dans la réalisation de ses propres bancs de recherche [3] pour adapter ses équipements aux besoins pédagogiques. Les travaux réalisés jusqu'à aujourd'hui visent à structurer des parcours de formation de travaux pratiques (TP) destinés à des niveaux allant de technicien à ingénieur. Le développement de ces bancs pédagogiques, dans cette démarche globale, permettra d'offrir aux apprenants une formation progressive, immersive et représentative des pratiques et des attentes industrielles actuelles. Il constituera une étape clé pour renforcer l'innovation et l'insertion professionnelle dans le domaine de l'hydrogène.

Sera présentée la conception du banc pédagogique monocellule / petit stack PEM-BT (à Membrane Echangeuse de Protons – Basse Température) et y seront abordées les spécifications techniques et pédagogiques du banc en lien avec les besoins académiques et industriels. Positionné comme un intermédiaire entre le banc didactique très sécurisé mais peu représentatif et les systèmes réels de plus forte puissance, moins accessibles, il permet aux apprenants d'acquérir une compréhension approfondie des principes de fonctionnement d'une pile à combustible tout en se rapprochant des réalités industrielles.

Fruit d'une collaboration entre enseignants de disciplines variées (génie des procédés, génie électrique, matériaux...) issus des institutions partenaires (ENSEEIH, ENSIACET, UT), ce banc a été conçu pour offrir une grande flexibilité pédagogique. Il intègre des composants de régulation des débits et pressions des gaz, ainsi que la gestion de la température et de l'eau sous forme vapeur ou liquide. Malgré sa faible puissance (≈ 100 W), ce banc permet des interventions manuelles et aborde des concepts techniques, comme l'asservissement et les boucles de régulation. Plusieurs modes de contrôle seront proposés, permettant de passer d'un mode manuel à un mode asservi via une supervision dédiée, offrant ainsi un environnement proche de celui de l'industrie. Modulable et robuste, il permet une maintenance facile, chaque composant pouvant être réparé ou remplacé aisément. Le banc est également sécurisé, autorisant des essais aux limites du système sans risques majeurs pour les apprenants et les composants.

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'État gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre de France 2030 portant la référence « ANR-22-CMAS-0018 »

[1] Y. Pleshivtseva, M. Derevyannov, A. Pimenov, and A. Rapoport, "Comprehensive review of low carbon hydrogen projects towards the decarbonization pathway", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 48, Issue 10, pp3703-3724, 2023.

[2] Projet GENHYO, Génération Hydrogène Occitanie, visited on February 2025 : <https://www.univ-toulouse.fr/grands-programmes/genhyo-generation-hydrogene-occitanie>.

[3] M. Tognan, « Etude de dégradations des performances de Piles à Combustible PEM BT alimentées en H₂/O₂ lors de campagnes d'endurance : du suivi de l'état de santé en opération à la modélisation du vieillissement. Thèse Institut National Polytechnique de Toulouse, 2018.

SYS 14 : Développement d'un modèle d'estimation de durée de vie de piles à combustible pour les applications ferroviaires

¹Hung, Johnson Ruo Ting, ¹D-arbigny, Julien, ²Piffard, Maxime, ²Rosini, Sebastien, ¹Gauthier, Stephane, ²Morin, Benoit, ²Gerard, Mathias

¹*Alstom, 50 Rue du Dr Guinier, 65600 Séméac, France*

²*Univ. Grenoble Alpes, CEA, LITEN, F-38000 Grenoble, France*

Le développement d'une mobilité décarbonée est un enjeu fondamental pour limiter l'impact des activités humaines sur le changement climatique. Dans le secteur du transport ferroviaire, les technologies de propulsion à batterie et à hydrogène sont des alternatives crédibles et complémentaires au diesel. Dans le secteur du transport ferroviaire Alstom est, depuis plusieurs années, précurseur dans le déploiement de trains hydrogène utilisant des systèmes à piles à combustible pour assurer la conversion de l'hydrogène en puissance électrique. Si cette solution semble d'avenir pour un grand nombre d'usage, elle nécessite néanmoins pour une application commerciale, d'augmenter à la fois la durée de vie du système et du stack, et sa fiabilité face à des conditions de fonctionnement variées et intensives.

Alstom souhaite développer et mettre en œuvre un outil d'évaluation et de suivi de la durée de vie à partir des données collectées sur la chaîne de traction pour l'ensemble de la flotte des trains et locomotives hydrogène. Au cours de la première année, afin d'analyser le comportement en tension des systèmes piles à combustible utilisés dans les trains tout au long de leur cycle de vie, une analyse de régression par la méthode des moindres carrés a été réalisée. Cette analyse s'appuyait sur un modèle semi-empirique statique existant [1] et des données réelles collectées du terrain. De plus, un indicateur spécifique a été développé pour suivre l'évolution du modèle et détecter les variations de performances. Les résultats démontrent que cet indicateur suit efficacement la tendance moyenne de dégradation en conditions réelles d'exploitation.

[1] Guillaume Fontès, "Modélisation et caractérisation de la pile PEM pour l'étude des interactions avec les convertisseurs statiques" (phdthesis, Institut National Polytechnique, 2005), accessed February 26, 2025, <https://ut3-toulouseinp.hal.science/tel-04623784>.

SYS 15 : Impact de l'altitude sur les performances d'un système pile à combustible à compresseur centrifuge

Benoît MORIN¹, Lucas STILLITANO²

¹ CEA LITEN – 17 Av. des Martyrs, 38000 Grenoble

² École de l'air et de l'espace – Chemin St Jean, 13300 Salon-de-Provence

Le compresseur d'air constitue le principal consommateur électrique d'un système pile à combustible (typiquement entre 10 et 20% de l'énergie électrique produite en conditions nominales). L'augmentation de la pression d'air permet d'accroître la densité de puissance de la pile, mais au prix d'une consommation plus importante du compresseur. Néanmoins en altitude, la baisse de pression atmosphérique impose obligatoirement au choix i) d'augmenter le taux de compression, ce qui pénalise fortement le rendement ou bien ii) de maintenir ce taux et d'accepter une diminution de la pression de fonctionnement et donc des performances du stack – ou encore de trouver un compromis entre les deux approches. La perte de rendement avec l'altitude est donc inévitable, et l'objectif de cette étude est de rechercher l'optimum de fonctionnement en altitude sur un système pile à combustible existant.

Les performances des compresseurs centrifuges sont généralement uniquement fournies dans des conditions de référence (100 kPa, 25 °C selon SAE J922). Une correction de cartographie permet d'estimer leur comportement en dehors des conditions nominales mais elle ne renseigne pas sur l'évolution de sa consommation électrique. Une méthodologie a donc été développée pour estimer la puissance consommée à partir des données constructeur usuelles. Pour compléter cette approche, un modèle de pile basse pression a permis d'évaluer les performances électriques du stack. L'association des deux modèles permet d'obtenir une puissance système ainsi qu'un rendement système simplifié (pile + compresseur), illustré en Figure 1.

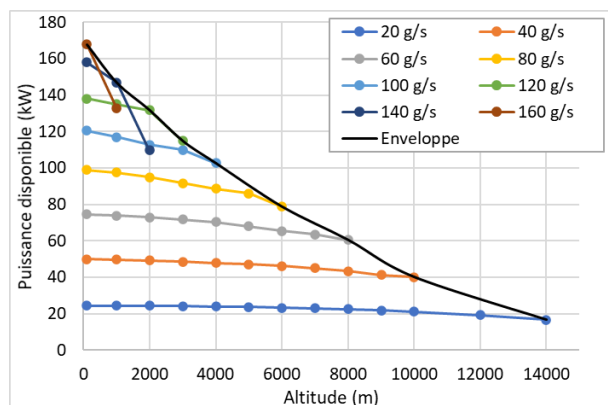


Figure 15 : Evolution de la puissance maximale disponible en sortie du système simplifié en fonction de l'altitude pour plusieurs débits réels

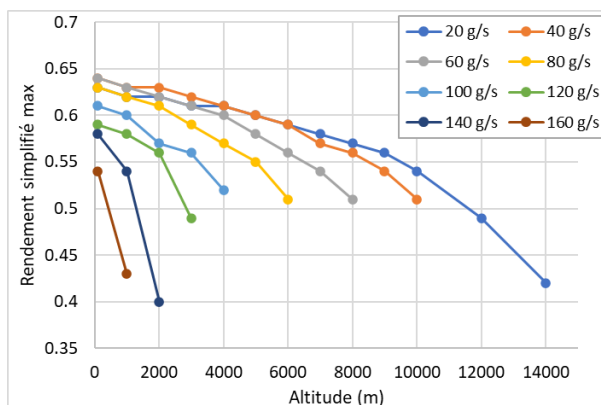


Figure 16 : Evolution du rendement global maximal pour le système pile simplifié avec l'altitude pour plusieurs débits réels

Les résultats montrent que l'augmentation de l'altitude réduit à la fois la puissance consommée par le compresseur (moins d'effort sur la roue) et le débit d'air disponible (densité de l'air réduite). À titre d'exemple, le débit d'air est environ trois fois plus faible à 9000 m qu'au niveau de la mer, ce qui limite fortement la puissance maximale du système si celui-ci exploite le débit maximal au niveau de la mer. Le rendement global suit la même tendance (Figure 2).

Les limites de cette étude seront abordées lors de la présentation, accompagnées de recommandations pour optimiser les stacks et les systèmes pile à combustible en conditions aéronautiques. Au-delà des tendances observées, les résultats mettent en lumière des leviers de performance liés au couplage entre le compresseur et la pile.

SYS 16 : Development of a High Power, High Voltage DC-DC Converter for Fuel Cell Electric Vehicles with 800V DC Bus

Badis SILAT¹, Arnaud GAILLARD¹, Nicolas ALLALI³, Daniel HISSEL^{1,2}

¹Université Marie et Louis Pasteur, UTBM, CNRS, Institut FEMTO-ST, FCLAB, F-90000 Belfort, France

²Institut Universitaire de France (IUF)

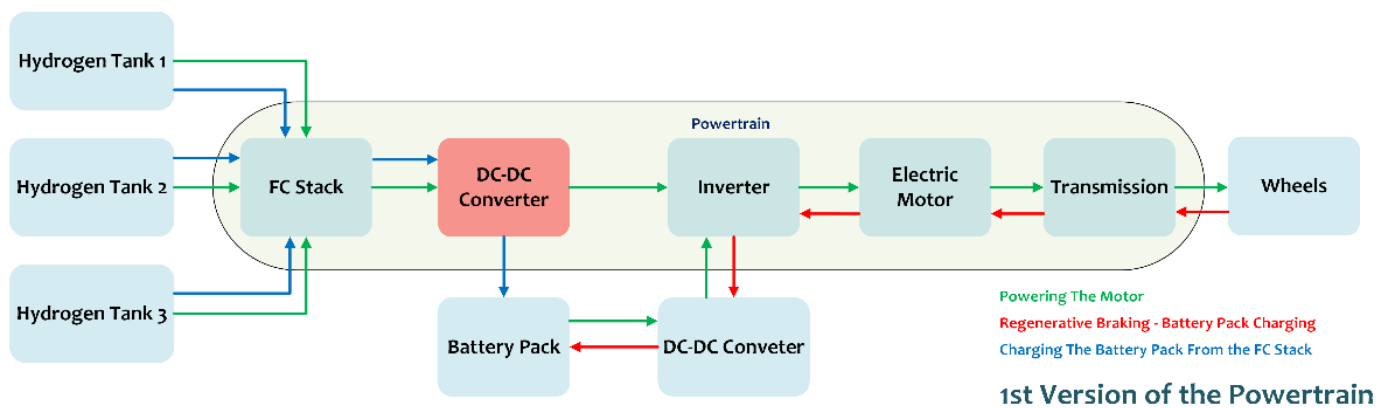
³VALEO Power Division, Cergy St-Christophe - France

The automotive landscape is rapidly evolving with the growing adoption of 800V electrical architectures, which offer greater efficiency and increased range. However, integrating fuel cell systems, into these new platforms presents a technical challenge for which there is not yet a standard solution.

This PhD thesis, conducted in an industrial partnership with VALEO, aims to address this challenge by developing a high-power (100kW), high-power-density DC-DC converter. To define the system specifications, a comprehensive analysis of existing powertrain architectures and components was conducted. A modular approach, based on four 25kW converters, was adopted to ensure scalability, fault tolerance, and efficiency at partial load.

To date, the work has focused on the creation of a dedicated design toolchain. This includes developing Python-based tools for magnetic component design and optimization (ferrite and powder cores), and for estimating SiC transistor switching losses via automated LTspice simulations.

Building upon this foundational toolchain, new tools are now being developed specifically for the critical task of multi-objective topology optimization. These tools are tasked with the comparison of candidate DC-DC converter topologies for our 25kW module, by evaluating them against a unified set of performance objectives and physical constraints, with a primary focus on minimizing total semiconductor losses, reducing magnetic component volume, and enhancing overall efficiency. The final stage of this research will leverage the selected optimal topology, applying a market-component-driven optimization process that utilizes comprehensive databases of commercially available SiC devices, capacitors, and core materials to finalize the sizing and selection of all parts, ultimately guiding the construction and experimental validation of a highly efficient and compact prototype.



This PhD thesis is conducted within the framework of an ICPEI project, which is gratefully acknowledged for its financial and scientific support.

SYS 17 : Energy Storage in Fully Renewable Island Power Systems: A Case to Move Towards Rolling Horizon-Based Optimization

Mirabelle Scholten¹, Robin Roche¹, Dominique Grondin², Halima Ikaouassen¹

¹ *Université Marie et Louis Pasteur, UTBM, CNRS, institut FEMTO-ST, F-90000 Belfort, France*

² *ENERGY-lab, Université de La Réunion, Saint-Denis, France*

As climate change impacts continue to challenge global communities, the transition to fully renewable energy systems has become essential. For non-interconnected islands, however, intermittent renewables combined with capacity constraints and network isolation pose a threat to continuous demand fulfillment [1]. One such solution to address these hurdles and facilitate the transition to a fully renewable island energy system is the implementation of various types and durations of energy storage, including hydrogen.

In energy planning research, capacity expansion and dispatch models with deterministic full-foresight linear programming optimization are the most common approach to evaluate the role of storage technologies in the future [2]. Especially for long-duration energy storage, these models consider multi-year timespans to capture seasonal and inter-annual fluctuations in renewable generation and demand. For example, the thesis work of Agnès François employed a Mixed-Integer Linear Programming (MILP) model over five-year periods to study hydrogen and battery storage for a fully renewable Reunion Island power system [3]. The model charged hydrogen storage over multi-season periods to supply power during rare solar droughts, using full foresight of weather and demand profiles. However, such long-term foresight is unrealistic, as accurate weather prediction is feasible only for a few days to two weeks [4], potentially underestimating storage needs and leading to unrealistic charging behaviors; a concern also highlighted in [2], [5], and [6].

In response, my work addresses these limitations by modeling the uncertainty of future weather patterns and the growing frequency of climate-driven natural hazards on islands, which pose additional risks to energy system reliability. Realistic forecast horizons are incorporated through rolling-horizon optimization for dispatch. Since rolling-horizon methods cannot size storage, Bayesian optimization is applied for capacity and placement decisions. This includes decisions regarding fuel cells, electrolyzers and hydrogen storage tanks. Together, these methods form a bi-level feedback loop, enabling a more robust and realistic optimization of storage systems.

[1] IRENA, Transforming Small-Island Power Systems: Technical Planning Studies for the Integration of Variable Renewables. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2018.

[2] L. Avenzi, M. Prussi, and D. Chiaramonti, "Critical Review of Energy Planning Models for the Sustainable Development at company level," *Energy Strategy Reviews*, vol. 49, 2023, Art. no. 101136, doi: 10.1016/j.esr.2023.101136.

[3] A. François, "Modélisation et optimisation de réseaux électriques insulaires à moyen et long terme : étude de l'impact de l'intégration de l'hydrogène à la réunion – application aux mobilités et au stockage réseau," Ph.D. dissertation, Université Bourgogne Franche-Comté, oct 2024, accessed 2025-03-20

[4] B.-W. Shen, R. A. Pielke Sr, X. Zeng, and X. Zeng, "Exploring the origin of the two-week predictability limit: A revisit of Lorenz's predictability studies in the 1960s," *Atmosphere*, vol. 15, no. 7, p. 837, 2024.

[5] Hydro Tasmania, "Storage with Imperfect Foresight," *Battery of the Nation*, 2019. [Online]. Available: <https://www.hydro.com.au/docs/default-source/clean-energy/battery-of-the-nation/storage-with-imperfect-foresight.pdf>

[6] R. Payet-Burin, M. Kromman, S. J. Pereira-Cardenal, K. M. Strzepek, and P. Bauer-Gottwein, "The Impact of Assuming Perfect Foresight When Planning Infrastructure in the Water–Energy–Food Nexus," *Frontiers in Water*, vol. 3, art. 778003, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.778003>.

SYS 18 : Modélisation et Optimisation d'un réseau énergétique (électricité et hydrogène) insulaire. Application au cas de la Corse.

M. Chin Choi¹, T. Moustapha Mai¹, M. Hajjaji¹, S. Jemei², C. Cristofari¹

¹UMR CNRS 6134 Renewable Energy Laboratory, Scientific Centre Georges Peri, University of Corsica, F20000 Ajaccio, France

²Université Marie et Louis Pasteur, Laboratoire FEMTO-ST, 90000 Belfort, France

L'intégration optimale des énergies renouvelables dans un système énergétique de petite taille présente plusieurs défis, tels que la gestion de l'intermittence, le maintien de l'équilibre entre demande et production, la stabilité du réseau et la viabilité économique de la production [1]. L'objectif de ce travail est d'étudier la contribution de l'hydrogène dans le secteur de l'électricité du territoire Corse, une île située en mer Méditerranée, actuellement dépendante à 87% d'importations fossiles mais au fort potentiel solaire [2].

Ainsi un modèle électrique du réseau haute tension a été développé sur un outil en libre accès [3] et à partir de données non confidentielles. Le modèle initial correspond à la modélisation du réseau électrique haute tension (90kV) de l'île et intègre les postes sources HTB/HTA, les lignes électriques haute tension HTB aériennes et souterraines, la liaison 150 kV, les générateurs de production et les consommations aux postes sources. L'optimisation du réseau électrique pour l'année 2030, souligne l'importance de la mise en service de la nouvelle centrale qui permet d'assurer 49% de la consommation totale de l'île. Etant donné la compensation du surcoût induit par l'importation du bioliquide (99.7 kt), le coût de production (97.8 €/MWh) et les émissions de CO₂ (230 kgCO₂/MWh), sont abaissés. Pour un horizon à court terme, la production d'électricité est décarbonée mais encore très dépendante d'importations extérieures. Néanmoins, le potentiel solaire étant identifié comme un levier important de décarbonation du secteur, cela nécessiterait l'ajout de systèmes de stockages. C'est ainsi que l'intégration du vecteur hydrogène en soutien au service réseau a été envisagée. Le développement d'un réseau hydrogène dédié à des applications stationnaires et de mobilité est intégré au modèle électrique précédent, générant ainsi un réseau énergétique pour le territoire pour l'horizon 2050. Les simulations menées, montrent que l'ajout de chaînes hydrogènes raccordées aux postes sources de l'île, permet de supprimer la part des importations d'électricité avec une production d'hydrogène annuelle de 10.4 ktH₂, des coûts de production de l'électricité et de l'hydrogène de 177 €/MWh et 5.9 €/kgH₂ et un taux d'émissions de 78 kgCO₂/MWh. Ce scénario suppose des investissements importants d'équipements hydrogène (+ 246 MW d'électrolyseur et + 262 MW de pile à combustible) et également un déploiement important des centrales solaires PV (+ 794 MW). De plus, la production d'hydrogène peut également être utilisée dans d'autres applications comme la conversion des transports collectifs en bus pile à combustible, réduisant ainsi la consommation de combustible fossile et développant un écosystème hydrogène insulaire.

[1] B. Morvaj, R. Evins, et J. Carmeliet, « Optimization framework for distributed energy systems with integrated electrical grid constraints », *Appl. Energy*, vol. 171, p. 296-313, juin 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.03.090.

[2] G. Notton, J. L. Duchaud, M. L. Nivet, C. Voyant, K. Chalvatzis, et A. Fouilloy, « The electrical energy situation of French islands and focus on the Corsican situation », *Renew. Energy*, vol. 135, p. 1157-1165, mai 2019, doi: 10.1016/j.renene.2018.12.090.

[3] T. Brown, J. Horsch, et D. Schlachtberger, « Python for Power System Analysis (PyPSA): Free Software for Planning Energy Systems with High Shares of Renewables ».

SYS 19 : Développement d'un outil d'estimation d'humidité pour les stacks PEMFC

Martin SERINE^{1,2}, Julie AUBRY², Zhixue ZHENG¹, Daniel HISSEL^{1,3}

¹ Université Marie et Louis Pasteur, UTBM, CNRS, institut FEMTO-ST, FCLAB, F-90000, Belfort, France ;

² SYMBIO, St-Fons, France ; ³ Institut Universitaire de France (IUF), Paris, France

La connaissance des états internes d'une pile à combustible à membrane échangeuse de protons (PEMFC) est essentielle pour améliorer ses performances et allonger sa durée de vie. La connaissance en temps réel du niveau d'hydratation de la membrane PEM est cruciale pour prévenir l'apparition de défauts tels que le noyage (présence excessive d'eau dans la cellule) ou l'assèchement.

L'estimation des états internes de la PEMFC permet de construire des stratégies de contrôle tolérant aux défauts, améliorant ainsi la fiabilité des systèmes. Les observateurs d'état sont employés dans de nombreux domaines. L'approche consiste à associer un modèle et une stratégie de commande [1].

Développement et validation d'un modèle d'humidité et de tension cellule Les modèles d'humidité et de tension cellule ont évolué en complexité tout en restant compétitifs concernant le temps d'exécution [3]. L'utilisation de ces modèles, souvent en 1D à travers l'épaisseur de la membrane, permet d'accéder en temps réel à des états internes de la PEMFC en fonctionnement [4].

Un modèle de tension a été développé à partir de la littérature. Il permet de faire le lien entre les pertes ohmiques dans l'équation de la tension cellule et le niveau d'hydratation de la membrane.

Ce modèle a été validé sur les résultats d'un outil de simulation commercial, ainsi que des données expérimentales. L'indicateur MAPE (Mean Average Percentage Error) est en-dessous de 3% pour l'ensemble des données de validation. A ce stade, l'estimateur d'humidité n'est pas opérationnel pour fonctionner en temps réel. Cependant, l'utilisation du modèle d'humidité en boucle ouverte, couplé à la réponse en tension

statique permet d'obtenir une première estimation de la contenance en eau de la membrane lors des paliers stabilisés. Ainsi, des données expérimentales ont permis de valider la sensibilité du modèle aux variations de conditions opératoires.

Ce travail ouvre la voie à la construction d'un observateur d'humidité pour les stacks PEMFC, et son utilisation lors des campagnes d'essai pour établir des stratégies de contrôle innovantes.

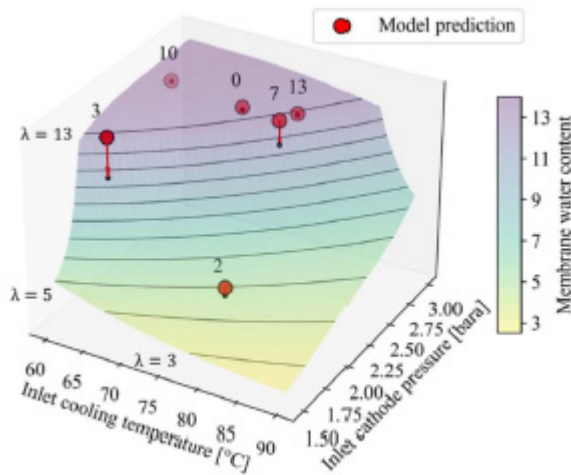


Figure 1: Représentation 3D du modèle avec des points de validation expérimentale (conditions opératoires sujettes à confidentialité)

[1] H. Yuan, H. Dai, X. Wei, et P. Ming, « Model-based observers for internal states estimation and control of proton exchange membrane fuel cell system: A review », Journal of Power Sources, vol. 468, p. 228376, août 2020, doi: 10.1016/j.jpowsour.2020.228376.

[2] Y. Wang, X. Yang, Z. Sun, et Z. Chen, « A systematic review of system modeling and control strategy of proton exchange membrane fuel cell », Energy Reviews, vol. 3, no 1, p. 100054, mars 2024, doi: 10.1016/j.enrev.2023.100054.

[3] A. Goshtasbi et al., « A Mathematical Model toward Real-Time Monitoring of Automotive PEM Fuel Cells », Journal of The Electrochemical Society, vol. 167, no 2, p. 024518, janv. 2020, doi: 10.1149/1945-7111/ab6dd1.

[4] A. Kravos, M. Vrljić, C. Hametner, S. Jakubek, et T. Katrašnik, « Real-time capable nonlinear distributed parameter observer considering two-phase flow in PEM fuel cells », International Journal of Hydrogen Energy, vol. 134, p. 181-197, juin 2025, doi: 10.1016/j.ijhydene.2025.04.321.

SYS 20 : Identification de défaut en stack PEMFC par tomographie magnétique et utilisation d'un algorithme de descente de gradient

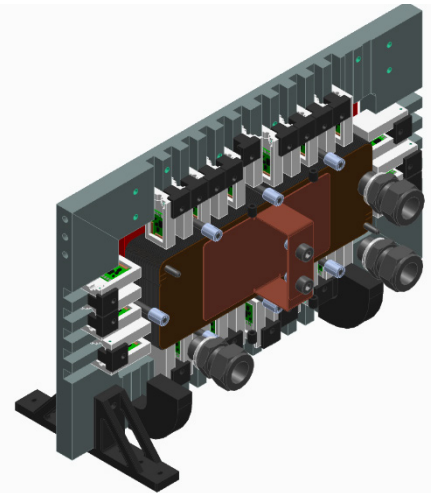
Leonard Freisem^{1,2}, Olivier Chadebec¹, Gilles Cauffet¹, Yann Bultel², Raphael Riasse³, Fabrice Micoud³, Sebastien Rossini³

¹Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, G2ELab, Grenoble, France

²Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie-Mont Blanc, CNRS, Grenoble INP, LEPMI, Grenoble, France

³Univ. Grenoble Alpes, CEA LITEN, Grenoble, France

Une pile à combustible à membrane échangeuse de protons (PEMFC) est un générateur de courant qui représente une alternative écologique aux combustibles fossiles. Un stack PEMFC se compose de plusieurs cellules connectées en série dont le vieillissement est un problème majeur et nécessite un diagnostic précis pour ajuster la commande du stack, remplacer des cellules défaillantes, et optimiser ainsi sa fiabilité et sa durée de vie [1], [2]. La tomographie magnétique (MT) est une méthode de diagnostic non invasive du stack qui permet d'obtenir les densités de courants locales J . Dans cette méthode, le champ magnétique externe B_m créé par le courant traversant le stack est mesuré à l'aide d'un réseau de capteurs placés autour de celui-ci. Un modèle numérique est ensuite inversé pour remonter aux densités de courant locales dans le stack [1], [2], [3]. Alors que la plupart des travaux proposent des méthodes pour déterminer les densités de courant, l'originalité de notre approche réside dans l'identification directe des résistivités locales ρ_{local} à l'aide d'un algorithme d'optimisation non linéaire. La grandeur ρ_{local} permet également de calculer la densité de courant.



Pour valider la capacité de notre algorithme, une campagne de tests avec un stack PEMFC factice et purement conducteur électronique, intégrant 40 cellules uniquement composées de couche de diffusion des gaz (GDL) et de plaques bipolaires a été menée. Cette configuration permet la maîtrise des défauts de conduction à l'intérieur du stack en plaçant localement une couche isolante de quelques cm². En imposant un courant au dispositif, on peut mesurer le champ magnétique autour de celui-ci ainsi que la tension à ses bornes. À partir de ces données (courant, tension et champ magnétique), notre algorithme est capable d'identifier et de localiser le défaut dans le stack. La figure 1 montre la reconstruction d'un défaut de 3,6 cm², placé sur 4 cellules consécutives (n° 18 à 21) dans le coin en bas à gauche. La robustesse, la précision et la capacité de détection de notre algorithme seront comparées au dispositif S⁺⁺® et discutées à partir de différents cas d'études.

[1] M. Le Ny et al., "Current Distribution Identification in Fuel Cell Stacks From External Magnetic Field Measurements," IEEE Transactions

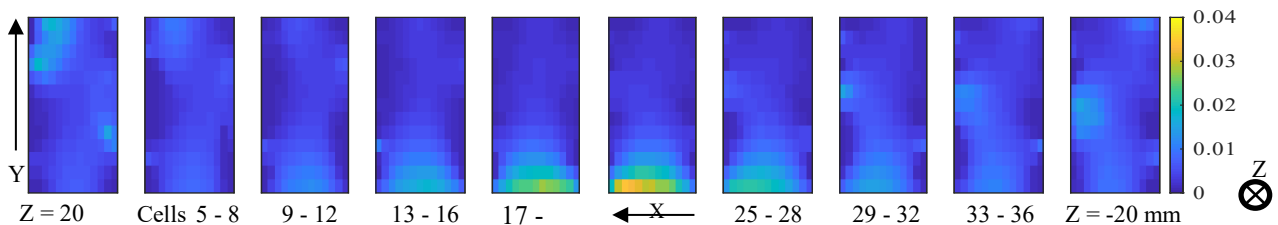


Figure 17 : Reconstruction des résistivités avec l'algorithme non invasive à partir du champ magnétique du dispositif.

on Magnetism, vol. 49, no. 5, pp. 1925–1928, 2013.

[2] L. Ifrek, S. Rosini, G. Cauffet, O. Chadebec, L. Rouveyre, and Y. Bultel, "Fault detection for polymer electrolyte membrane fuel cell stack by external magnetic field," Electrochimica Acta, vol. 313, pp. 141–150, 2019.

[3] K.-H. Hauer, R. Potthast, and M. Wannert, "Algorithms for magnetic tomography—on the role of a priori knowledge and constraints," Inverse Problems, vol. 24, no. 4, p. 045008, Aug. 2008.

Remerciement : Les auteurs souhaitent remercier l'Institut Carnot – Energies du futur pour le financement de ce projet.

SYS 21 : Protocole de Test Sans Gaz Actif pour les piles à combustible à membrane échangeuse de protons à basse température

Jegado Tifenn, Santiago Suarez, Amine Jaafar, Christophe Turpin

Université de Toulouse, LAPLACE, UMR CNRS INP-UPS, ENSEEIHT, 2 rue Camichel, BP 71 22, 31071 Toulouse Cedex 07, France

Les piles à combustible à membrane échangeuse de protons basse température (PEMFC-BT) représentent une solution prometteuse pour la conversion d'énergie décarbonée, en particulier dans les applications de mobilité et de production décentralisée. Leur fonctionnement repose sur l'alimentation en gaz actifs, principalement l'hydrogène et l'oxygène ainsi qu'un contrôle des conditions opératoires (stoechiométrie, pression, température) du système [1-2]. Dans la majorité des approches de diagnostic actuellement employées, courbes de polarisation, voltammétrie cyclique ou encore spectroscopie d'impédance électrochimique, il est nécessaire de porter le stack en condition opératoires nominales, ce qui limite la flexibilité des essais et augmente leur complexité. Dans ce contexte, des méthodes alternatives ont été développées : les Tests Without Active Gases (TWAG). Dans la continuité des travaux menés au sein du laboratoire Laplace [3-4], cette approche vise à réaliser des diagnostics rapides et non-invasifs, sans recours aux gaz actifs, en utilisant uniquement un gaz neutre tel que l'azote. Elle présente un intérêt particulier pour les PEMFC-BT, où la mise en condition opératoire préalable représente un frein à la caractérisation notamment en fin de production avant la mise en service du stack.

Les TWAG se déclinent en deux types d'essai :

- **M-TWAG (Mechanical Test Without Active Gases) :** Lors de ce test, les lignes fluidiques anodique et cathodique du stack sont mises sous pression avec de l'azote, intégralement ou individuellement en l'absence de toute réaction électrochimique. L'analyse des variations de pression entre les compartiments permet de détecter les fuites internes, liées à des défauts de membrane (ex : fissures) ou d'assemblage ainsi que les fuites externes liées au montage du banc d'essais. Cette méthode, simple à mettre en oeuvre, fournit une estimation quantitative du taux de fuite et constitue un outil efficace pour le diagnostic précoce de la dégradation des membranes.
- **E-TWAG (Electrical Test Without Active Gases) :** Ce test exploite les propriétés électriques intrinsèques d'un stack sans gaz actifs. Le stack est considéré comme un système à la fois capacitif (stockage de charge par effet de double couche) et résistif (dissipation liée aux composants conducteurs). Le protocole consiste à imposer un échelon de courant à la pile sous azote et à mesurer la réponse en tension cellule par cellule. Trois phases caractéristiques sont observées : la charge, le régime permanent et l'autodécharge. L'analyse comparative des courbes de réponse permet d'identifier des cellules présentant des anomalies, telles que des courts-circuits, des défauts d'assemblage via des retards de charge par rapport aux autres par exemple.

En évitant l'utilisation de gaz actifs, ces deux approches permettent de réduire les risques de sécurité, le temps de préparation et les coûts opérationnels lié au diagnostic des PEMFC. Ces méthodes permettent d'obtenir des informations sur l'état mécanique et électrique d'un stack. Elles constituent des outils pour la détection précoce de défauts, l'optimisation du design des stacks et l'amélioration de leur fiabilité à long terme. L'application du TWAG aux PEMFC-BT ouvre ainsi de nouvelles perspectives pour la recherche et le développement, mais aussi pour les tests en fin de phase de production. 2

[1] V. V. Watve, D. S. M. Deshmukh, et N. Satao, « A Review on Proton Exchange Membrane Fuel Cell Applications & Challenges », *International Journal of Science and Research (IJSR)*, vol. 10, no 12, p. 73-76, déc. 2021, doi: 10.21275/SR211129190026.

[2] Z. Wang, Z. Liu, L. Fan, Q. Du, et K. Jiao, « Application progress of small-scale proton exchange membrane fuel cell », *Energy Reviews*, vol. 2, no 2, p. 100017, juin 2023, doi: 10.1016/j.enrev.2023.100017.

[3] T. Génévé, « Méthodes de diagnostic des piles à combustible », Thèse de doctorat, Toulouse, INPT, 2016. <https://theses.fr/2016INPT0026>

[4] W. Rosiński, C. Turpin, et A. Wilk, « Influence of temperature and nitrogen pressure on the test without active gases for high-temperature proton exchange membrane fuel cells », *Archives of Electrical Engineering*; 2023; vol. 72; No 3; 571–583, 2023. <https://journals.pan.pl/dlibra/publication/146037/edition/127814>

SYS 22 : Méthodologie de dimensionnement de systèmes multi-stack de type PEM, étude de la dégradation et des performances

Alexandre Bouvard^{1,2}, Simon Morando¹, Didier Chamagne², David Bouquain²

¹SYMBIO, 10 rue Specia, 69190 Saint-Fons

² Université Marie et Louis Pasteur, UTBM, CNRS, Institut FEMTO-ST, FCLAB, F-90000 Belfort, France

Ce travail est réalisé dans le cadre du développement des produits SYMBIO, constructeur français de systèmes pile à hydrogène. La durabilité des systèmes PEMFC (piles à combustible à membrane échangeuse de protons) est une problématique majeure pour respecter les contraintes environnementales européennes, notamment dans le domaine de la mobilité. L'étude de la dégradation du stack est le sujet de beaucoup de recherches [1].

L'utilisation de ces systèmes sur des plages de fonctionnement trop larges sont un frein à l'augmentation de leur durée de vie. Dans ce sens, la piste des systèmes multi-stacks semble très prometteuse [2]. En effet, multiplier les stacks permet au système global d'admettre plusieurs plages de fonctionnement optimales, minimisant la dégradation de la pile à hydrogène [3]. Cependant la problématique de coût des composants du système et leur efficacité est à considérer. Un surcoût peut provenir de la multiplication des composants auxiliaires des systèmes.

Cette étude porte donc sur le dimensionnement général du système. La première partie s'articule autour de la répartition de puissance entre les stacks, en prenant en compte le nombre de stacks utilisés ainsi que leur taille. La deuxième partie s'intéresse au système et les différentes boucles qui le compose (électrique, admission des gaz et gestion thermique), plus particulièrement aux stratégies de connexion entre stacks (série, parallèle) et à l'intégration des auxiliaires (nombre et dimensionnement) [4]. Enfin, la dernière partie porte sur le développement des lois de gestion qui seront à mettre en place pour privilégier la durée de vie du système tout en gardant un fonctionnement efficient [5].

Pour atteindre ces objectifs, différentes stratégies seront comparées. En se basant sur l'expérience et le savoir-faire de SYMBIO et FEMTO-ST, des critères d'évaluation ont été mis en place pour quantifier la dégradation et les performances des stacks. Ces critères portent sur l'humidité de la membrane, la température, le niveau de tension, le temps passé à faible puissance, le nombre de démarrages-arrêts et le rendement du système.

L'évaluation des performances est réalisée par simulation. Pour cela, un modèle statique de courbe de polarisation de cellule ajustée sur des données SYMBIO est utilisé en utilisant le *Spiral Optimization Algorithm* [6]. Pour déterminer l'humidité de la membrane un modèle a été réalisé en utilisant plusieurs modèles empiriques [7]. Les composants du système sont eux aussi modélisés selon la littérature [8]. L'étude porte pour l'instant sur les véhicules utilitaires légers mais peut être adapté à d'autres types de véhicules. Dans le but de pouvoir tester un maximum de configurations différentes, une étude préliminaire est réalisée pour supprimer celles qui ne permettent pas de respecter les critères d'évaluations. Ainsi plus de stratégies de gestion pourront être testées.

[1] P. Ren, P. Pei, Y. Li, Z. Wu, D. Chen, S. Huang, *Progress in Energy and Combustion Science* **2020**, 80, 100859.

[2] R. Ma, X. Chai, R. Geng, L. Xu, R. Xie, Y. Zhou, Y. Wang, Q. Li, K. Jiao, F. Gao, *Energy Conversion and Management* **2023**, 285, 117015.

[3] W. R. Bankati, L. Boulon, S. Jemei, *International Journal of Hydrogen Energy* **2024**, 82, 374

[4] N. Marx, L. Boulon, F. Gustin, D. Hissel, K. Agbossou, *International Journal of Hydrogen Energy* **2014**, 39, 12101

[5] M. Kandidayeni, J. P. Trovão, M. Soleymani, L. Boulon, *International Journal of Hydrogen Energy* **2022**, 47, 10021

[6] K. Tamura, K. Yasuda, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems* **2020**, 50, 360

[7] R. Gass, Z. Li, R. Outbib, S. Jemei, D. Hissel, *Journal of The Electrochemical Society* **2024**, preprint

[8] J. T. Pukrushpan, *Modeling and control of fuel cell systems and fuel processors* **2003**, manuscrit de these

SYS 23 : Cation Contamination Redistribution Throughout the PEMFC MEA: Towards the Establishment of Regeneration Protocols

Zoé Gomez¹, Florence Dubelley¹, Corine Bas¹, Mégan Vincenot², Jérôme Dillet², Assma El Kaddouri², Olivier Lottin², Julien Durst³

¹Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie-Mont Blanc, CNRS, Grenoble INP, LEPMI, 38000 Grenoble, France

²Univ. Lorraine, CNRS, LEMTA, 54500 Vandoeuvre-lès-Nancy, France

³SYMBIO, 10 rue Specia, 69190 Saint-Fons, France

Proton exchange membrane fuel cells (PEMFCs) are a promising technology for automotive applications. The membrane electrode assembly (MEA) remains the most vulnerable element in fuel cells due to its membrane composed of perfluorosulfonic acids. Over the lifetime of the PEMFC, cation contamination occurs from corrosion of fuel cell stack components such as bipolar plates and could be concentrated at particular locations. These cations can migrate from the bipolar plate into the electrode and the membrane. Indeed, due to their affinity toward sulfonic groups, they tend to replace protons affecting membrane conductivity. In addition, some ionic species such as iron cations are commonly known as catalysts for the Fenton reaction responsible for the chemical degradation of the membrane. In this work, we investigate the local effect of ferric contamination and its diffusion through electrochemical tests and post-mortem analyses. A membrane is strategically contaminated by Fe³⁺ ions, then assembled into MEA using a hot-pressing method. A segmented cell monitors the ferric ion impact on local cell performance and impedance parameters at different operating conditions. After in-situ tests, MEA's membrane and gas diffusion electrodes (GDE) are separated for analysis. Then, iron species are quantified to visualize the migration of Fe³⁺ in both in- and through-plane directions. Post-mortem analysis suggests that at high local contamination, a part of cations is leached from the contaminated regions of the membrane after a PEMFC operating (Figure 1). In terms of cation distribution, post-mortem analyses reveal a preferential diffusion of Fe³⁺ perpendicular to the gas diffusion channels and in the flow direction of H₂. On a local scale, performances of contaminated channels are affected especially at low hydration levels. Besides the in-plane diffusion the propagation of cations from the membrane to electrodes has been detected, at rates approaching 25% of total contamination. The impact of the Fe³⁺ migration on radical scavenger diffusion is discussed. Our results provide useful information about cation diffusion in complex systems such as MEAs and gives us some hints on recovery protocols to extend lifetime of fuel cells.

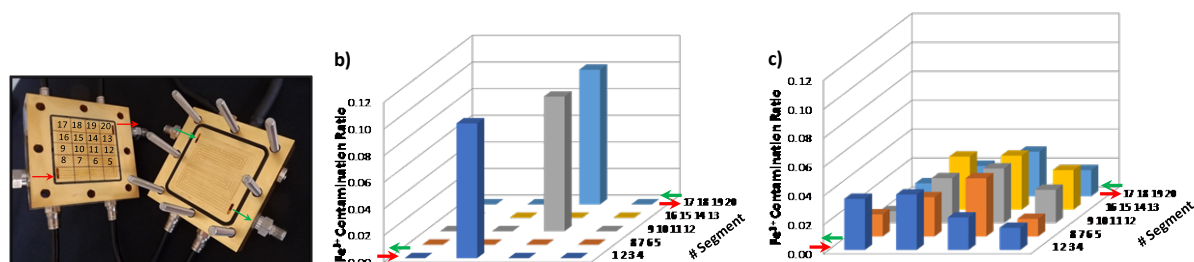


Figure 18 a) 5x5 cm² segmented cell and cation mapping in MEA b) before and c) after PEMFC operating

SYS 24 : Numerical approach for ageing phenomena identification of PEMFC using the Distribution of Relaxation Time (DRT) method

Laurine TURPIN^{a,b}, Quentin CACCIUTTOLO^a, Boyang XU^a, Zhixue ZHENG^b, Marie-Cécile PÉRA^b

^aIFP Energies nouvelles, Rond-point de l'échangeur de Solaize, BP3, 69390 Solaize, France

^b Université Marie et Louis Pasteur, CNRS, Institut FEMTO-ST, FCLAB, F-90000, Belfort, France

This study utilizes the Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) and the Distribution of Relaxation Times (DRT) to analyse the aging of Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFC). It aims to understand the underlying degradation mechanisms to enhance the efficiency and durability of PEMFC in heavy-duty vehicle applications.

EIS is a very useful tool to study the electrochemical properties of a system and decouple phenomena with different dynamics. Various analytical methods can then be used to interpret and reveal the underlying degradation mechanisms related to key parameters such as the ohmic resistance. The Equivalent Circuit Modelling (ECM) for instance involves fitting the impedance spectrum using an equivalent electrical circuit model. However, it presents some limitations due to the simplification of the system, such as the need for an *a priori* model and sometimes the difficulty in parameter identification due to inherent nonlinearities.

Alternatively, the DRT method offers deeper insights into the individual contribution of various phenomena to the impedance spectra. The analysis performed in this work includes firstly the parameter sensitivity on the used DRT tool, and secondly the application of DRT on ageing data [1]. The DRT tool developed by F. Ciucci and his team [2, 3] proposes various settings depending on the approach and data under study: different discretization methods, regularization functions or with (or without) the uncertainty analysis to name a few.

Heinzmann et al. [4] conducted DRT analysis on a single cell and revealed the relationship between the characteristics of the peaks (i.e., amplitude and frequency) and physical phenomena. In this work, similar variations are found on the DRT spectra of a short stack, as shown in Figure 1.

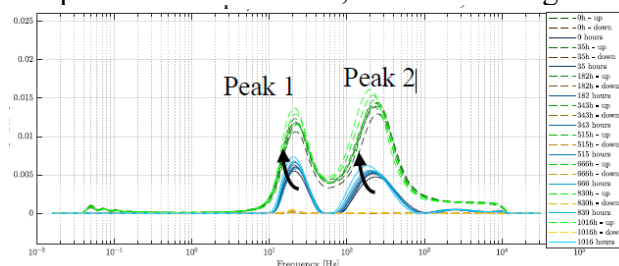


Figure 1: DRT Maximum A posteriori Probability (MAP) evolution with time - Current density Variation at 0.7A/cm² - Gaussian discretization method

The first peak can be correlated with the gas diffusion layer (GDL) corrosion or degradation. The evolution suggests an increased flooding and a reduced gas diffusion to the catalyst layer (CL). The second peak evolution indicates that the kinetic of the reaction is reduced due to the reduction of the electrochemical surface area (ECSA). This likely indicates catalyst corrosion and the occurrence of the Ostwald ripening phenomenon.

Preliminary results thus indicate that DRT has the potential to improve ageing models. Future research will focus on applying this method to additional experimental datasets, while considering various operational conditions that can impact degradation.

[1] E. Pahon et al., "Impact of current ripples on the durability of proton exchange membrane fuel cells based on two ageing datasets", Data in Brief, vol. 45, 2022.

[2] M.B. Effat, F. Ciucci, "Bayesian and Hierarchical Bayesian Based Regularization for Deconvolving the Distribution of Relaxation Times from Electrochemical Impedance Spectroscopy Data", Electrochimica Acta, 247 (2017) 1117-1129.

[3] T.H. Wan et al., "Influence of the Discretization Methods on the Distribution of Relaxation Times Deconvolution: Implementing Radial Basis Functions with DRT tools", Electrochimica Acta, 184 (2015) 483-499.

[4] M. Heinzmann et al., "Advanced impedance study of polymer electrolyte membrane single cells by means of distribution of relaxation times", Journal of Power Sources, vol. 402, 2018, p. 24-33.

Plan du site de la réunion



Aux côtés du CNRS, INC et INSIS :



Les partenaires de la Fédération Hydrogène pour les plénières 2025 :

