

H2 Breakfast
10 novembre 2023
8h30 – 9h30

...En ligne...



BRETAGNE^{BE}
HYDROGÈNE
RENOUVELABLE

BRETAGNE^{BE}
HYDROGÈNE
RENOUVELABLE



BRETAGNE^{BE}
DÉVELOPPEMENT
INNOVATION

Ordre du jour

H2 Breakfast du vendredi 10 novembre 8h30-9h30

1. **Informations générales filière** hydrogène & agenda *par Elodie Boileux, BDI*
2. **Présentation du projet de GRHYN** « de l'hydrogène renouvelable grâce à la biologie synthétique » *par Jordan HARTUNIANS, fondateur de GRHYN*
3. **Présentation de l'Institut de Corrosion**, des projets relatifs à l'électrolyse de l'eau (projets "PROTIS" et "UNICORN" et du travail sur le coût des PAC *par Michel Prestat, Senior Researcher*
4. **Point sur les études en cours et les projets** (AMI, AAP) pour soutenir des projets innovants en faveur de la **pêche et l'aquaculture** *par Laëtitia Gaulier Chargée de l'innovation et des projets structurants des filières pêche et aquaculture, Région Bretagne*
5. **Présentation de la veille marché hydrogène**, *par Brice Turban, Chargé d'affaires industrie Bretagne Commerce International*
6. **Informations générales filière** hydrogène & agenda (suite)
7. **Questions diverses**

Informations générales
filière hydrogène
par Elodie Boileux, BDI

BRETAGNE^{BE}
**HYDROGÈNE
RENOUVELABLE**

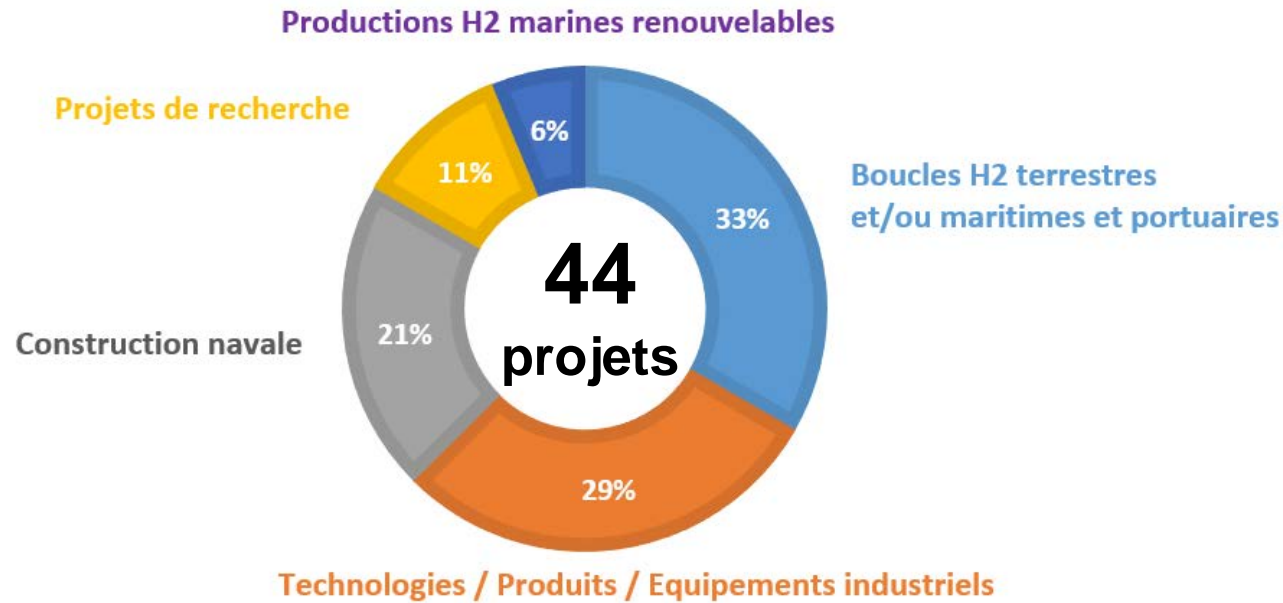
BRETAGNE^{BE}
**HYDROGÈNE
RENOUVELABLE**



BRETAGNE^{BE}
**DÉVELOPPEMENT
INNOVATION**

Etude 2nd semestre : Chiffres clés filière

Une actualisation des chiffres au second semestre



Source : base Craft - BDI



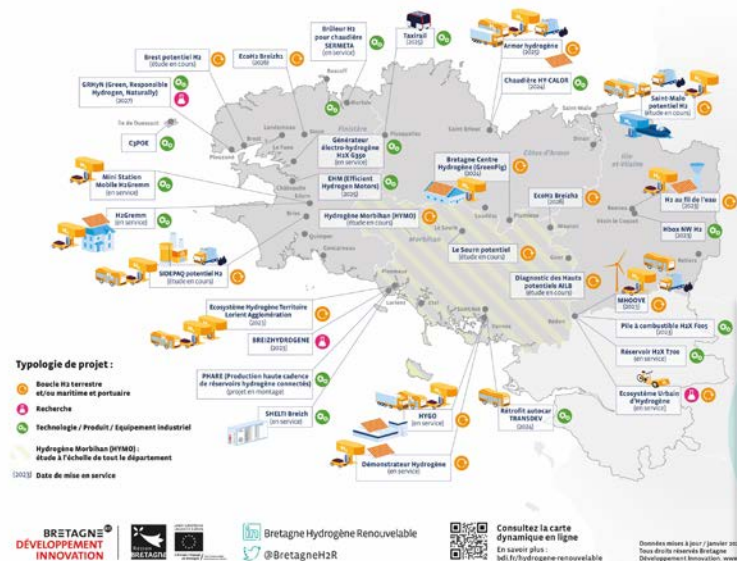
Une enquête au 2nd semestre
pour actualiser les chiffres :

- Compétences
- Développement
- Projets
- RH & besoin de formation
- International
- HyVolution

Etude 2nd semestre : Chiffres clés filière

Une actualisation des chiffres au second semestre

Carte des projets hydrogène renouvelable terrestres en Bretagne



Carte des projets hydrogène renouvelable maritimes et portuaires en Bretagne





ANTHONY DOBAIRE
Etudes et cartographies

✉ a.dobaire@bdi.fr
☎ 0299848539



Une enquête au 2nd semestre pour actualiser les chiffres :

- Compétences
- Développement
- Projets
- RH & besoin de formation
- International
- HyVolution

HyVolution 2024

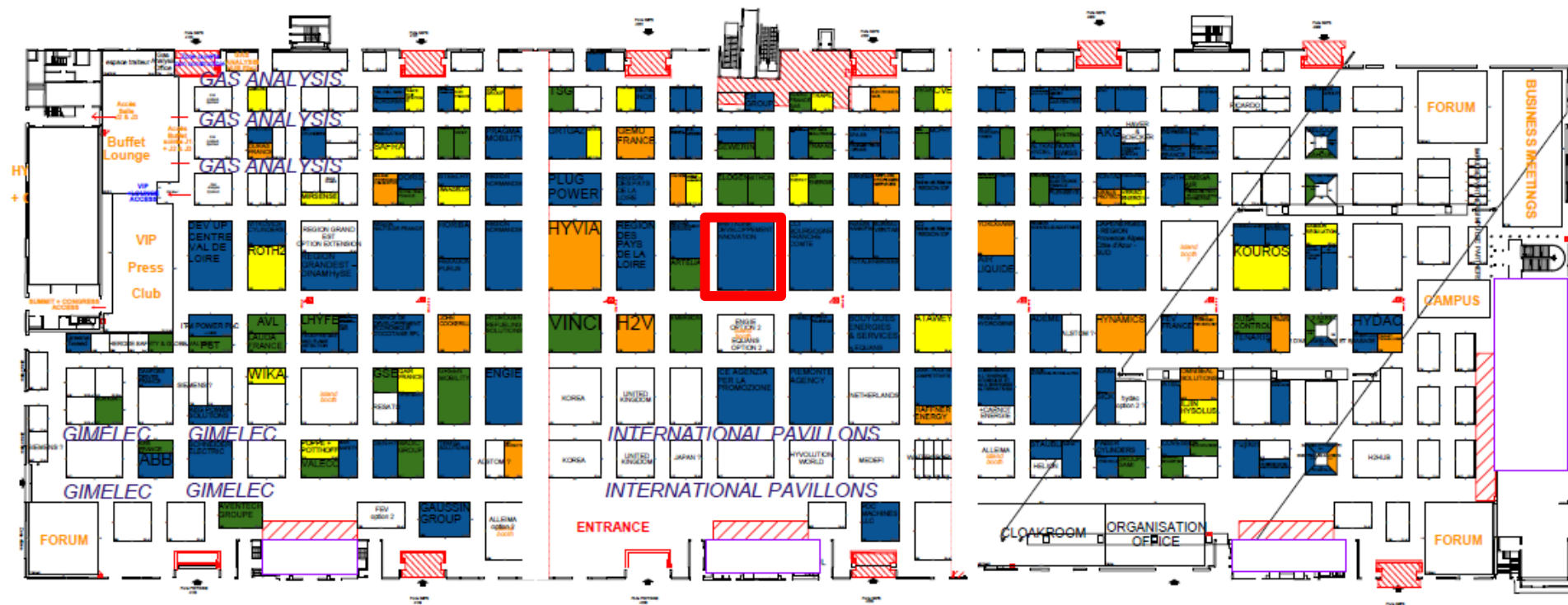
Commercialisation des offres de co-exposition



HyVolution 2024

30, 31 janvier et 1^{er} février 2024 – Paris, Porte de Versailles

HYVOLUTION PARIS 2024

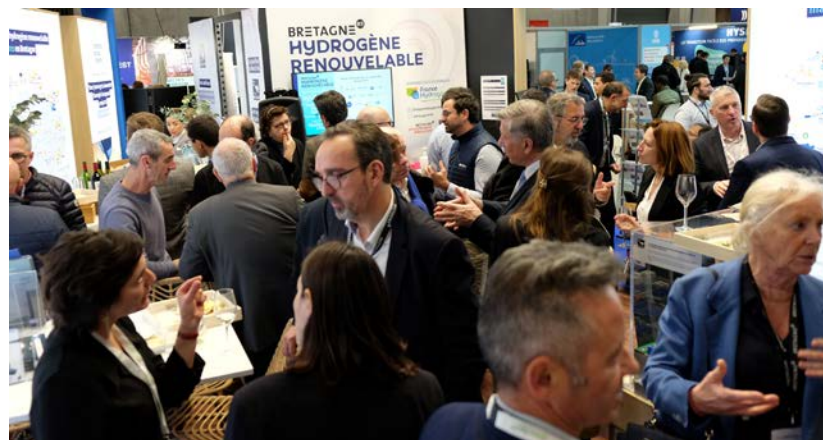


BRETAGNE^{DE}
DÉVELOPPEMENT
INNOVATION

France
H₂ Hydrogène
Engagée pour la transition écologique
Délégation
Bretagne

HyVolution 2024

Commercialisation des offres de co-exposition



Formule 1 : une « station de travail » de 4 m² ou 9 m² sur le Pavillon Bretagne à HyVolution

Formule 2 : un « espace de visibilité » sur l'espace commun du Pavillon Bretagne

Formule 3 : participation à l'« Espace partagé Bretagne H2 Recherche & Formation » du Pavillon Bretagne

Calendrier des événements 2023 en Bretagne

Novembre

- Jeudi 9 novembre - **Copart Région Bretagne** // Animation & infos filière
- Vendredi 10 novembre – **H2 Breakfast** (8h30 - 9h30, en ligne)

Décembre

- Vendredi 1^{er} décembre – **H2 Breakfast** (8h30 - 9h30, en ligne)
- Jeudi 7 décembre – **Assemblée Générale de France Hydrogène** // Représentation filière & lobbying
- Mercredi 13 décembre – **Rencontre filière et réunion France Hydrogène Bretagne à l'UBS à Lorient**
- Mardi 19 décembre – **Atelier FDR usages H2** (suite Copart)

Janvier – février 2024

- Vendredi 5 janvier - **H2 Breakfast** (8h30 - 9h30, en ligne)
- Vendredi 12 janvier – **Atelier FDR usages H2** (suite Copart)
- Vendredi 26 janvier – **Atelier FDR production H2** (suite Copart)
- 30,31 janvier et 1^{er} février – **HyVolution 2024**, porte de Versailles à Paris
- 9 Février – **Atelier FDR logistique, transport H2** (suite Copart)

Rencontre filière

Mercredi 13 décembre à l'UBS, Lorient



Pré-programme de la journée filière H2 bretonne à Lorient dans les locaux de l'UBS :

- 9h30 : **Accueil** café
- 10h00 : **Réunion France Hydrogène, délégation Bretagne**
- 11h30 : **Conférences** :
 - > UBS, M. Laurent Guillet "Hydrogène : Implication des acteurs dans les mutations des pratiques et usages"
 - > Présentation de l'étude : H2, Quel horizon pour la pêche bretonne ? (Hinicio & Bureau Veritas – Skyborn renewables)
- 12h30 : **Cocktail déjeunatoire**
- 14h00 : **Visite UBS** : visite du plateau technique Compositic et de l'équipement d'essais de réservoirs H2
- 16h00 : **Réunion co-exposants HyVolution** et réalisation d'interview vidéos
- 17h30 : Fin d'événement

Présentation du projet de GRHYN
« De l'hydrogène renouvelable
grâce à la biologie synthétique »

par Jordan Hartunians, GRHYN

BRETAGNE^{BE}
**HYDROGÈNE
RENOUVELABLE**

BRETAGNE^{BE}
**HYDROGÈNE
RENOUVELABLE**



BRETAGNE^{BE}
**DÉVELOPPEMENT
INNOVATION**



GRHyN

Using synthetic biology to fight climate change

Jordan Hartunians
j.hartunians@grhyn.fr

H₂ breakfast – 10 Novembre 2023

UN BESOIN D'H₂
DÉCARBONÉ

99.3 %

DE L'H₂ EST ISSU DE
RESSOURCES FOSSILES EN 2021

PAR DES MÉTHODES POUVANT PRODUIRE PLUS DE

10 KG DE CO₂
POUR 1 KG D'H₂

(SOIT 900 MILLIONS DE TONNES DE CO₂ EN 2021)

Source: International Energy Agency 2022

Un gisement à exploiter: La biomasse

... et nos déchets agro-industriels

Biomolécules
les plus abondantes:

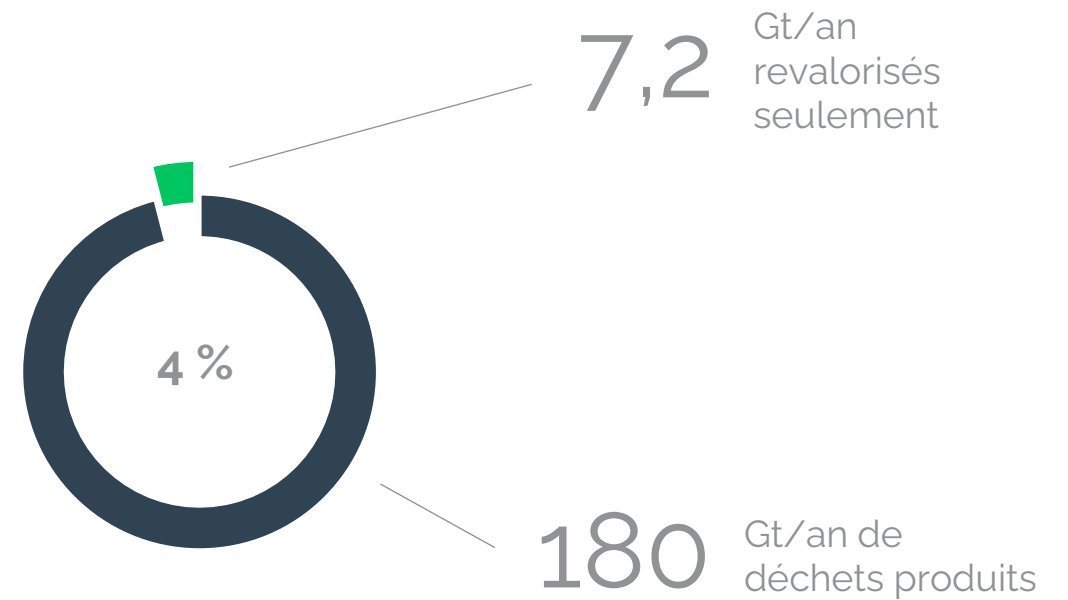
→ Chitine

→ Cellulose

→ Lignine



EXEMPLE:
Déchets
lignocellulosiques





P= -8.9°

T=-13.3°

Cap=208.7°
209.3

LA SOLUTION GRHyN, ISSUE DE LA BIODIVERSITÉ DU FOND DES OCÉANS

Imm=1725.7m
1725.6

v1=-0.2m/s

Vt= 0.0m/s

Alt= 1.9m

Rdi= 2.2m

Objectifs

DÉVELOPPER DES SOLUTIONS INDUSTRIELLES DE PRODUCTION D'HYDROGÈNE RENOUVELABLE GRÂCE A LA CULTURE DE MICROORGANISMES MARINS

Compétitive

< 2,5 €/kg

Durable

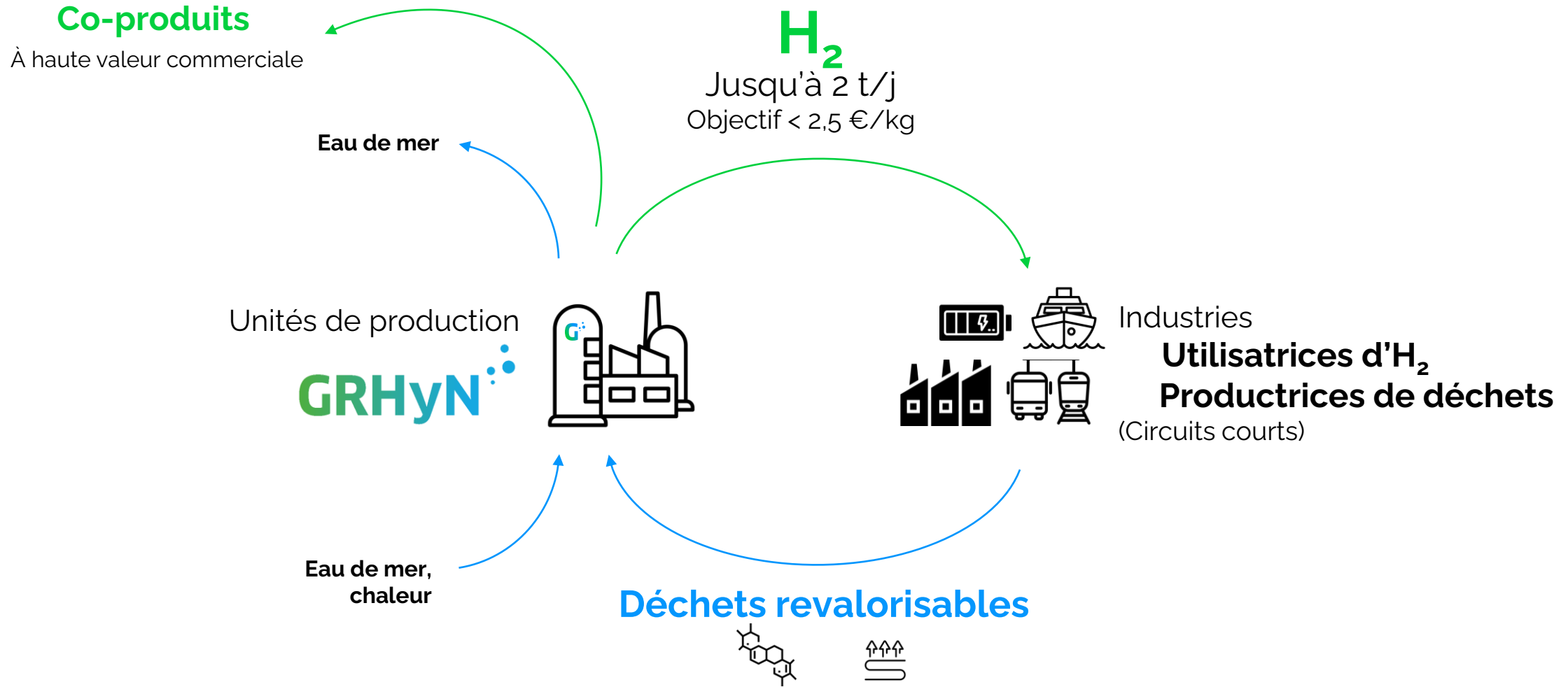
basée sur l'utilisation de
déchets agro-industriels

Sans émission
de CO₂

GRHyN

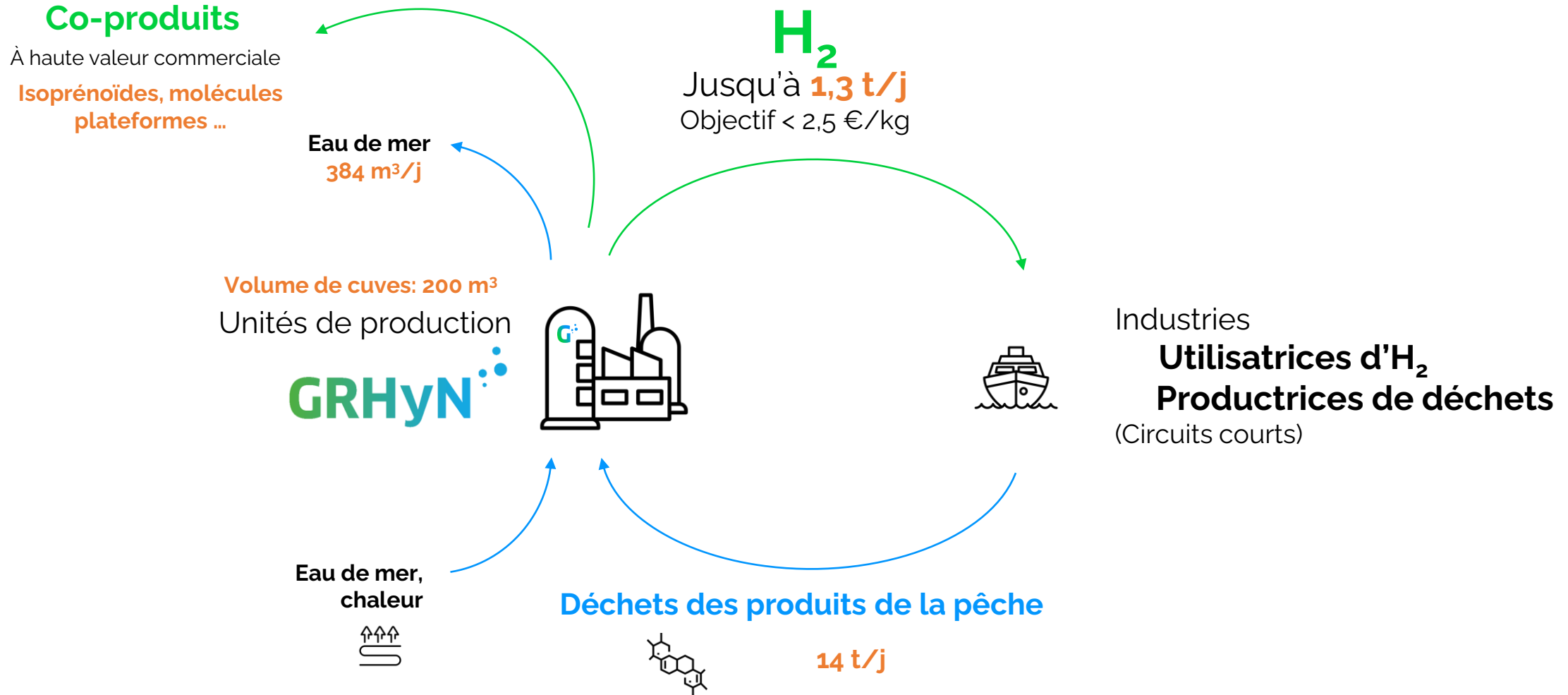
Using synthetic biology to fight climate change

Vers une nouvelle chaîne de valeur H₂ circulaire



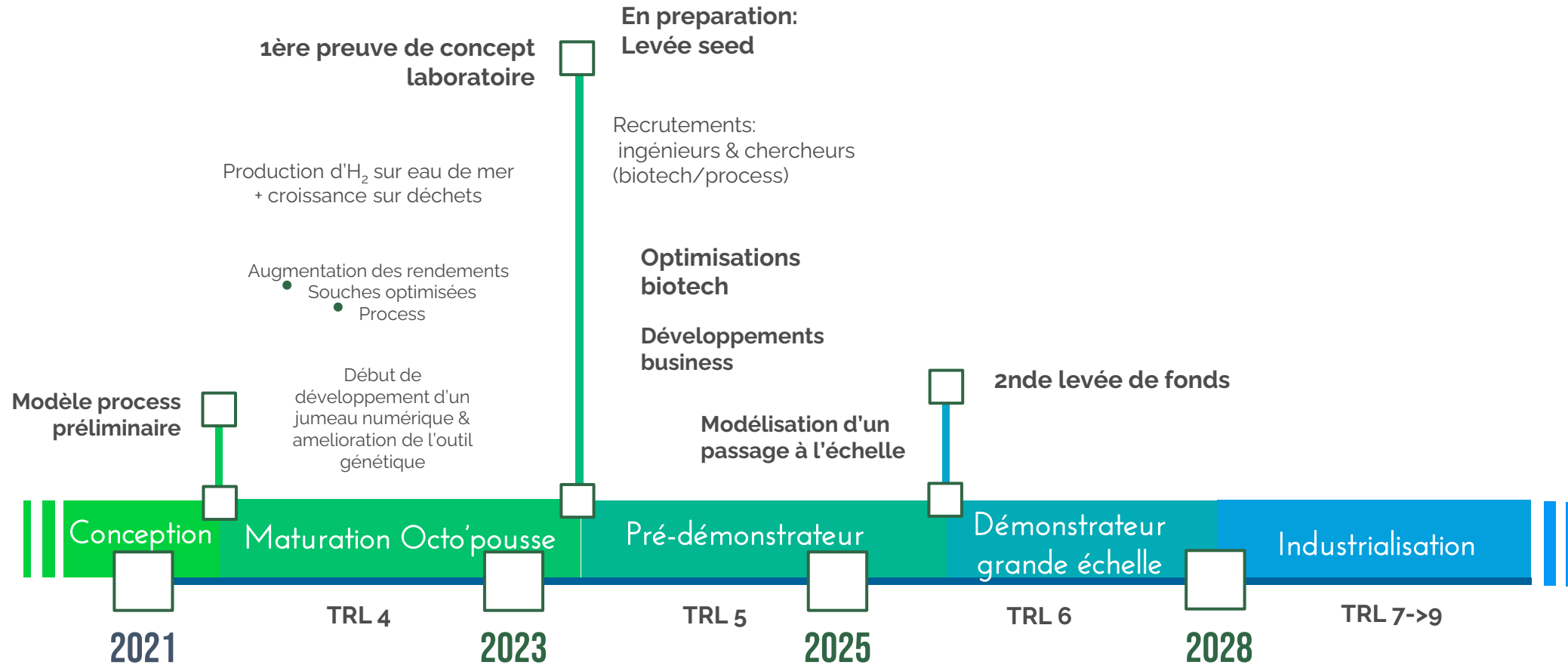
Exemple de dimensionnement

Port de pêche



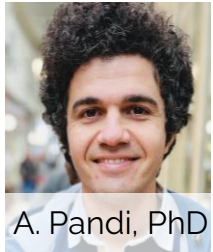
Roadmap

vers l'industrialisation



L'équipe

et autres collaborateurs



A. Pandi, PhD

CSO

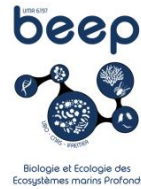
Expertise **Biologie synthétique / Ingénierie métabolique / fixation de carbone**
 Post-doc INSERM (Paris)
 Ex: Max Planck, INRA



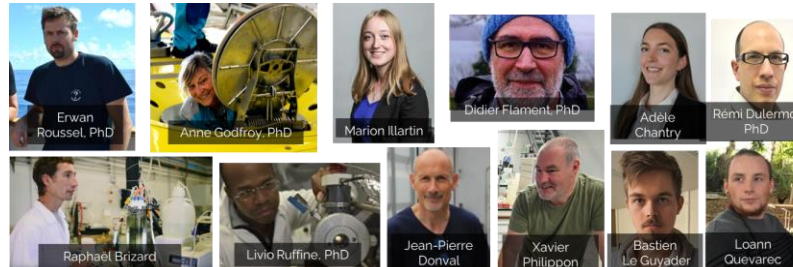
J. Hartunians, PhD

CEO

Expertise **Microbiologie / Biologie synthétique / Hydrogène**



Collaboration Octo'pousse



GRHyN

Comité stratégique

Entrepreneuriat



Réseau & développement



Collaborateurs & laboratoires



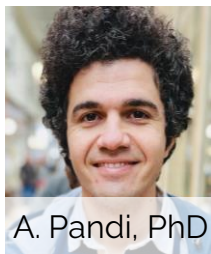
Partenaires techniques



L'équipe et autres collaborateurs

- Chief Technical Officer
- Fournisseurs d'intrants
- Financements

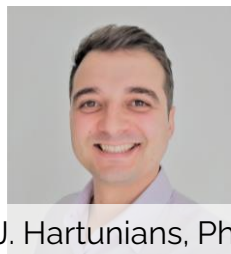
Besoins



A. Pandi, PhD

CSO

Expertise **Biologie synthétique / Ingénierie métabolique / fixation de carbone**
Post-doc INSERM (Paris)
Ex: Max Planck, INRA



J. Hartunians, PhD

CEO

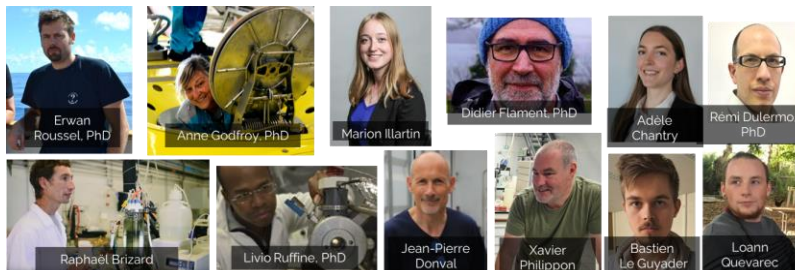
Expertise **Microbiologie / Biologie synthétique / Hydrogène**



Biologie et Ecologie des Ecosystèmes marins Profonds



Collaboration Octo'pousse



GRHyN

Comité stratégique

Entrepreneuriat



Réseau & développement



Collaborateurs & laboratoires



Partenaires techniques



**WASTE IS ONLY WASTE
IF YOU WASTE IT**

will.i.am

**WASTE IS ONLY WASTE
IF YOU WASTE IT**

MICROBES DON'T

GRHyN^{•••}
will.i.am

GRHyN

Using synthetic biology to fight climate change

Jordan Hartunians
j.hartunians@grhyn.fr

H₂ breakfast – 10 Novembre 2023



Présentation de
l'Institut de Corrosion
et ses projets de recherche

par Michel Prestat, Senior Researcher

BRETAGNE^{BE}
**HYDROGÈNE
RENOUVELABLE**

BRETAGNE^{BE}
**HYDROGÈNE
RENOUVELABLE**



BRETAGNE^{BE}
**DÉVELOPPEMENT
INNOVATION**

Présentation des activités électrolyse et hydrogène de l'Institut de la Corrosion

Dr. Michel Prestat, Dr. Flavien Vucko

Institut de la Corrosion (IC)

Technopôle de Brest

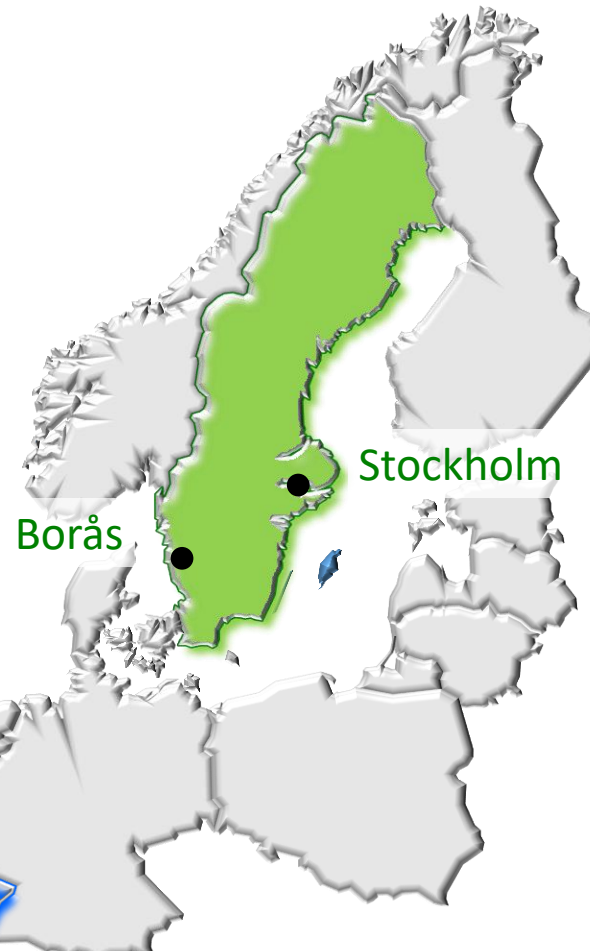
michel.prestat@institut-corrosion.fr



L'Institut de la Corrosion en bref

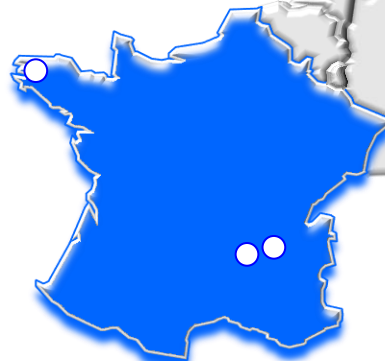
- PME, institut de recherche à but non-lucratif.
- Essentiellement recherche appliquée/industrielle.
- Fondé en 2002.
- 57 collaborateurs (-trices).
- Filiale de RISE Corrosion.

Financements: 85% secteur privé + 15% secteur public (EU, ANR...)



RISE Corrosion
58 collab.

Brest (siège social)
35 collab.



Saint Etienne
15 collab.

Lyon
7 collab.

Secteurs d'activité multiples: aéronautique, oil&gas, corrosion marine, métallurgie, automobile, chimie, biomédical ..., **hydrogène (transport, stockage, plus récemment électrolyse de l'eau)**



Personnel hautement qualifié:

- 13 Docteurs
- 16 Ingénieurs / Masters
- 4 Doctorants
- 21 Techniciens / Assistants-Ingénieurs

Financements:

- 70 % Projets industriels et expertises
- 15% Association ARCOR (slide 4)
- 15% Public (UE, ANR...)

Production des 5 dernières années:

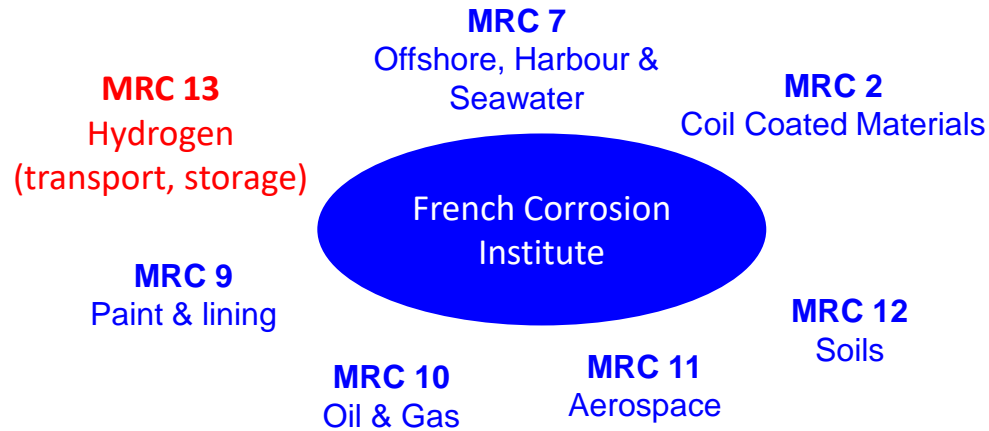
- ~ 50 projets industriels
- ~ 70 publications dans des revues scientifiques (10-15 /an)
- ~ 100 présentations dans des conférences internationales

Offre de services:

- Expertises (études mono-client)
- JIP: Joint Industrial Projects (multi-clients)
- Partenariats public-privé (projets Européens...)
- Projets académiques (ANR, ANRT, Marie Curie...)
- Interventions sur site

Cost-shared R&D: Member Research Consortia (MRC)

- **Adhesion fee: 6.5 k€/year** (initial commitment of 3 years)
- R&D activities decided by the MRC members.
- 100% budget dedicated to applied R&D for industry.
- 30% discount for commissions/consultancies/R&D studies.



MRC 13 members (hydrogen transport and storage):
28 members from 9 countries

Airbus	Aperam	Akzo Nobel	Böhler Edel
GE Power	Geostock	GRT Gaz	Industeel
Sandvik	Shell	Storengy	Technip Energies
Technip FMC	Tenaris	Terega	Total Energies
Ugitech	Vallourec	DGA	Tata Steel
Bekaert	Ascometal	EDF	BakerHugues

65 member companies



ARCOR

Association pour la Recherche sur la Corrosion et l'Anti-Corrosion

Member Research Consortia

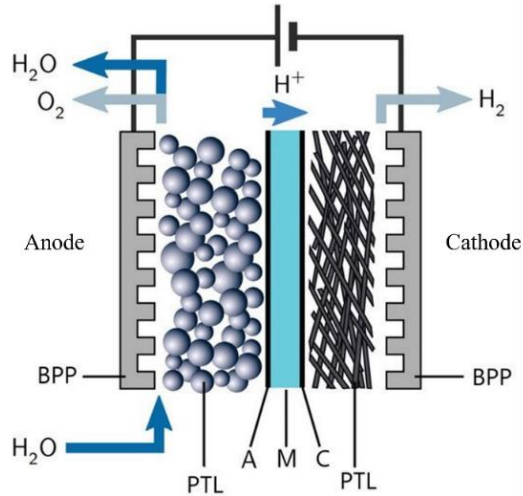
- Paints and linings for steel and related alloys structures in atmosphere and in immersion -
- Oil & Gas production: metallic materials
- Corrosion in Aerospace Industry
- Corrosion and Cathodic Protection in Soils
- Offshore, harbour and seawater systems
- Corrosion properties of coil-coated steel products
- Hydrogen Industry

Activities in progress within MRC13

- Test method for fracture toughness evaluation under H2 pressure
- Properties of corrosion-resistant alloy under H2 pressure and cryogenic temperatures
- Test method for permeability evaluation under H2 pressure

Next MRC: Development of a MRC on (anti-)corrosion in electrolyzers and fuel cells during 2024.

• Electrolyseurs à membrane échangeuse de protons (PEM)



Durée de vie:
> 50000 heures

M: membrane polymère = électrolyte (**acide**)

A,C: anode, cathode.

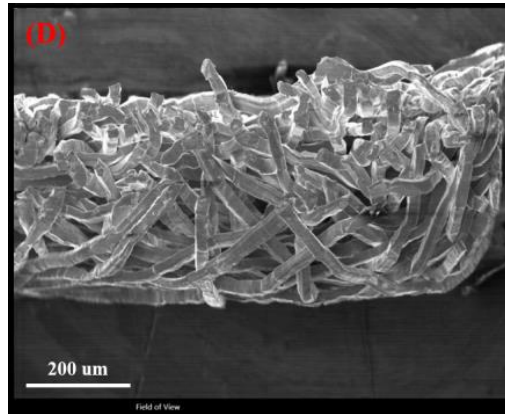
PTL: porous transport layers (**métal**), couches poreuses de diffusion.

BPP: bipolar plates (**métal**), plaques bipolaires.

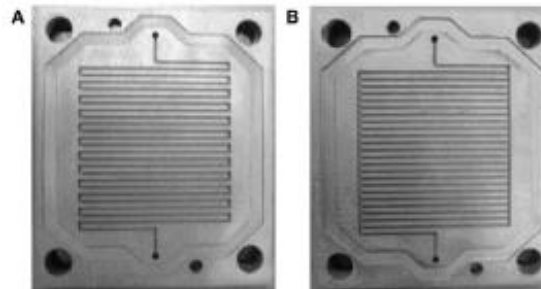
Environnement corrosif pour les BPP et PTL.

Technologie très sensible à la pollution métallique, même à de faibles niveaux (ppm)

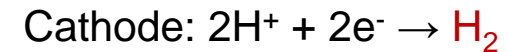
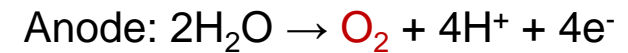
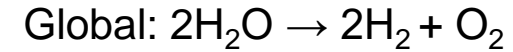
PTL: épaisseur. = 100-500 μm



BPP: épaisseur = quelques mm



Principe de l'électrolyse de l'eau:



→ Stockage d'énergie dans l'hydrogène

Contexte (transition énergétique): Rendre l'électrolyse économiquement plus compétitive tout en conservant/augmentant sa durabilité.

Actuellement: 4-6 €/kg avec l'électrolyse PEM vs. 1-2 €/kg avec le vaporeformage de ressources fossiles (> 95% de la production mondiale de H_2 avec émissions conséquentes de CO_2).

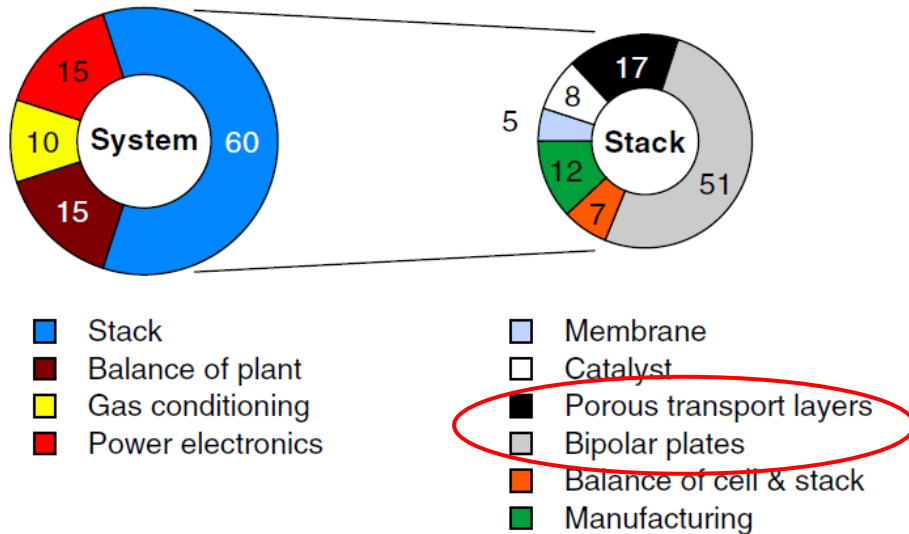
→ Actuell^t: BPP et PTL en titane revêtu (Pt, Au). R&D (académique/industrielle) pour réduire les coûts.

→ Innovation: BPP et PTL en **inox** protégés de la corrosion par des revêtements **sans métaux précieux (Pt, Au)**.

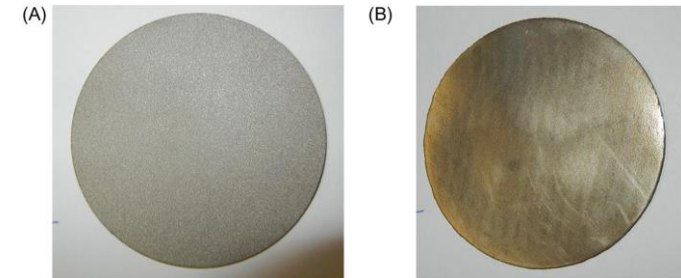
PEM water electrolyzer stack: material costs

Corrosion-related cost issues in PEMWE

Cost breakdown of PEM electrolyzer stack (in %)



Pristine anode PTL Corroded anode PTL



Unprotected titanium PTL: corrosion (oxidation)

D.G. Bessarabov et al., Performance Degradation, in: PEM Water Electrolysis, Academic Press, 2018.

BPP+PTL: > 60% of the stack capital expenditures (CAPEX) !

Corrosion-based limitation of PEMWE's economic competitiveness

M. Babic *et al.*, J. Electrochem. Soc. 164 (2017) F387



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Power Sources

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jpowsour

Review article

Corrosion of structural components of proton exchange membrane water electrolyzer anodes: A review

Michel Prestat

M. Prestat, J. Power Sourc. 448 (2023) 227563.

Capex reduction-driven challenges **based on corrosion approach:**

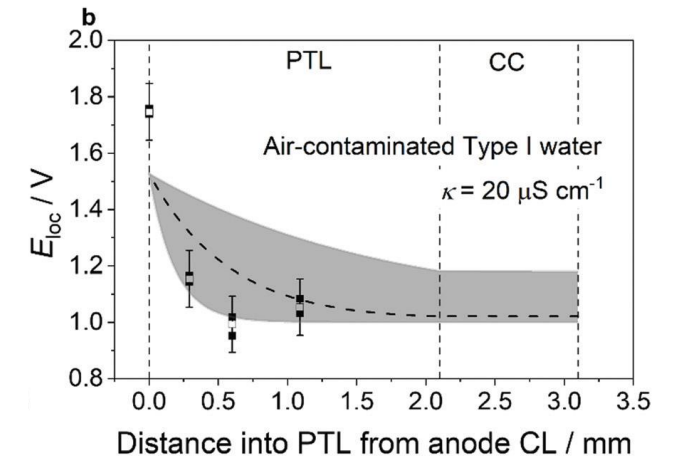
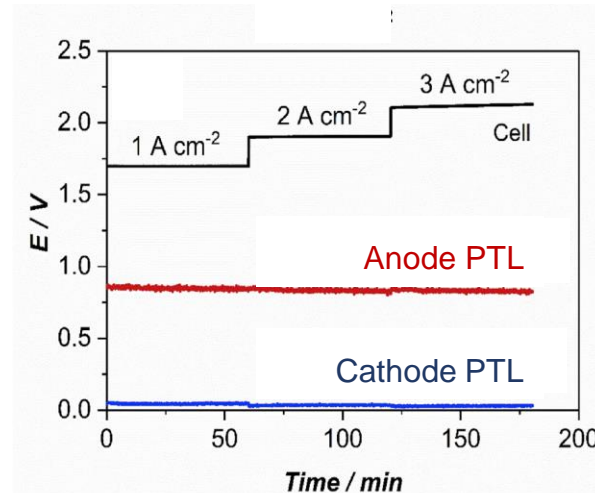
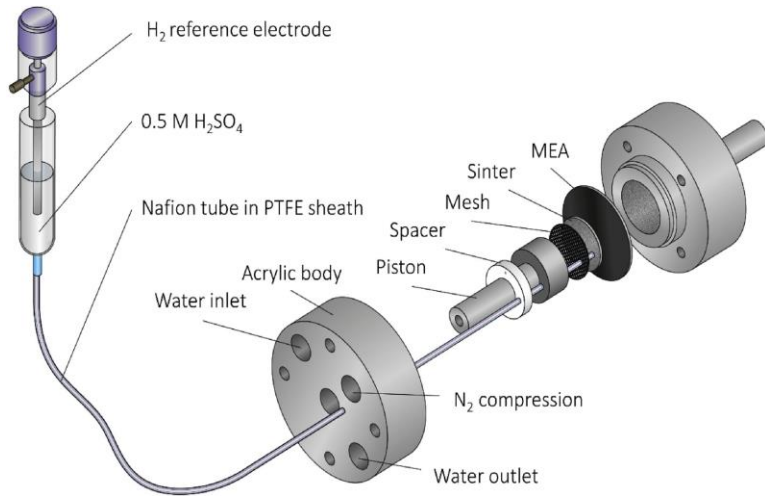
→ Replacing titanium by stainless steels (or other metals)

→ Ensuring corrosion resistance using cost-effective protective coatings.

→ **IC strategy: From low-TRL projects to hi-TRL & services to industry.**

* SHE = Standard hydrogen electrode

Corrosion-related cost issues in PEMWE



Becker *et al.*, J. Power Sources 448 (2020) 227563.

Becker *et al.*, Energy Environ. Sci. 448 (2022) 227563.

Local measurements within the PTL (2-3 mm thick Ti sinter) “far” (several 100 μm) from the catalyst layer (CL).

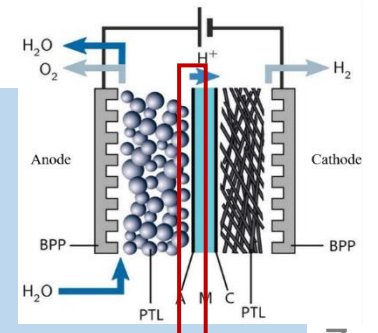
→ PTL (and thus the BPP) is decoupled from the applied current density.

→ BPP (and most of the PTL) is NOT electrochemically polarized at ca. +2 V/SHE* on the anode side.

For *ex situ* corrosion experiments:

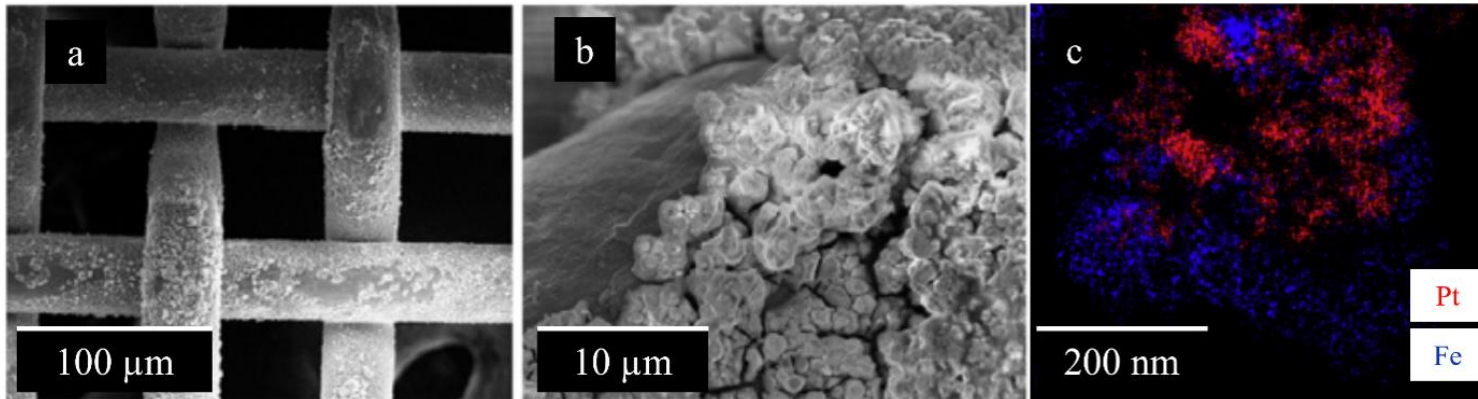
→ BPP: corrosion potential (open-circuit potential) and near-neutral pH (4-6).

→ PTL/catalyst interface: potential around +2 V/SHE and acidic pH (~ 0-2). **Biggest challenge !**



J. Mo *et al.*, Int. J. Hydrogen Energy 40 (2015) 12506.

J. Mo *et al.*, Int. J. Hydrogen Energy 42 (2017) 27343.



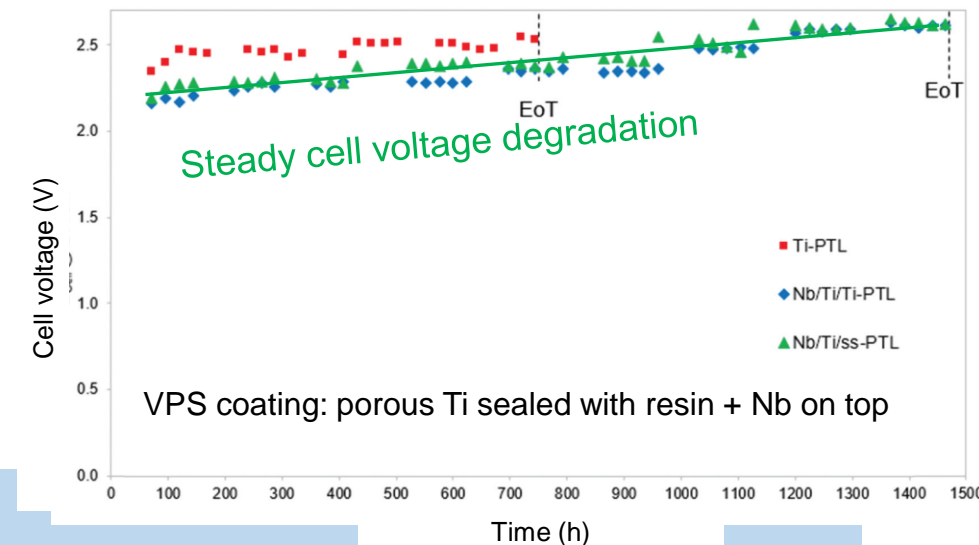
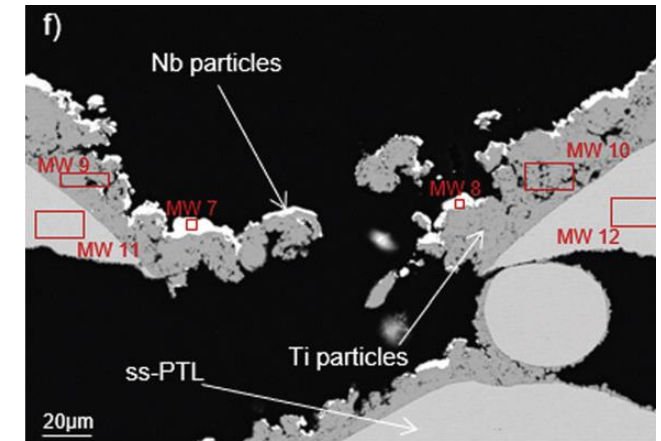
316L mesh taken as model anode PTL. Inserted in PEMWE for 15 h at 1A/cm² at 20°C:

- Heavily corroded PTL (a,b), detection of Fe pollution at the cathode (c) and fast degradation of electrolysis performance.
- 316L PTL needs corrosion protection.

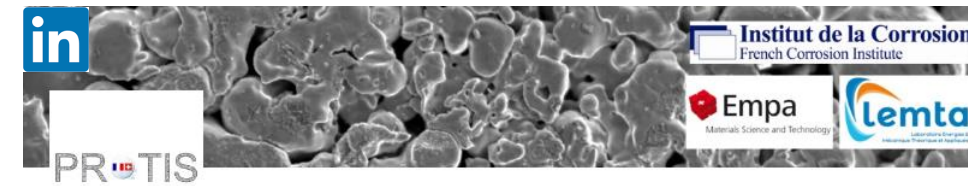
→ 316L PTL must be protected against corrosion.

→ Thick VPS Ti-Nb coatings demonstrated corrosion protection. Could thin film techniques do better?

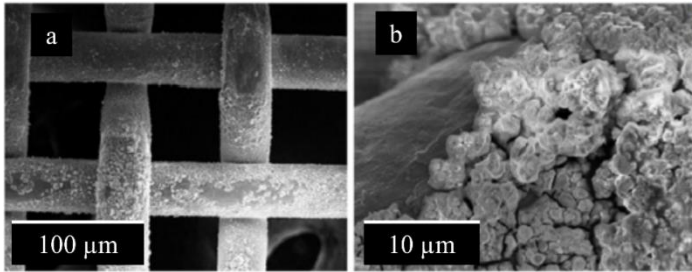
Stiber *et al.*, Energy Environ. Sci., 15 (2022) 109



PROTIS (2023-2026), low TRL

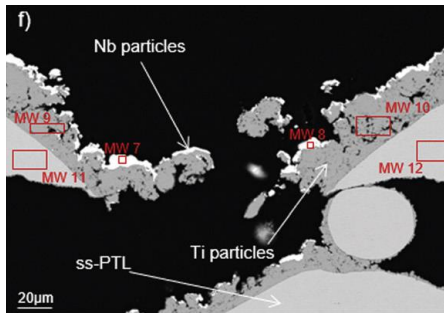


PROTIS Project



- Very corrosive environment (pH ~1, high anodic potential).
- 316L stainless steel PTL quickly corrodes (within 15 hours) if not protected by a suitable coating.

J. Mo *et al.*, Int. J. Hydrogen Energy 40 (2015) 12506.

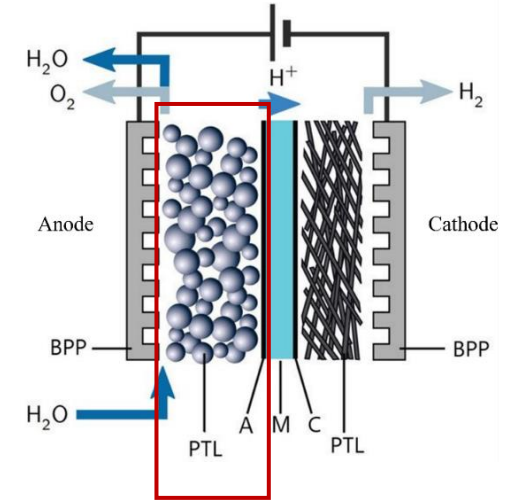


- First coating solution for porous 316L PTL published in 2022 (German Aerospace Center).

- Thick Ti/Nb porous coatings that need to be sealed.

Stiber *et al.*, Energy Environ. Sci., 15 (2022) 109

PROTIS: can thin films (< 1μm) do the protection job ?



PROTIS activities:

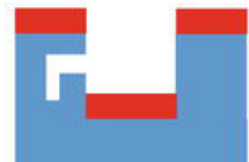
- [EMPA] Coatings for stainless steel PTL with thin oxide layers (ALD and PVD).
- ALD: atomic layer deposition, PVD: physical vapor deposition. **Both transferable to industry.**
- [IC] Corrosion testing, development of ex situ accelerated stress (ageing) tests.
- [LEMMA, Uni. Lorraine] PEM electrolysis, development of in situ accelerated stress tests.

i. ALD Deposition



Full PTL protection,
very thin coating < 50 nm

ii. PVD Deposition

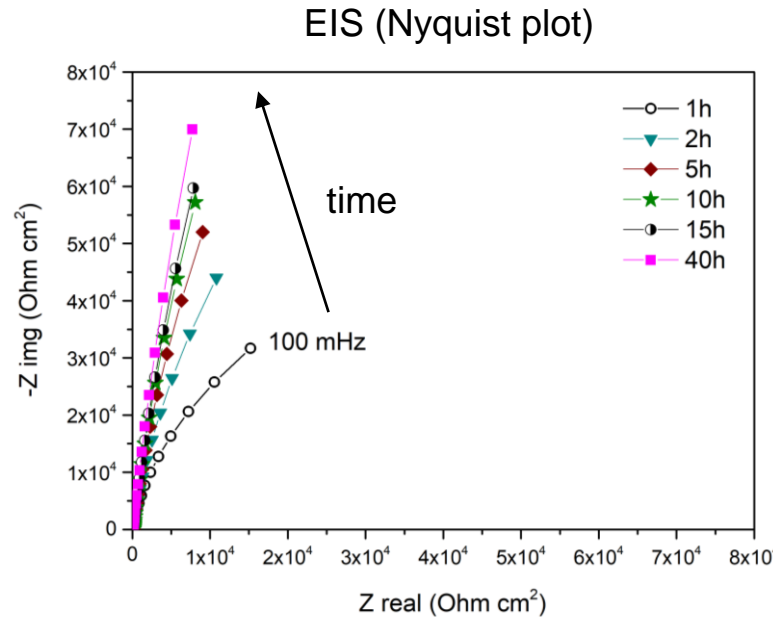
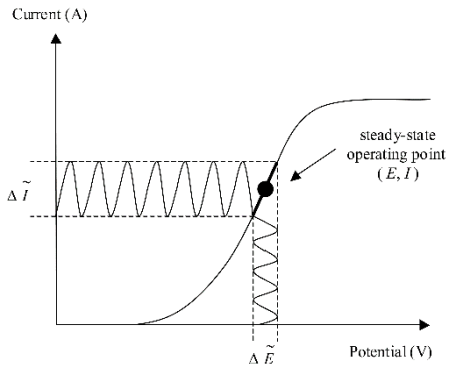


PTL surface protection,
coatings up to 1 μm

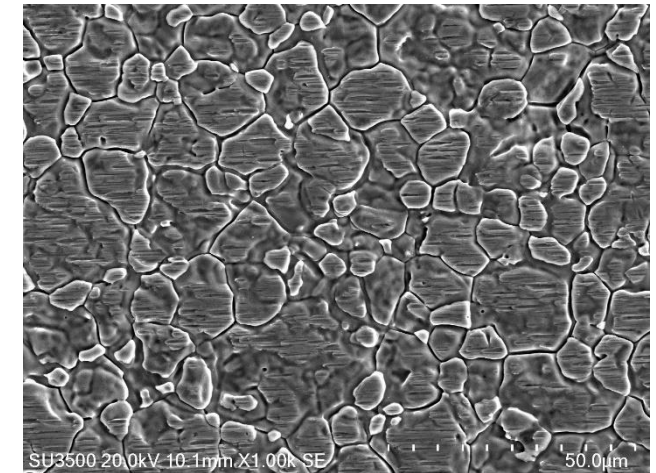
• Electrochemical investigations in concentrated H_2SO_4 at OCP

OCP = open-circuit potential = free corrosion
No DC polarization = simple immersion.

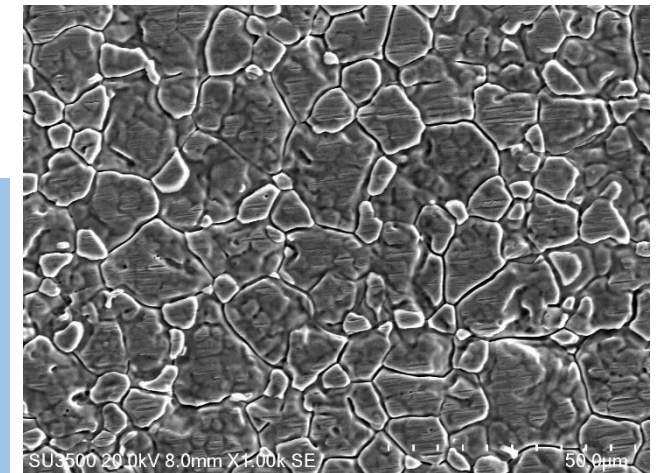
EIS = electrochemical impedance spectroscopy



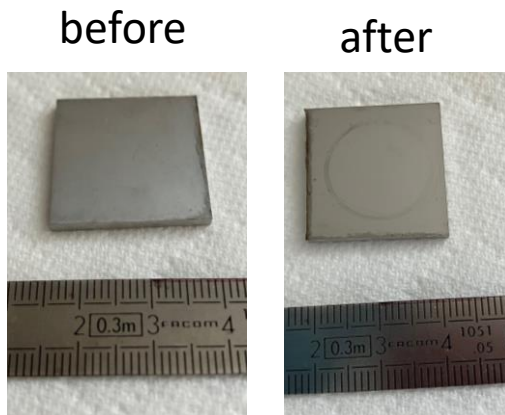
SEM observations



before



after

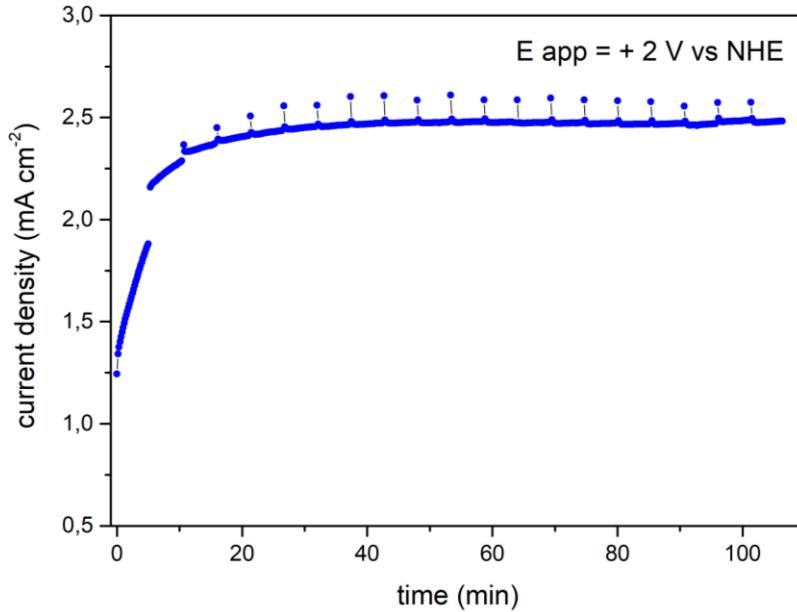


→ No visible degradation (naked eye, SEM).
→ Increase of impedance with time suggests the building of thicker (nm) passive layer. More corrosion protection but probably more interfacial contact resistance as well.

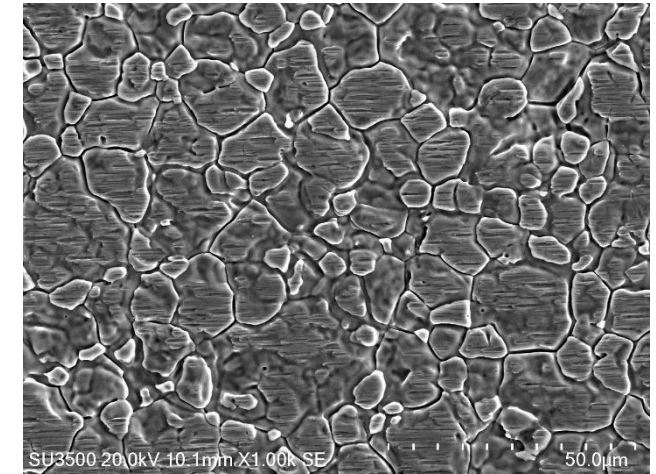
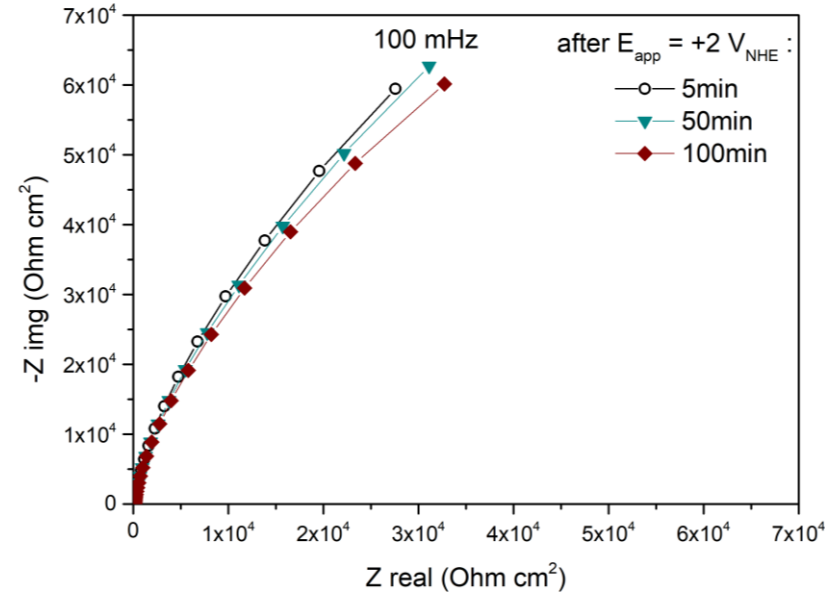
Electrochemical investigations in concentrated H_2SO_4 at +2V

SEM observations

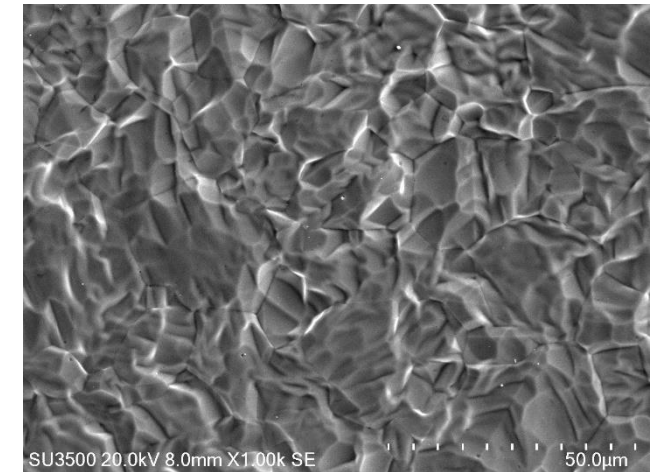
Chronoamperometry curve



EIS at OCP



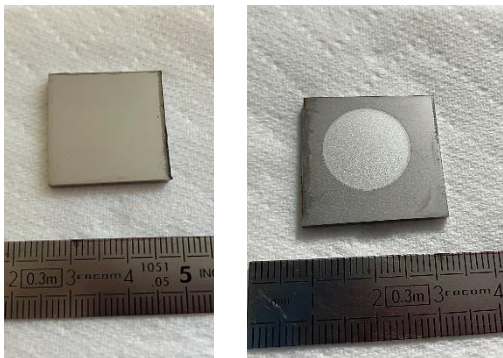
before



after

before

after

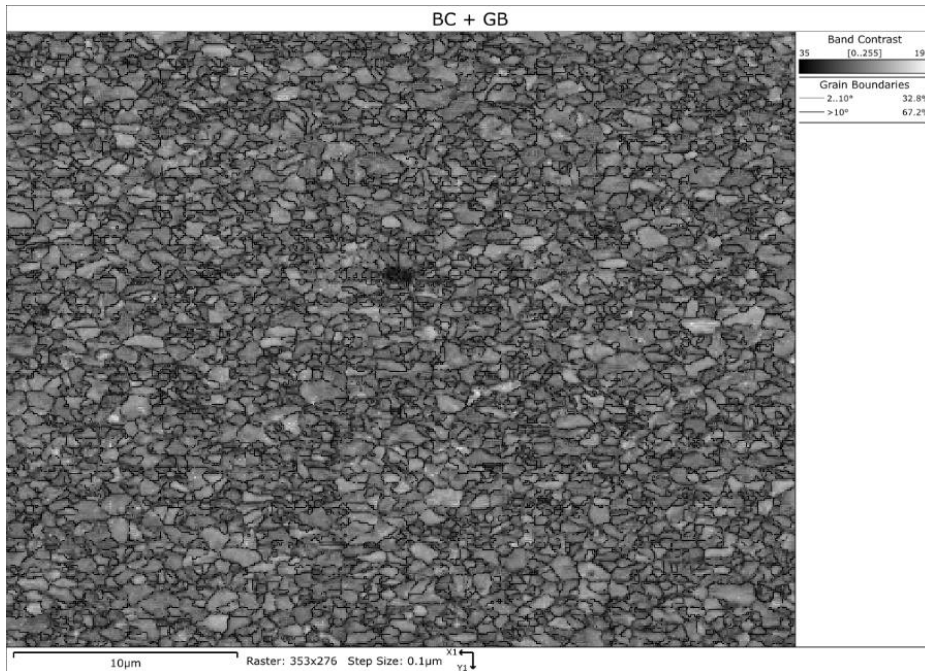


→ Significant degradation, visible by naked eye and post-mortem SEM (yet not the same pattern as in Mo's work).

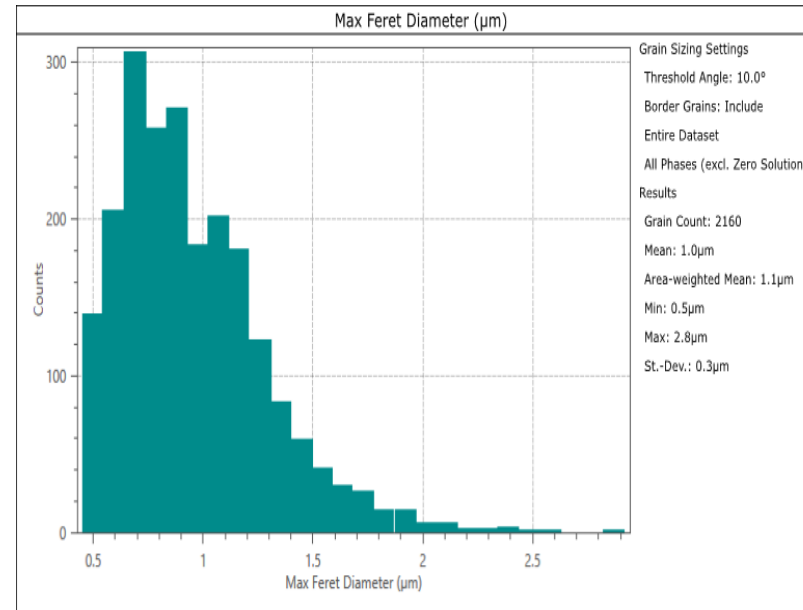
→ Impedance decreases with time.

- Fabrication of the first MeOx films by ALD

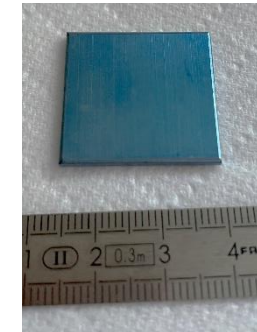
Microstructure after annealing



Grains size distribution



i. ALD Deposition



- First metal oxide thin films synthesized by ALD
- Grain size of 1 μm after annealing.
- Corrosion testing and optimization of the films in progress

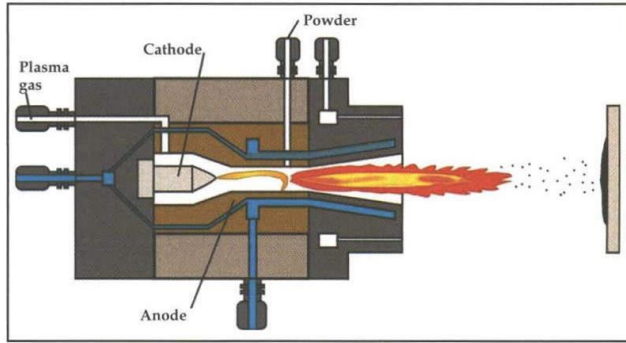
corrosion testing
in progress

STAINLESS STEEL BPP PROTECTED BY THICK Ti-Nb BILAYER (VPS)

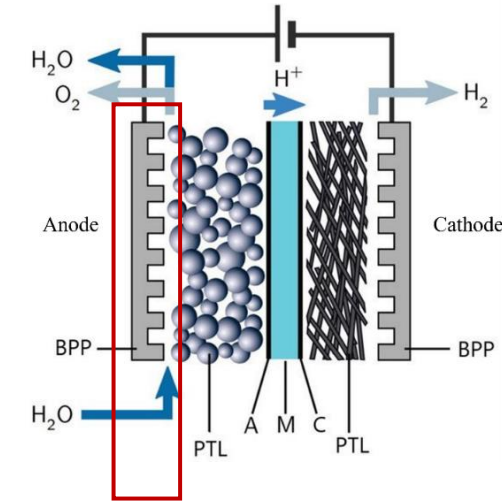
Gago *et al.*, J. Power Sourc. 307 (2016) 815

Lettenmeier *et al.*, J. Electrochem. Soc. 163 (2016) F3119

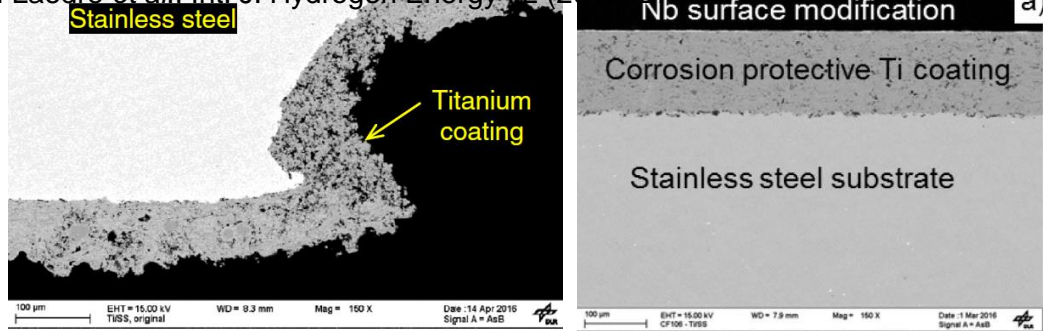
Lettenmeier *et al.*, Sci. Reports 7 (2017) 44035



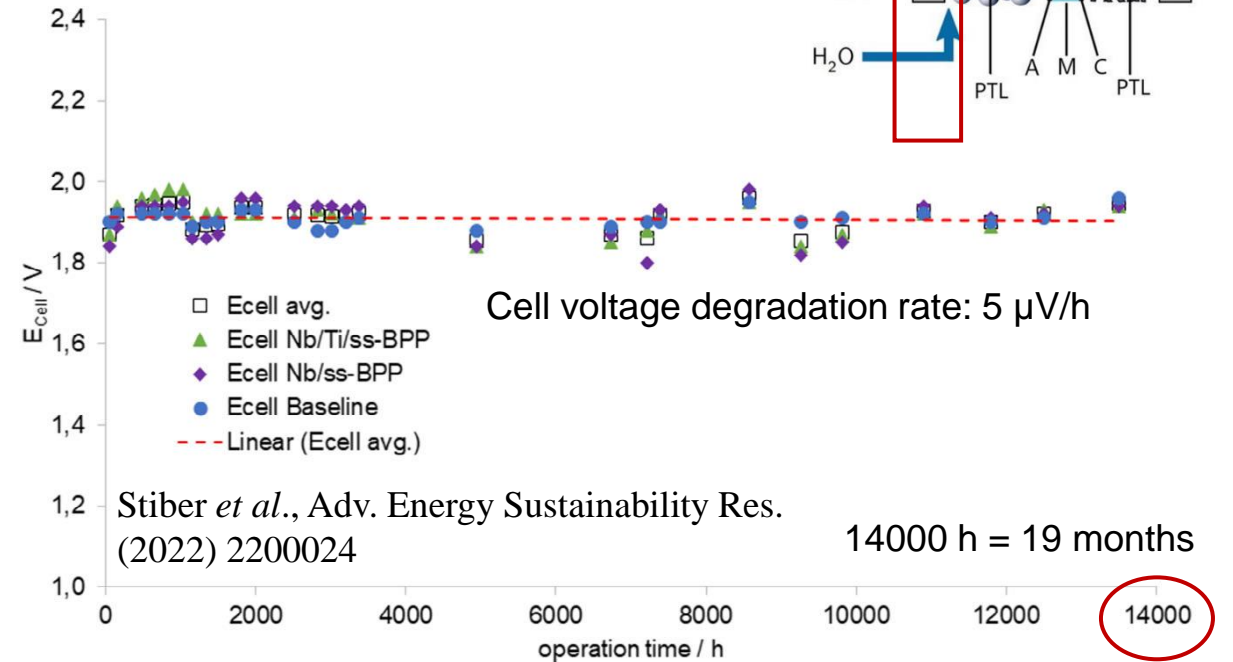
PEMWE operation at 65°C, 1.63 A/cm²
BPP: 316L coated with VPS-Ti and PVD-Nb bilayer
PTL: coated titanium (supposed, from NEL)



S. Laedre *et al.*, Int. J. Hydrogen Energy 42 (2017) 10000



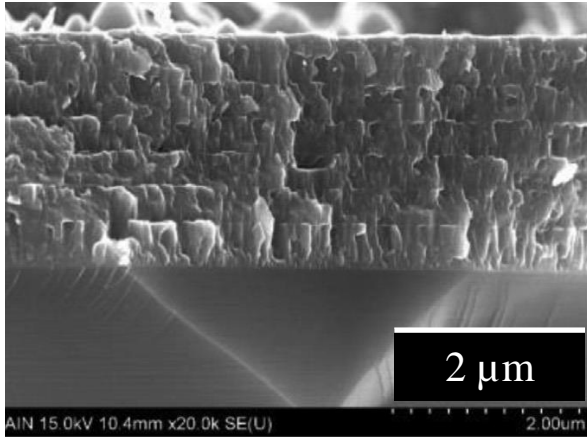
- VPS coatings: thick and porous. Sealed with resin.
- Nb top-coating avoids titanium oxidation, results on oxidation and ICR ()



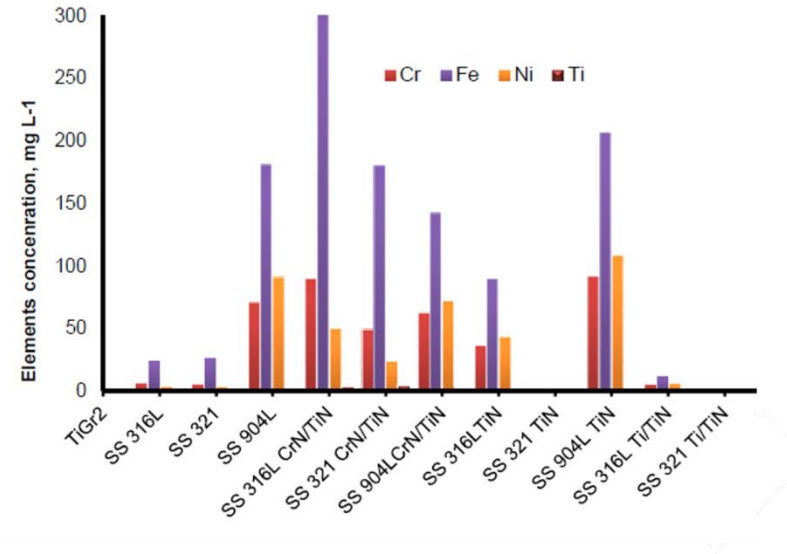
- Thick porous coatings sealed with resin + Nb: 3-steps process.
- Longest PEMWE testing with protected 316L BPP.
- Can thin films (e.g. PVD, ALD) ensure good protection against corrosion as well?

STAINLESS STEEL BPP PROTECTED BY Ti & Ti/TiN MULTILAYERS (PVD)

Rojas *et al.*, Int. J. Hydrogen Energy 46 (2021) 25929.

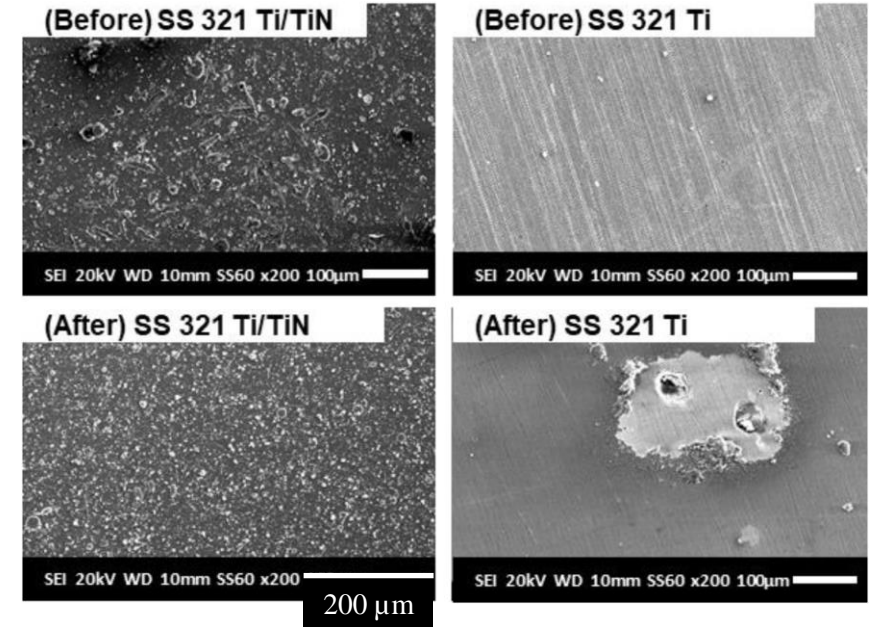


Ti/TiN coatings : alternance of Ti and TiN layers to break the vertical continuity of gaps (pores) between the columns



Ex situ anodic polarization (+2V/SHE) in diluted H₂SO₄ (pH 5.5) at 70°C for 2 h.

Efficiency of the coating (cationic pollution) was assessed by optical emission spectroscopy



Post-mortem SEM:

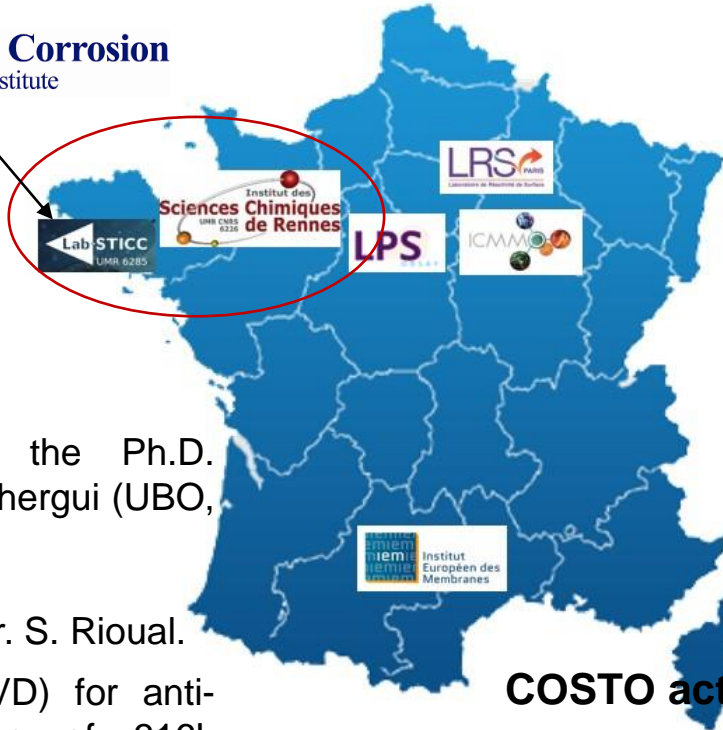
- Magnification too low (x 200) to resolve potential porosity in the coating.

- + Both capex reduction approaches are used: stainless steel + cost-effective coatings.
- + Post-mortem assessment of electrolyte pollution by metals (steel, coatings) using OES.
- - Questionable choice of potential for ex situ BPP corrosion testing (+2V).
- - Limited nanostructural characterization.

COSTO project (2022 - 2026)

Institut de la Corrosion
French Corrosion Institute

In-kind contribution



UBO
université de bretagne occidentale

IEM
Institut Européen des Membranes

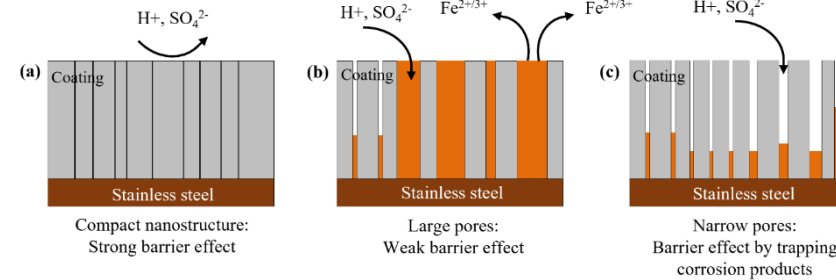
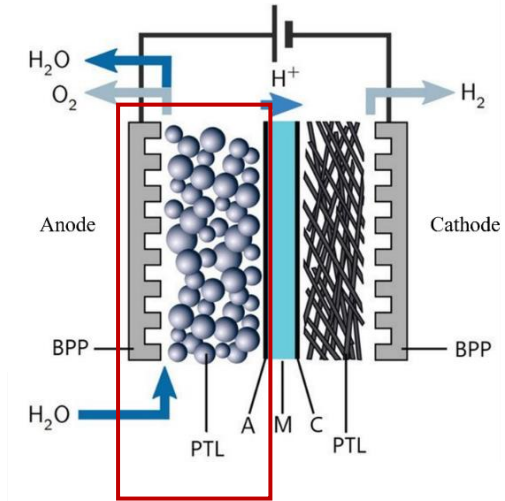
CNRS

Université de Rennes

SORBONNE UNIVERSITÉ

université PARIS-SACLAY
Coordinator

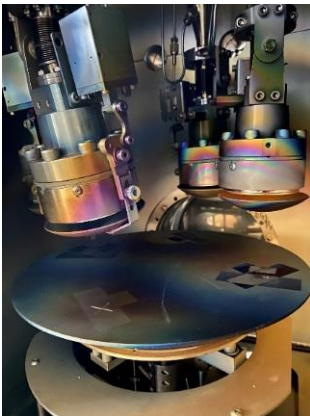
Institut de la Corrosion
French Corrosion Institute



Co-supervision of the Ph.D. thesis of Khaoula Chergui (UBO, Lab-STICC).

Ph.D. supervisor: Dr. S. Rioual.

Thin TiN films (PVD) for anti-corrosion protection of 316L BPP.



COSTO activities:

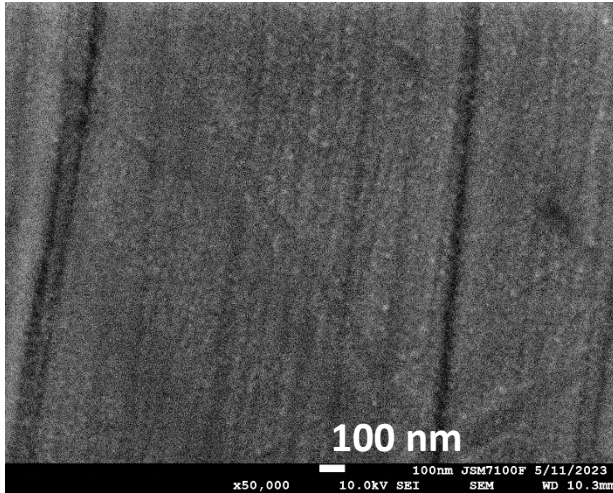
- [UBO] Synthesis of coatings (20-500 nm) by PVD and corrosion testing (in collab. with IC). Ph.D. thesis of K. Chergui.
- [IEM] : Synthesis of coatings (< 50 nm) by ALD. Ph.D. thesis of H. Maslouh.
- [ISCR, LPS-Paris Saclay] High-resolution electron microscopy imaging before and after corrosion testing.
- [LRS - Paris Sorbonne] Modelling of the protective properties of the coatings and of the PEM electrolyzer.
- [ICMMO-Paris Saclay] PEM electrolysis.

anr

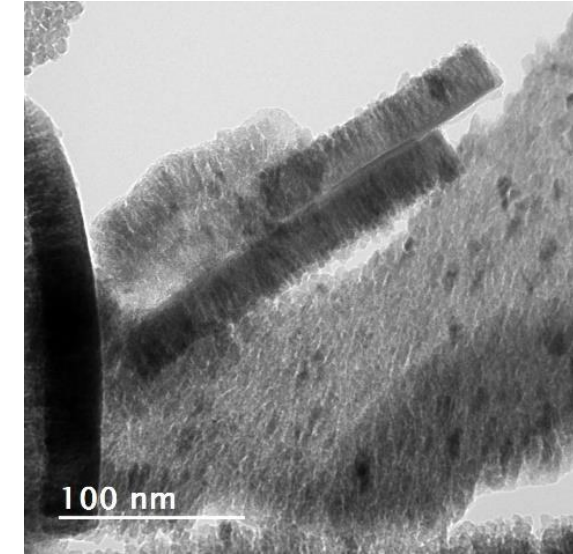
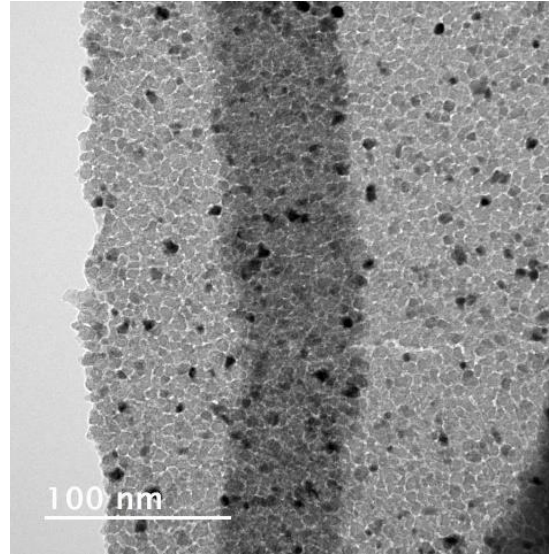


FRANCE 2030
PROGRAMME DE RECHERCHE
HYDROGÈNE

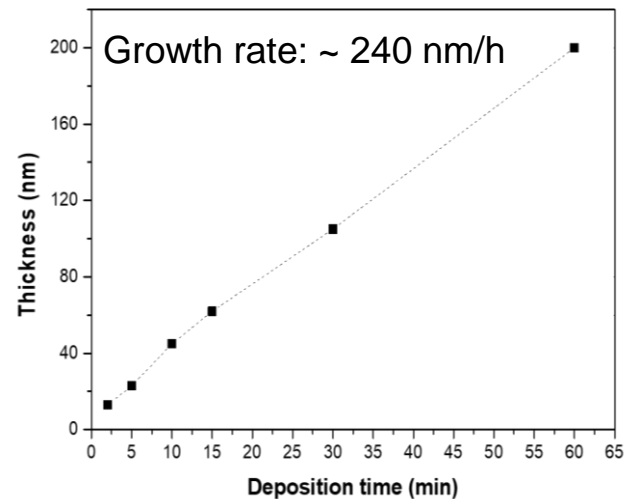
• Analysis of the nanostructure



Top-view SEM image



TEM images

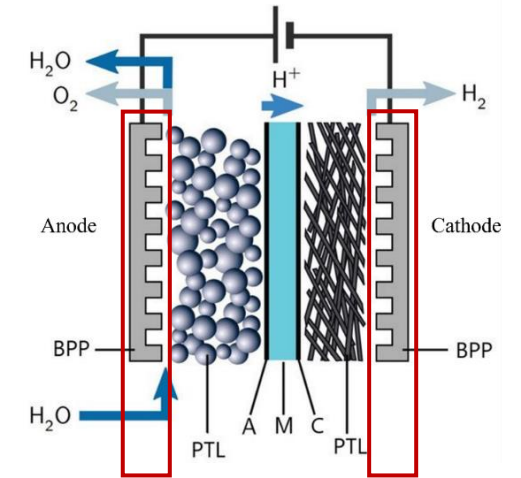
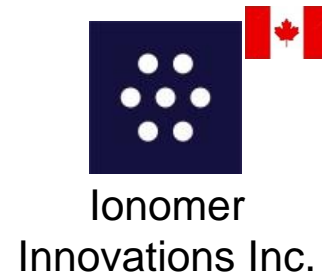


- * Columnar nanostructure.
- * Column diameter around 10-15 nm.
- * Linear growth rate
- * The TiN_x layers looks compact.
- * HAADF-STEM is planned for confirmation.

Project UNICORN (2023-2026), intermediate TRL (3-6)



Coordinator



Activities:

- Coatings for stainless steel BPP: IEM (research), Alleima (industry)
- Corrosion testing: IC, RISE Corrosion (research)
- Environmental-friendly polymer electrolyte (without PFSA): Ionomer Inn. (industry)
- Technico-economical analysis, life cycle analysis: RISE (research)
- End-users (PEM electrolysis): SINTEF (research), Hystar (industry)

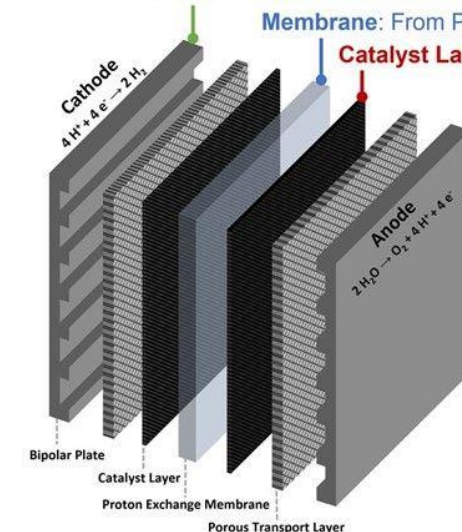
No R&D activity on PTL, hence complementary to PROTIS

Main Project Innovations:

Bipolar plates: From platinum coated titanium to coated stainless steel

Membrane: From PFSA to non-fluorinated

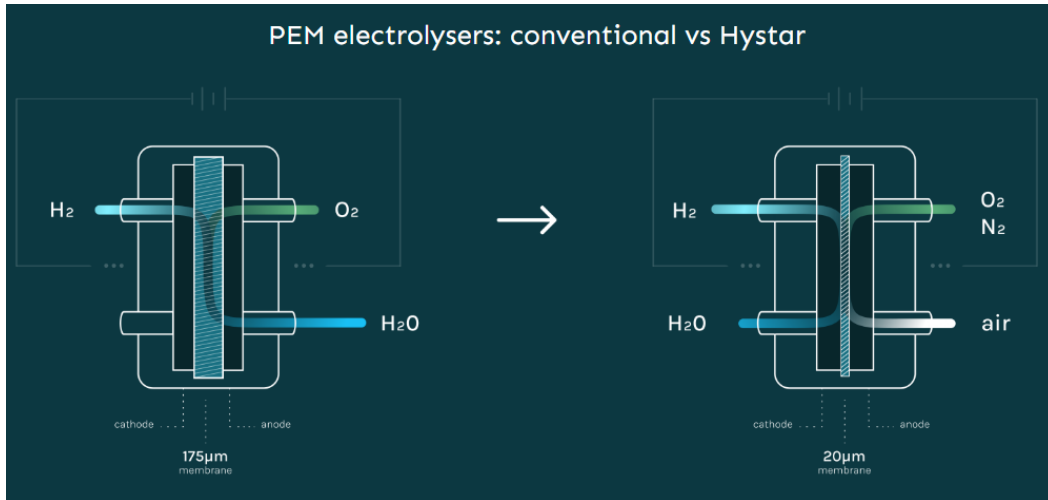
Catalyst Layer: Reduced PGM loading



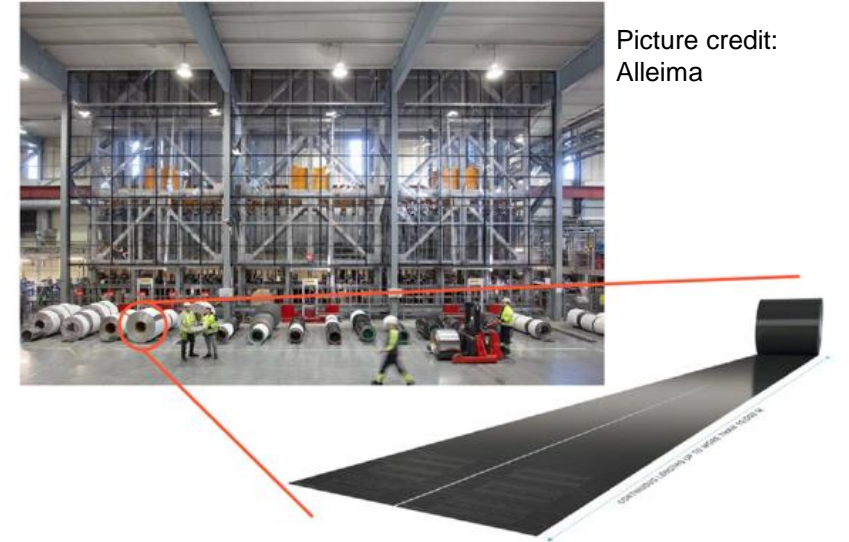
Picture credit:
SINTEF

Project UNICORN (2023-2026), industry partners

Picture credit: Hystar

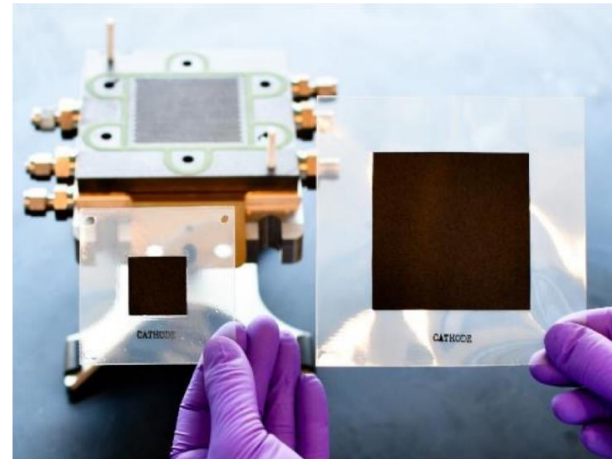


Alleima's continuous PVD coating line for BPP: mass production



Picture credit: Alleima

Thinner membranes, lower ohmic losses, higher current densities.



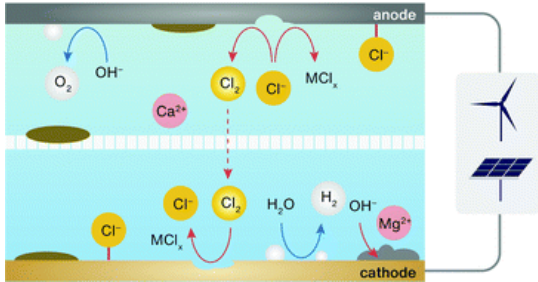
Picture credit: Inomer Innovations Inc.

Membrane free of PFAS (“eternal pollutants”):
anticipating a possible ban from EU



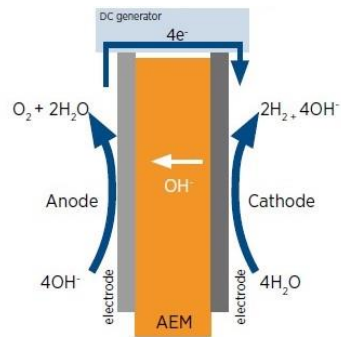
Développement d'un MRC sur la corrosion des BPP et PTL en 2024, avec un début des activités R&D en 2025.

Chaîne de valeur: BPP, PTL, coatings, électrolyseurs, piles à combustibles, métallurgie (inox, titane...)



Extension des activités R&D à **l'électrolyse d'eau de mer**, encore peu avancée en Europe. Nombreux défis technologiques à relever.

- Motivation: ressources en eau douce limitées...
- IC: Grande expérience en corrosion marine.
- Contributions possibles: protection contre la corrosion des BPP et PTL mais aussi sélection des matériaux autour du stack sur la base de leur résistance à la corrosion marine.



Extension des activités R&D à **l'électrolyse AEM (Anion Exchange Membrane)**.

- Technologie "qui monte". Membrane alcaline (PEM: membrane acide).
- Pour les études corrosion ex situ, adaptation facile des setups de l'IC aux conditions alcalines.



Accroître la visibilité de l'IC dans la Région Bretagne.

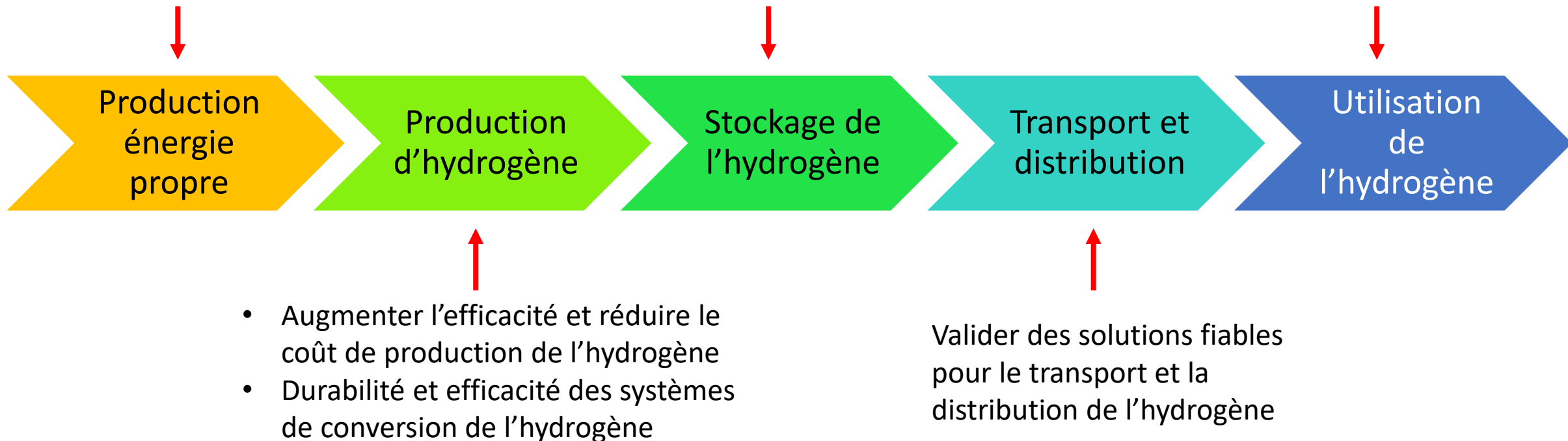
- Participation au groupe de travail "Recherche Hydrogène". Présentation à la réunion du 16/11.
- Inscription des projets électrolyse (PROTIS, UNICORN) dans l'annuaire du BDI.
- Montage de projets innovants avec financements de la région Bretagne.

Other hydrogen-related R&D activities

- Réduire les coûts de production de l'électricité verte
- Durabilité des structures via la maintenance prédictive
- Technologies de capture du carbone

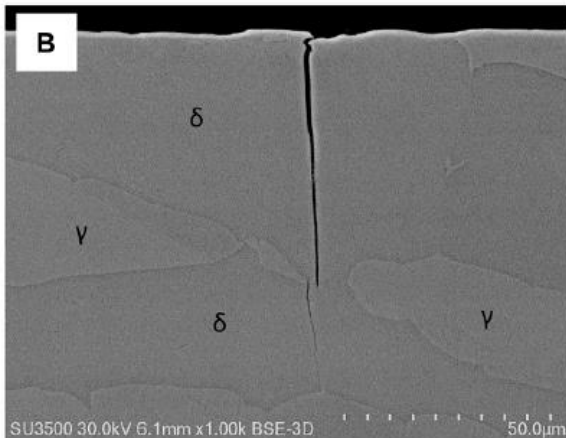
Développer des systèmes de stockage fiables et durables

Répondre aux besoins spécifiques de l'industrie (production d'acier, combustion,...)



Mécanismes de fragilisation par l'hydrogène par voie aqueuse

- Etude des risques de fragilisation des **structures et des composants métalliques immergés**
- Tenue mécanique, comportement en fatigue et résistance à la fissuration sous chargement cathodique/corrosion
- Caractérisation du mécanisme de rupture et de la quantité/activité d'hydrogène critique

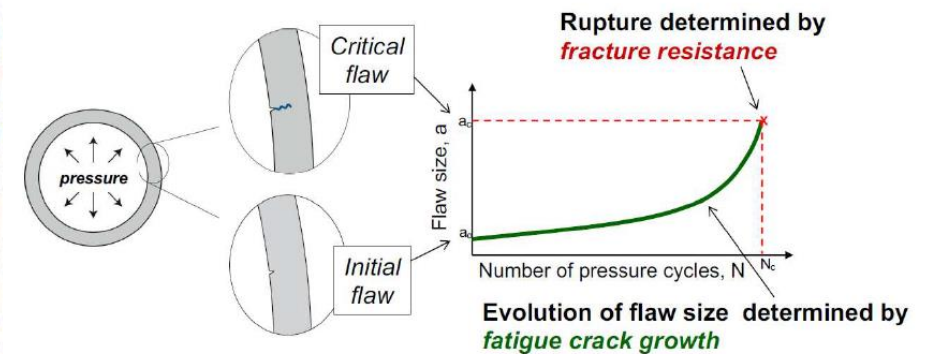


Site de Brest: R&D en phase aqueuse:

Flavien Vucko (flavien.vucko@institut-corrosion.fr)

Fragilisation par l'hydrogène gazeux

- Compatibilité des alliages métalliques à l'hydrogène sous pression pour des applications **stockage et transport de l'H₂**
- Comportement mécanique en traction, traction lente, charge incrémentale et fatigue – résistance à la fissuration
- Perméabilité à l'H₂ des métaux et des polymères
- Quantification de l'hydrogène introduit dans les alliages (thermo-desorption)



Site de Saint-Etienne: R&D en phase gazeuse, HP/HT

Christophe Mendibide (christophe.mendibide@institut-corrosion.fr)

Laura Moli Sanchez (laura.moli.sanchez@institut-corrosion.fr)

MECHANICAL AND CORROSION

• Mechanical testing facilities

- **Proof-Ring loading (~60 setups)**

Constant load or incremental step load tests in various media, controlling temperature, gas flow, cathodic protection, etc. + *crack monitoring system (AE)*

- **Creep setup (4x30kN and 4x50kN):**

Constant load at controlled temperature

- **Tensile test (15 machines):**

Hydraulic machines from 25 to 250 kN

- **Slow strain rate testing (6 machines):**

3 at 35kN, 2 at 50kN and 1 at 100kN with autoclaves

- **Tensile test for polymers (1kN)**

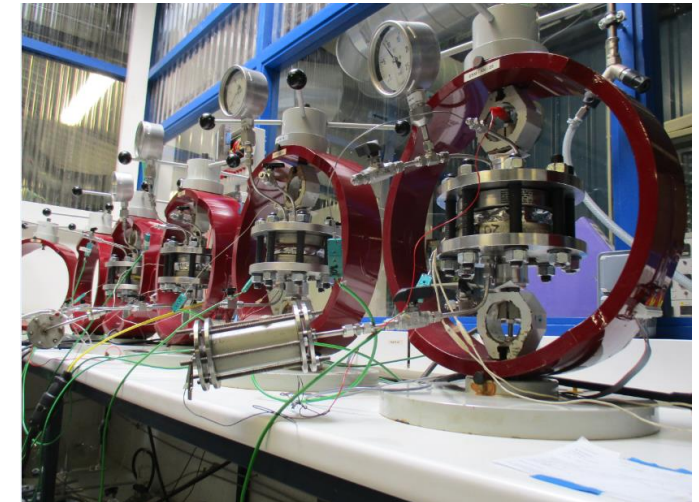
Coupled with an autoclave up to 200 bar

- **Other loading methods:**

4-points bending, U-bend, C-ring, Cup specimens, spring loaded specimens, ...

- **Dead Weight setups (x7)**

- **Fracture mechanics specimens DCB, CT, WOL**



MECHANICAL AND CORROSION

• Fatigue & Fatigue Corrosion

• Hydraulic fatigue machine (x3):

Hydraulic machines for tensile-compression (+/- 25kN);
 Titanium chambers for chloride-containing media/natural
 seawater, 5°C to 80°C, CP available

• Ripple load testing or incremental step load testing (x12):

Up to 250kN, autoclaves available up to 150 bar + *crack monitoring system (DCPD)*

• Pneumatic fatigue setups (x21):

Unique devices enabling fatigue cycles in an accelerated
 corrosion test. Performances: 0-15 kN ; 0-5 Hz, with or without
 cycle

• Fatigue 4PB (x3):

For tests in autoclave up to 100 bar

• Rotating bending fatigue setup (x2)

• Cantilever corrosion-fatigue (x16)

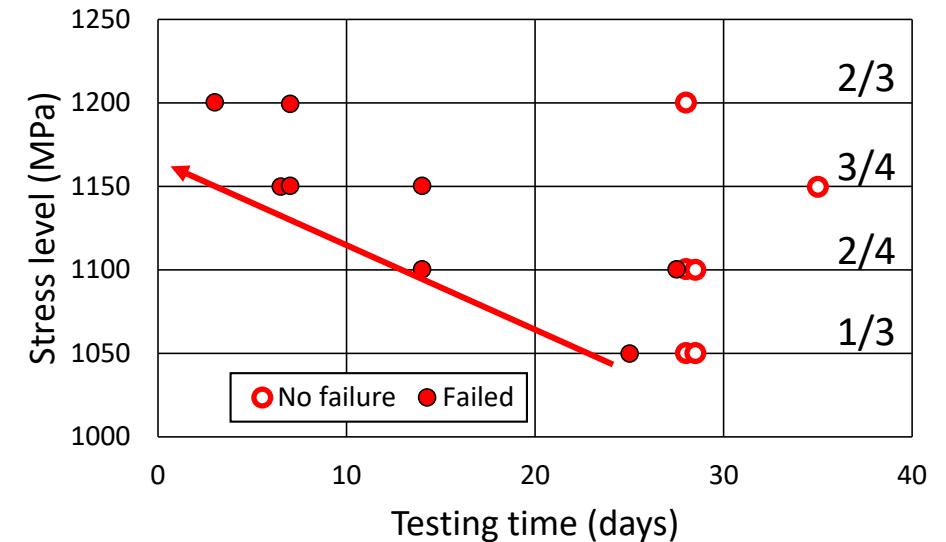
• Fatigue equipment under gaseous hydrogen (700 bars)



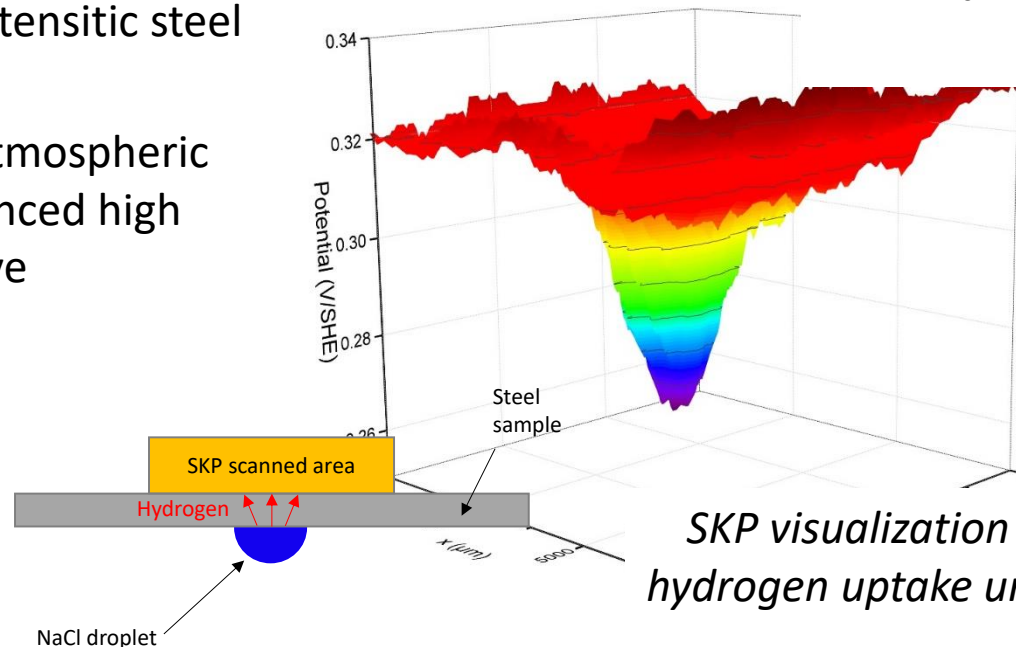
Examples of projects

- **Hydrogen embrittlement of High Strength Steels under atmospheric corrosion conditions (automotive applications)**

- AtHyCor (RFCS) Modelling of hydrogen activity from atmospheric corrosion in ultra-high strength steels for light structure application (2021-2024)
- Atmospheric testing of corrosion behaviour of high strength steels under constant mechanical loads (2021-2023)
- Local techniques to determine hydrogen distribution in martensitic steel (2016-2018)
- Hydrogen sensitivity in atmospheric corrosion conditions of advanced high strength steels for automotive application (2012-2021)



4PB constant load results under Volvo ACT1 condition for PHS GI plates with shear cut edges

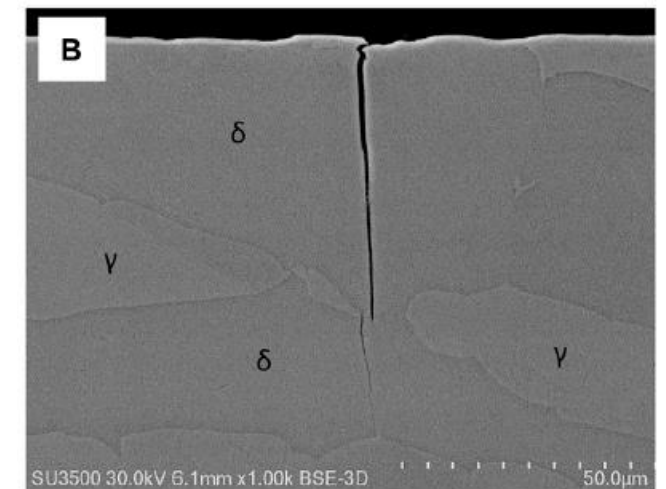
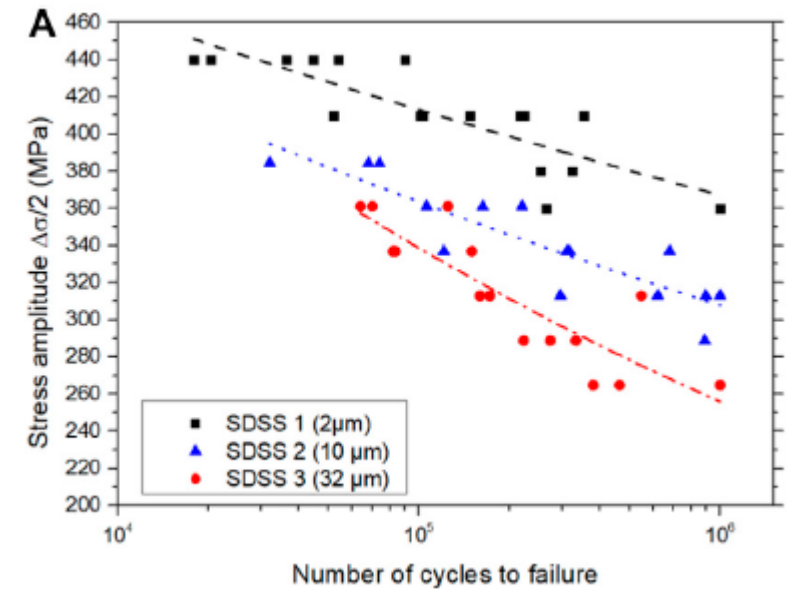
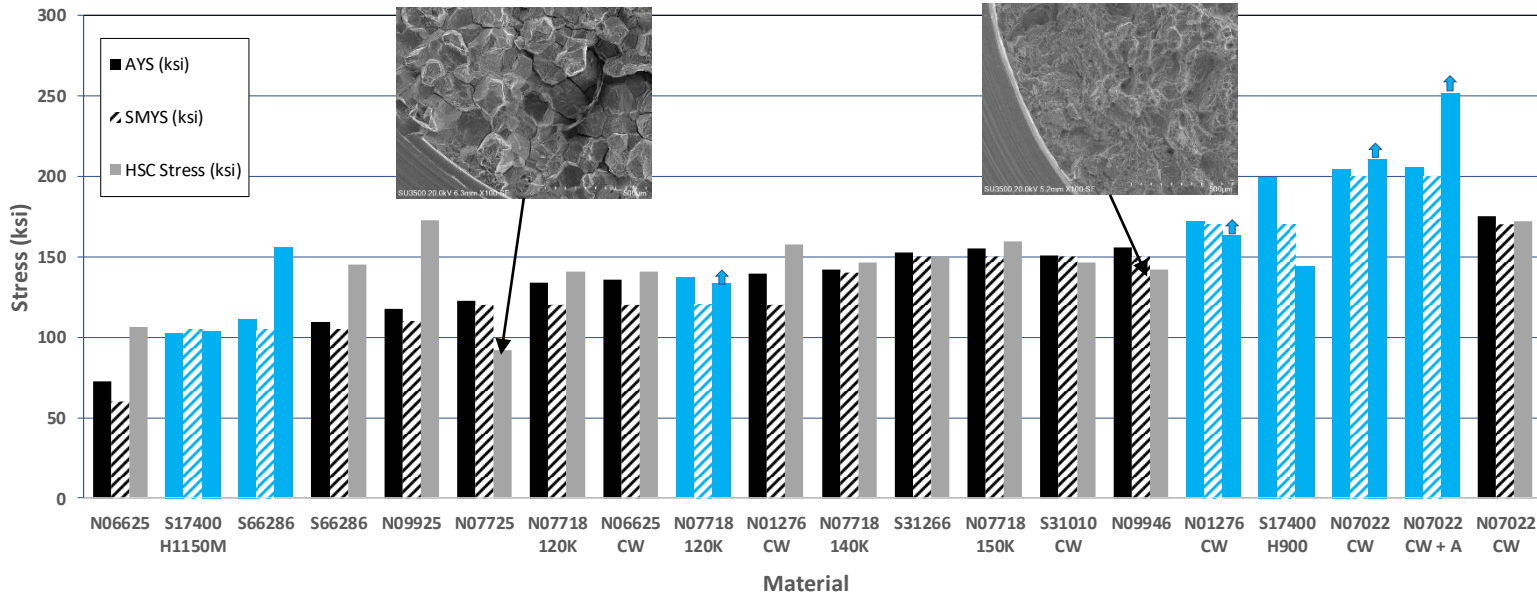


SKP visualization and quantification of hydrogen uptake under corrosion products

CATHODIC PROTECTION

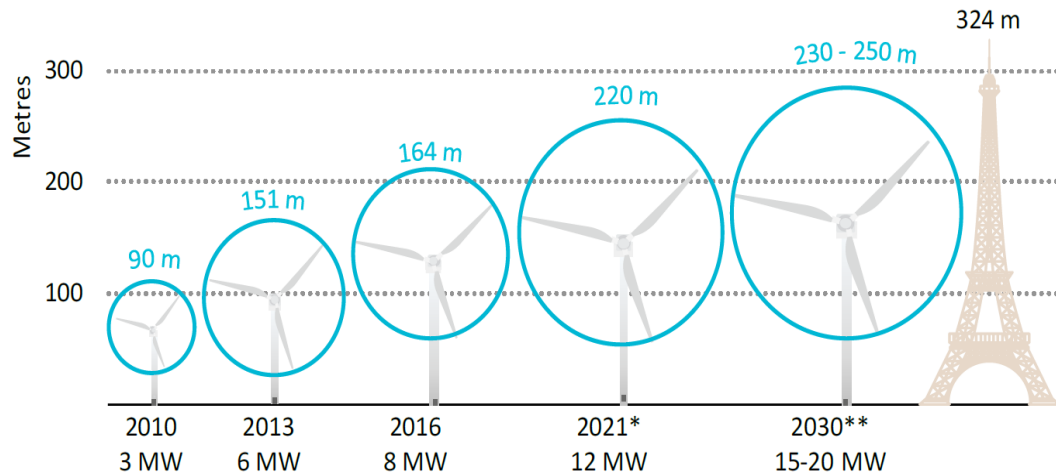
• Impact of hydrogen charging on the mechanical properties and fatigue performance of corrosion resistant alloys (offshore and marine applications)

- Investigation of the influence of hydrogen activity on hydrogen embrittlement risks under natural seawater conditions (2020-2023)
- Evaluation of the stress threshold for hydrogen induced stress cracking of high-strength corrosion resistant alloys fasteners under cathodic protection (2019-2022)
- Fatigue-corrosion properties of superduplex stainless steel tubes and bars (2012-2019)



Hydrogen embrittlement of high strength steels in marine environments (bolting applications)

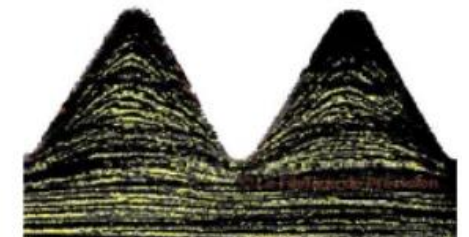
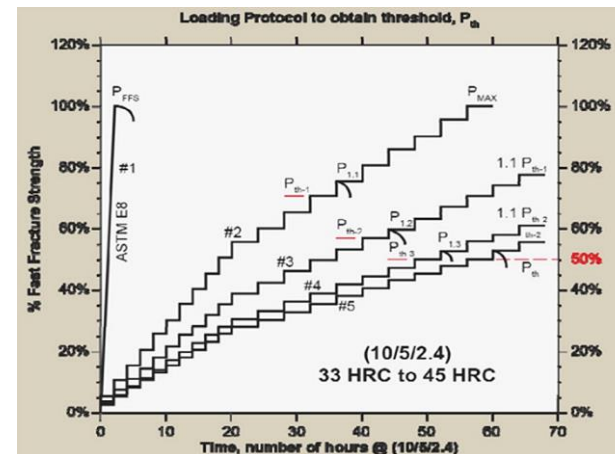
Hydrogen embrittlement resistant new steel links solutions for off-shore wind turbines (RFCS HELIX 2022-2026)



HELIX will develop lower cost, high corrosion resistant (25 years of service life) **high strength steel (10.9 and 12.9 grades) high diameter (minimum M64) fasteners** to support the ever increasing size of wind turbines. For this aim, optimized HSS and new zinc flake based coatings will be developed and tested in real service conditions.

Evaluation of the sensitivity to hydrogen embrittlement of rolled and cut threads fasteners for subsea application under cathodic protection (2022-2024)

- Assess the **HSC risks of several high strength steel bolts**
- Compare the sensitivity of rolled and cut threads bolting manufactured from the same steels.
- Link the local micro-mechanical parameters (hardness, residual stresses) close to thread root and the local microstructure to HSC sensitivity.

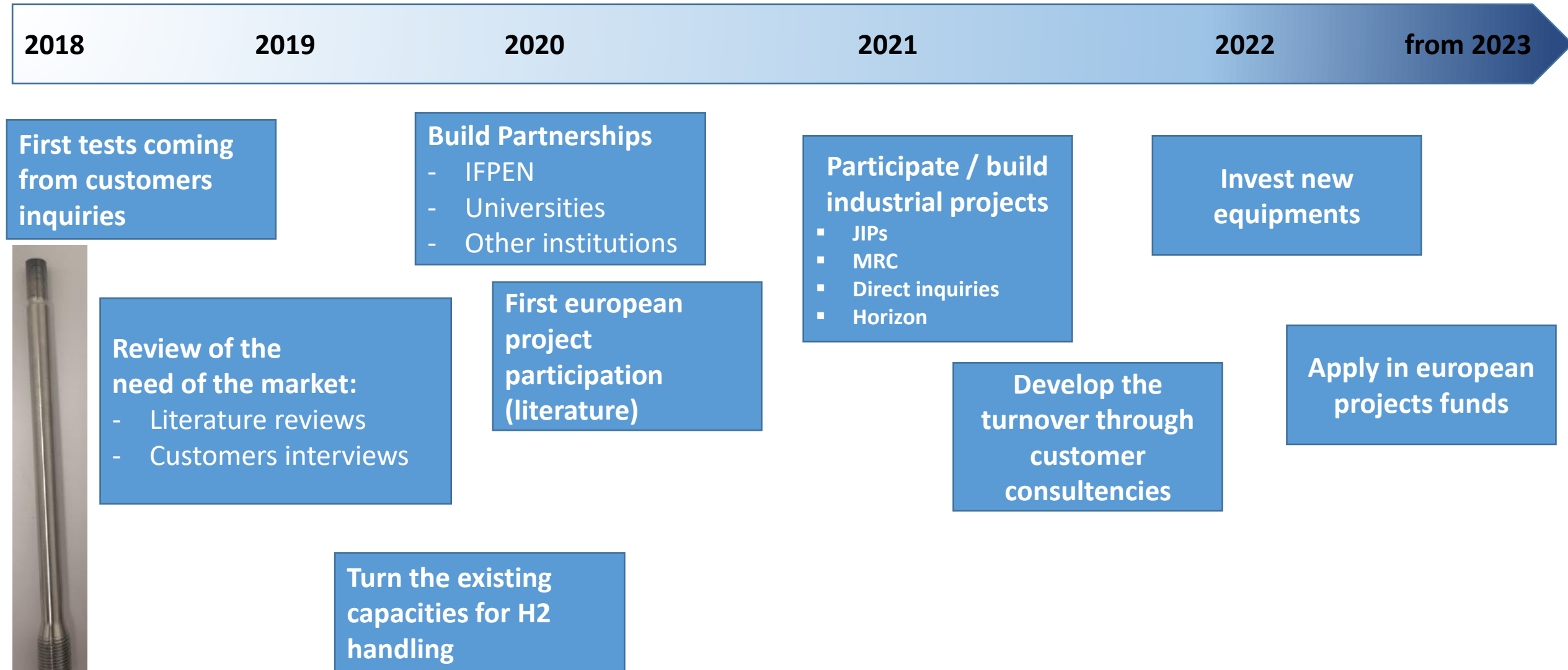


Rollled thread



Cut thread

ON THE H2 ENERGY.... The development in progress



- **Gaseous hydrogen embrittlement of steels of pipeline steels for hydrogen transport**

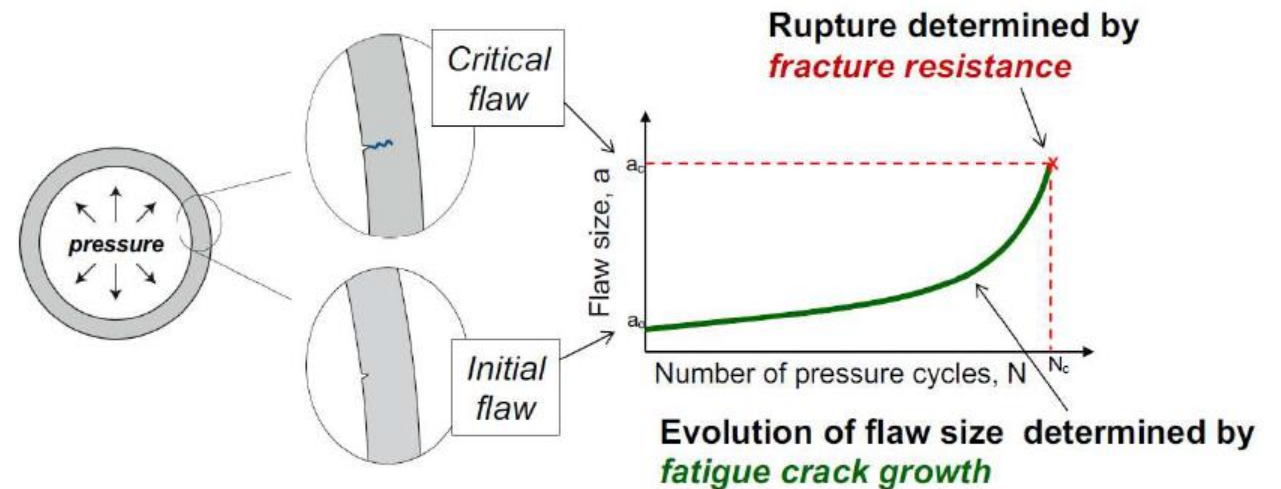
- **Project in the MRC hydrogen working group: toughness evaluation under H₂ pressure.** The aim of the project is to develop a test method to be able to rank pipeline steels in terms of toughness under H₂ pressure with contaminants
- Development of high-pressure hydrogen permeation cells for steel membranes – investigate the impact from contaminants in the H₂ gas
- Fatigue testing under high hydrogen pressure conditions (to be operated from 2024)



Mechanical testing under H₂ pressure



Gaseous H₂ permeation setup

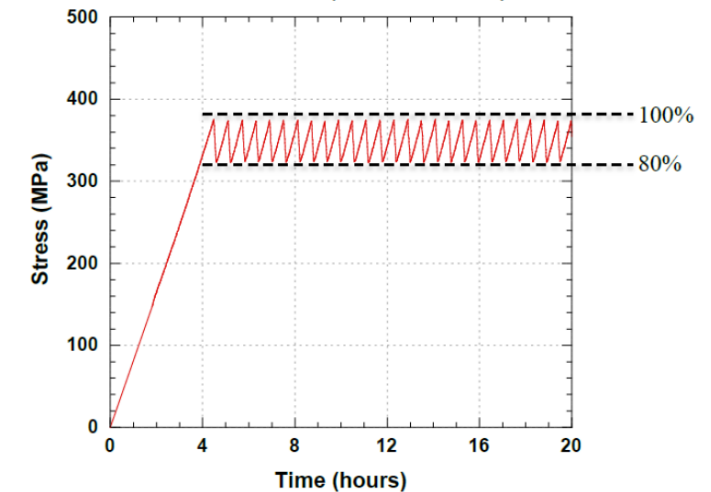
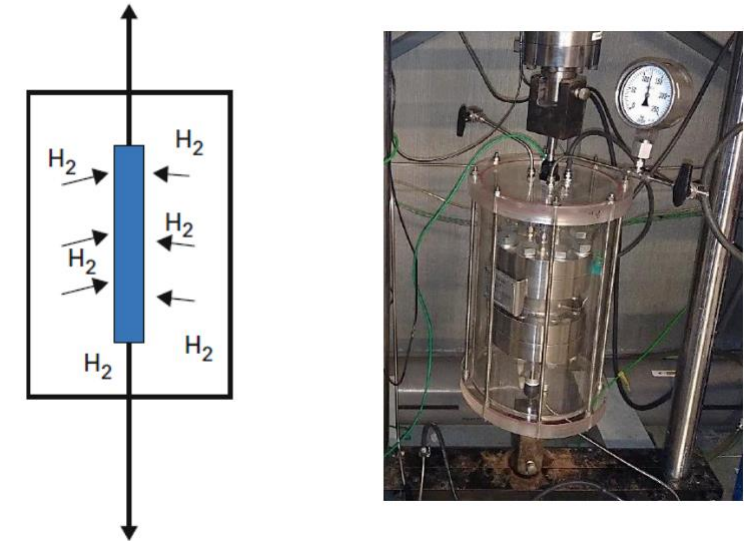


Schematic presentation of the need to assess the fatigue resistance and toughness of a pipeline operating under hydrogen pressure

HIGH H₂ PRESSURE

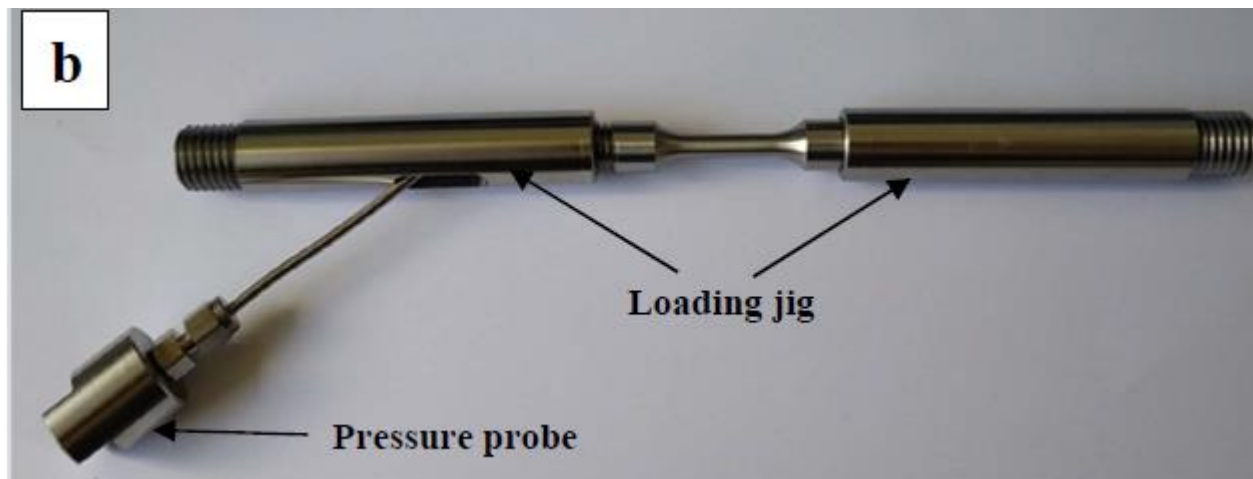
- **Hydrogen embrittlement related to hydrogen storage**

- **DGMK 866-1 : Hydrogen Applicability of Steels in Gas Storage Facilities.** German funded project to assess material qualification for underground H₂ storage. Collaboration with Leoben University and Fraunhofer University (Running).
- **Hydrogen Energy Reservoir (HENRI Project):** definition of a methodology to qualification of hydrogen reservoir from modelling, through material testing to the pilot scale. IC contribute to the material testing part (Running).
- **Impact of hydrogen gas contamination, mainly H₂S, on the resistance of different carbon and low alloy steels used in storage infrastructures** (JIP – to be started)
- **HyStorIES : Hydrogen Storage in European Subsurface** (Horizon 20 project). The objective for IC was to assess the material resistance to the environment conditions by Ripple Load testing (Finished in 2023).

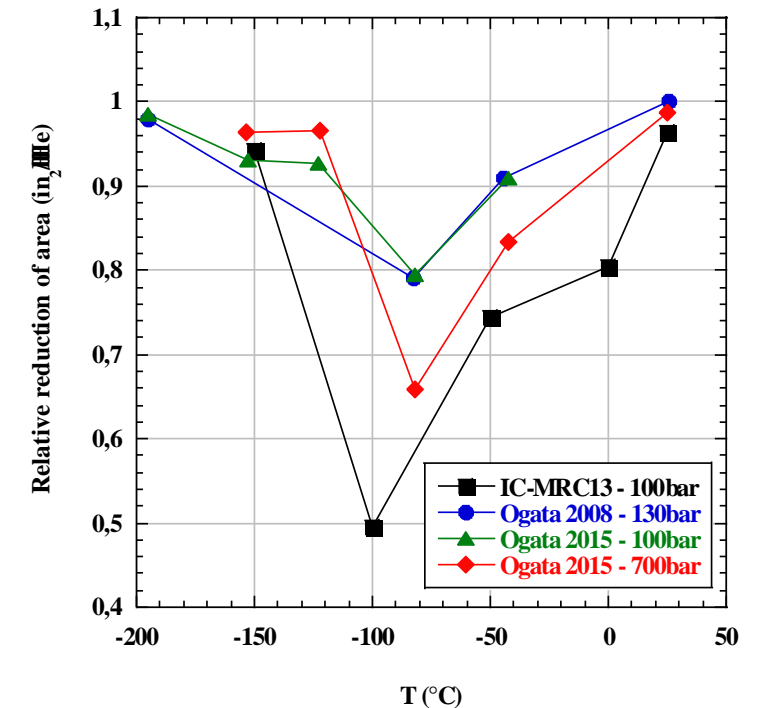


LOW TEMPERATURE (CRYOGENIC)

- **Impact of hydrogen on mechanical properties of stainless steels at low temperature**
 - **Project in the MRC hydrogen working group: Characterization of the cracking susceptibility of stainless steels and CRAs at low temperature under hydrogen pressure.** Stainless steels are tested using hollow specimens (internal hydrogen pressure) at cryogenic temperatures to evaluate hydrogen embrittlement.
 - Participation in the working group for the standardization of hollow specimens for H₂ high pressure and low temperature testing
 - Methodology used for material compatibility assessment: cryo-compressed storage, heat transfer systems...



Photograph of hollow specimen for high H₂ pressure testing

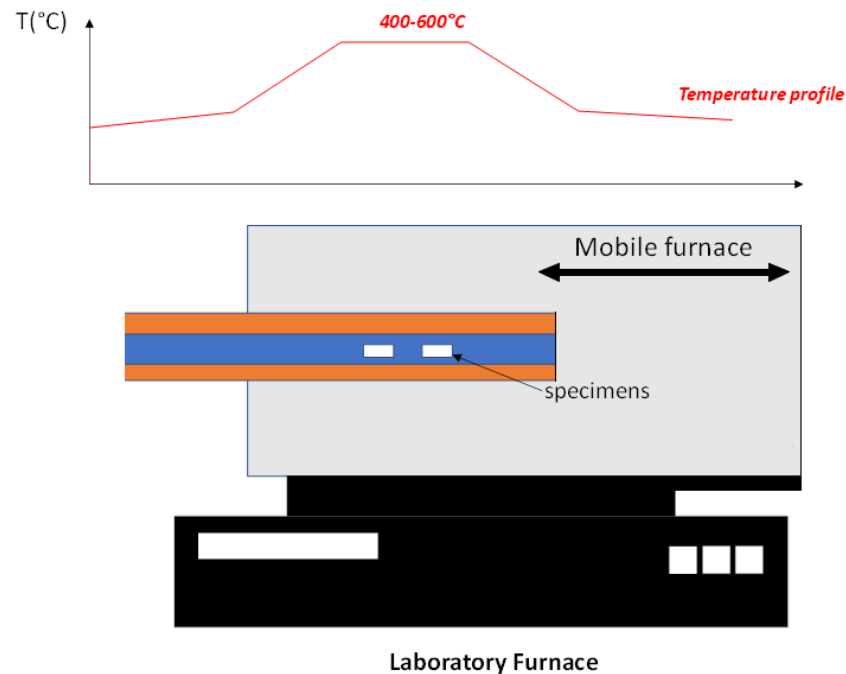


Able to reproduce results from the literature

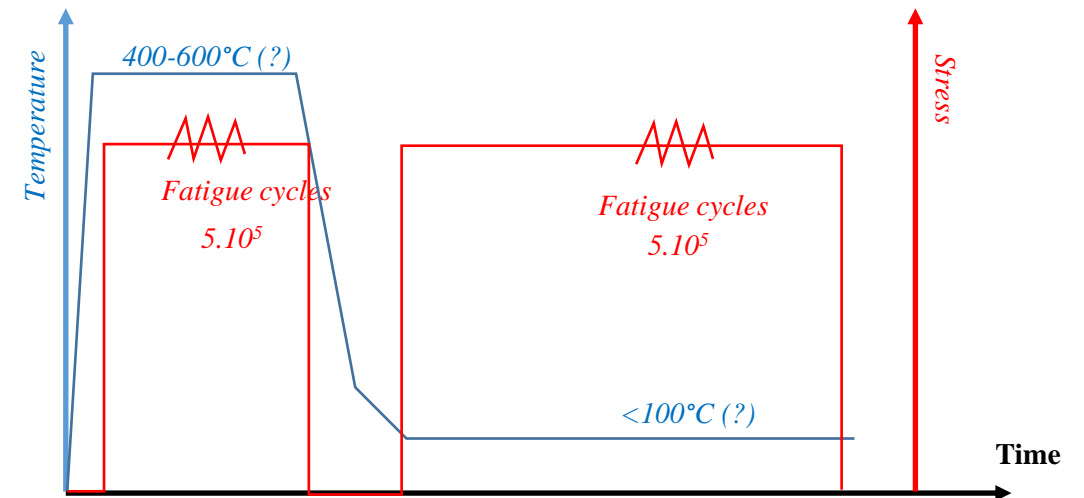
HIGH TEMPERATURE CONDITIONS

- Impact of hydrogen/ammonia combustion on HT corrosion

- Investigate the impact from high H₂O concentration on the HT corrosion behavior of stainless steels and nickel-based alloys under cyclic conditions (hydrogen engine)
- *Under discussion*: Hydrogen attack and hydrogen embrittlement risks related to hydrogen combustion in ICE



Cyclic HT testing in air with 30-35% H₂O



Schematic presentation of the test simulating the service condition in a H₂ICE

Remerciements: partenaires



Remerciements: agences de financement

PROTIS:   **Swiss National
Science Foundation**

UNICORN:   **The Research Council
of Norway**  **Swedish
Energy Agency**

Contacts (IC, site de Brest):

michel.prestat@institut-corrosion.fr

flavien.vucko@institut-corrosion.fr

Merci pour votre attention !



Point sur les études en cours et les projets (AMI, AAP) pour soutenir des projets innovants en faveur de la pêche, l'aquaculture

par Laëtitia Gaulier, Région Bretagne

BRETAGNE^{BE}
HYDROGÈNE
RENOUVELABLE

BRETAGNE^{BE}
HYDROGÈNE
RENOUVELABLE



BRETAGNE^{BE}
DÉVELOPPEMENT
INNOVATION



Projets pour les filières pêche et aquaculture

H2 Breakfast - 3/11/2023

Les projets « Transitions énergétiques » - Région Bretagne

- Deux projets ont été soutenus par la Région Bretagne en 2022/2023 dans le cadre de l'AAP « Transitions énergétiques des filières pêche et aquaculture bretonnes ». Ces projets sont en cours de finalisation :
 - **Pilothly**, porté par Barillec Marine. « *Expérimentation de rétrofit d'un bateau de pêche avec une production électrique issue d'une pile à combustible H2* ».
Une présentation des premiers résultats du projet a eu lieu le 29 septembre au Guilvinec. Le projet se termine fin 2023.
 - **Estebam**, porté par la CCI 22. « *Etudes de faisabilité (techniques, réglementaires, normatives, économiques) pour la conversion à l'hydrogène d'une barge amphibie conchylicole existante* ».
Une restitution du projet aura lieu en fin d'année.
- Des travaux sont en cours pour ouvrir un **nouveau dispositif régional fin 2023 / début 2024 sur la décarbonation des navires de pêche** (faisant suite à l'AMI « Déploiement de l'hydrogène au sein de la flotte de pêche »).



Les projets « Recherche et innovation » du FEAMPA

- La Région Bretagne gère deux guichets innovation FEAMPA : le guichet national et le guichet régional Bretagne. Ces deux guichets fonctionnent par appel à projet.
- Au niveau du guichet national, une concertation est en cours pour l'ouverture fin 2023 / début 2024 de **deux appels à projets nationaux relatifs à la décarbonation des navires de pêche (1^{er} AAP) et des navires aquacoles (2^{ème} AAP)** (ces AAP font suite à l'AMI clôturé le 15 juin).
- Au niveau du guichet régional :
 - Un appel à projet « Soutien à l'innovation pour une aquaculture durable en Bretagne » est ouvert jusqu'au 17 novembre.
 - Deux appels à manifestation d'intérêt « **Soutien à l'innovation pour une pêche durable** » et « Soutien à l'innovation pour la filière aval des produits de la pêche et de l'aquaculture » sont ouverts **jusqu'au 30 novembre**.
 - Les cahiers des charges sont en ligne sur les sites internet europe.bzh et bretagne.bzh

AMI « Soutien à l'innovation pour une pêche durable en Bretagne »

Aucune sélection ne sera effectuée au titre de cet appel à manifestation d'intérêt. Celui-ci a pour objectif d'identifier les **projets en cours de réflexion** afin de **définir le contenu d'un futur appel à projet qui ouvrira début 2023.**

Les projets déposés à l'AMI doivent s'inscrire dans l'une des thématiques suivantes :

- **Innovations en faveur de la diminution de l'empreinte environnementale des activités de pêche** (ex : **système de propulsion**, économies d'énergie à bord, **production alternative d'énergie à bord**, gestion des déchets à bord, diminution de l'émission des polluants, etc.).
- Ecoconception des navires et des équipements
- Scénarios et expérimentations pour une gestion innovante des espèces impactées ou favorisées par le changement climatique.
- Analyses du cycle de vie et indicateurs de durabilité des produits pêchés afin de réduire le bilan carbone et l'empreinte environnementale.
- Innovations d'équipements, de modes de production (process) ou d'organisation nouveaux ou améliorés favorisant une meilleure valorisation des espèces pêchées.
- Sécurité et conditions de travail, innovations pour améliorer l'ergonomie et les conditions de travail des pêcheurs à bord et favoriser la mixité des équipages.

Modalités d'éligibilité à un appel à projet innovation FEAMPA

Les projets déposés aux appels à projets FEAMPA doivent avoir les caractéristiques suivantes :

1. **Ne pas avoir démarré au moment du dépôt de la demande d'aide** (= dépôt à un appel à projet)
2. Présenter un caractère innovant
3. Se situer en fin de cycle innovation, à partir du **niveau 4 de l'échelle TRL** avec une mise sur le marché ou utilisation dans les 3 ans après la fin du projet.
4. Avoir une durée de réalisation inférieure ou égale à 3 ans.
5. Être **collaboratifs** avec *a minima*, un organisme scientifique ou technique et un acteur professionnel ou une entité de représentation professionnelle.
6. Pour le guichet national innovation :
 - Le projet est porté par un **chef de file de niveau national** quel que soit le partenariat
 - **OU** le projet est **localisé** dans une région continentale **ou porté par un chef de file situé dans une région continentale.**
 - **OU** Le projet implique un **consortium** (le chef de file et ses partenaires) implanté **dans au moins deux régions.**
7. Pour le guichet régional innovation :
 1. Le projet doit être porté par un chef de file dont l'activité relative au projet se situe en Bretagne
 2. **ET** le projet doit être au bénéfice des filières pêche ou aquacoles bretonnes
 3. **ET** la majorité du consortium (le chef de file et ses partenaires) doit avoir son activité liée au projet en Bretagne.
8. Le **taux d'aide publique** dans le cadre du FEAMPA varie en fonction de la nature du projet, de la diffusion des résultats, de la nature juridique des partenaires, pouvant ainsi aller **de 40% à 80%.**

CONTACT

Laëtitia GAULIER

Chargée de l'innovation des filières pêche et aquaculture à la Région Bretagne

Coordinatrice du Guichet national innovation FEAMPA

laetitia.gaulier@bretagne.bzh

feampa-innovation@bretagne.bzh

02 99 87 43 46

COFINANCÉ PAR
UNION EUROPÉENNE



Ordre du jour

H2 Breakfast du vendredi 1^{er} décembre 8h30-9h30 – *programme en cours de construction*

1. **Informations générales filière hydrogène & agenda** *par Elodie Boileux, BDI*
2. **Présentation de la veille marché hydrogène,** *par Brice Turban, Chargé d'affaires industrie Bretagne Commerce International*
3. **Présentation du projet d'écosystème H2 de mobilité douce de l'ESTI GIP Redon** *par Farah RAMMAL, PhD Responsable Pôle Energétique*
4. **L'H2 natif : Où en est-on en Bretagne ? Quid de la durabilité (fossile ou renouvelable) ?**
Par M. Le Menn, Région Bretagne et M. Christophe Rigollet, CVA
5. **Informations générales filière hydrogène & agenda (suite)**
6. **Questions diverses**

A votre écoute pour
échanger

BRETAGNE^{BE}
HYDROGÈNE
RENOUVELABLE

BRETAGNE^{BE}
HYDROGÈNE
RENOUVELABLE

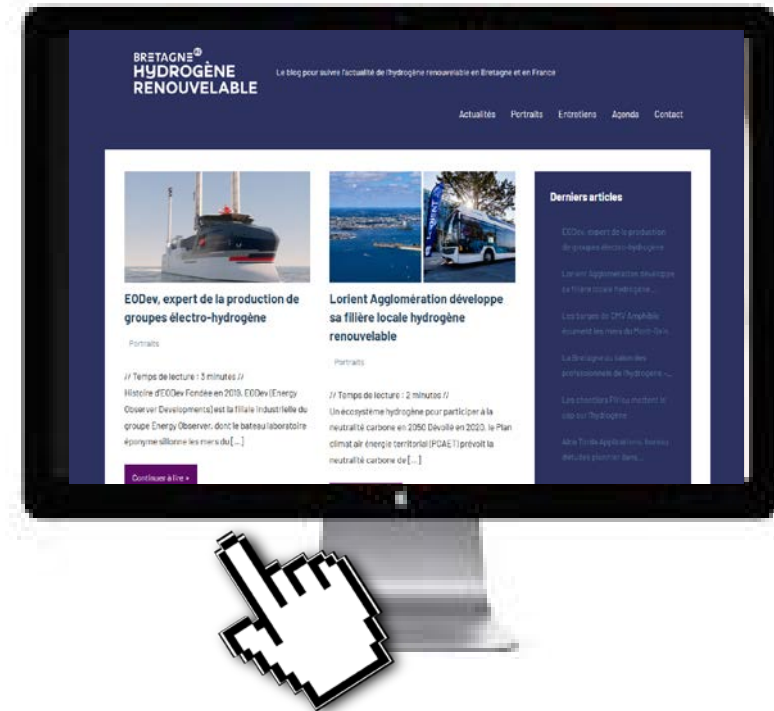


BRETAGNE^{BE}
DÉVELOPPEMENT
INNOVATION

Prochain rendez-vous

1^{er} décembre 2023 en ligne !

<https://hydrogene-renouvelable.bzh/>



BRETAGNE
DÉVELOPPEMENT
INNOVATION

France
Hydrogène
Engagée pour la transition écologique
Délégation
Bretagne

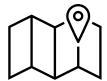
Merci de votre attention



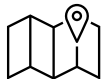
<https://hydrogene-renouvelable.bzh/>



bdi.fr/hydrogenerenouvelable



[Carte des compétences bretonnes](#)



[Carte des projets bretons](#)



[@BretagneH2R](#)



[Bretagne Hydrogène Renouvelable](#)



Elodie Boileux

Cheffe de mission Hydrogène renouvelable

e.boileux@bdi.fr

+33642391225