

Journée de la recherche hydrogène bretonne

Contribuer au développement de la
filière Hydrogène en Bretagne



Électrolyse de l'eau de mer pour les sites isolés : le projet C3POe

**Pr. Philippe MANDIN, UBS
GT ERH2-Bretagne, Lorient**

**Dr. Praveen THAPPILY
Dr. Priyadharshini MATHESWARAN**

C-3POe

Couplage Pérenne Plug & Play Eau Électricité pour les îles et sites côtiers isolés

Optimized NiFeP alloy for overall water-splitting	4	2025
S Carbone, RL Oliveri, B Patella, G Aiello, M Scopelliti, N Campagna, ... Renewable Energy 250, 123257		
Accounting for meteorological and load data uncertainty in the optimal design of off-grid hybrid renewable energy systems	1	2025
F Struyven, M Sellier, M Kim, R Inguanta, FA Lattief, P Mandin International Journal of Hydrogen Energy 158, 150309		
Effect of Operating Temperature on Ni-Fe Alloy Nanostructured Electrodes for Alkaline Electrolyzer	3	2025
A Affranchi, RL Oliveri, S Longo, G Miccichè, S Carbone, F Bellomo, ... ChemElectroChem 12 (14), e202500042		
Experimental Investigation of two low-cost 5 kW alkaline electrolyzer prototypes' performances depending on size and applied voltage	4	2025
L Rabillard, P Thappily, P Matheswaran, R Inguanta, M Kim, M Lipkin, ... International Journal of Hydrogen Energy 125, 100-107		



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Journal of Alloys and Compounds

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



Thermally stabilized NiFeS nanowire electrodes for long-term alkaline oxygen evolution

Salvatore Geraci ^a, Roberto Luigi Oliveri ^a, Bernardo Patella ^a, Nadia Moukri ^a, Filippo Pellitteri ^a,
 Rosario Miceli ^a, Priyadharshini Matheswaran ^b, Philippe Mandin ^b, Myeongsub Kim ^c,
 Rosalinda Inguanta ^{a,*} 

^a Department of Engineering, Università degli Studi di Palermo, Viale delle Scienze, Palermo 90128, Italy

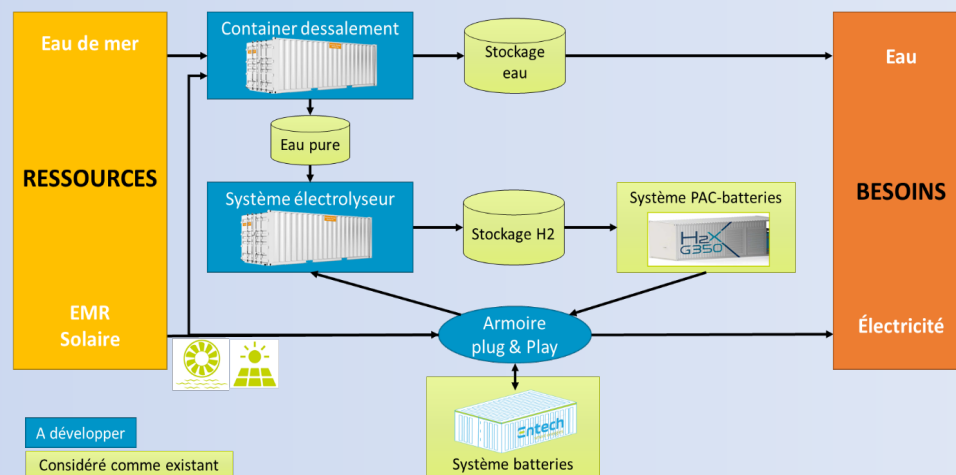
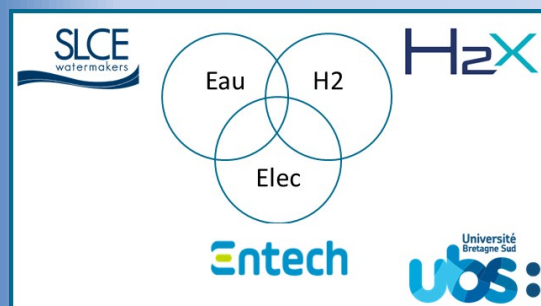
^b Institut de Recherche Dupuy de Lôme, UMR CNRS 6027, Lorient 56100, France

^c Department of Ocean and Mechanical Engineering, Department of Biomedical Engineering, Florida Atlantic University, Boca Raton, USA

C-3POe

Couplage Pérenne Plug & Play Eau Électricité pour les îles et sites côtiers isolés

Constituer un set de solutions permettant d'adresser de manière durable, holistique et « aisée » les problématiques Eau-Electricité à partir des ressources marines et autres renouvelables



C-3POe

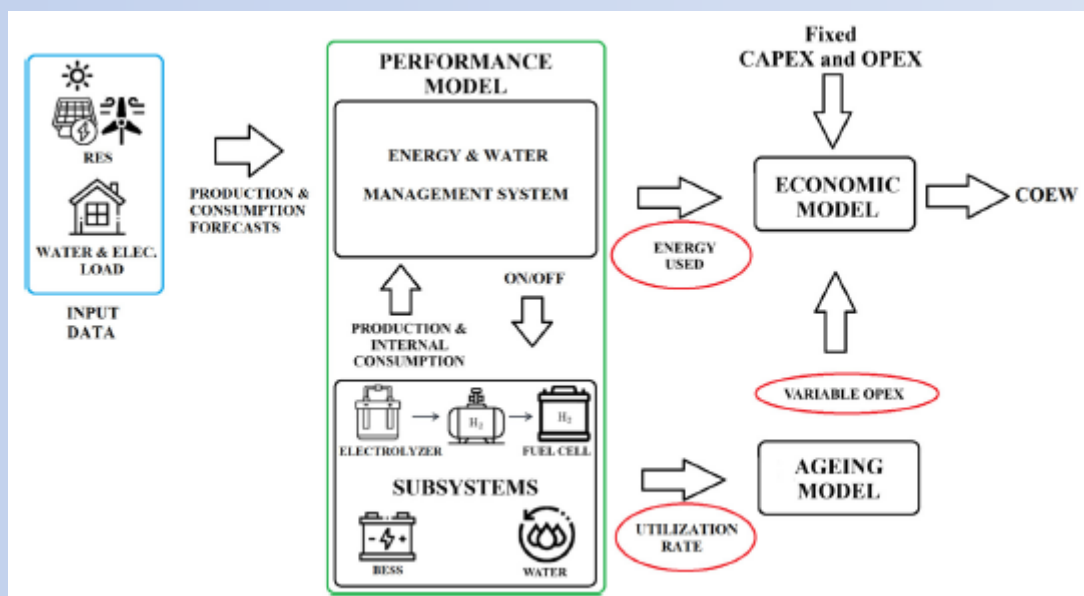
Couplage Pérenne Plug & Play Eau Électricité pour les îles et sites côtiers isolés

Création d'un outil de dimensionnement

OBJECTIF:

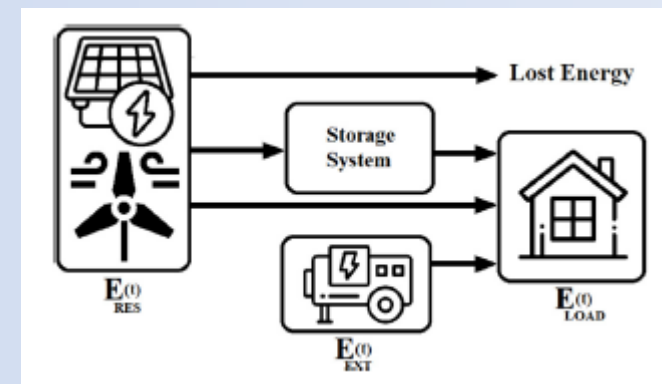
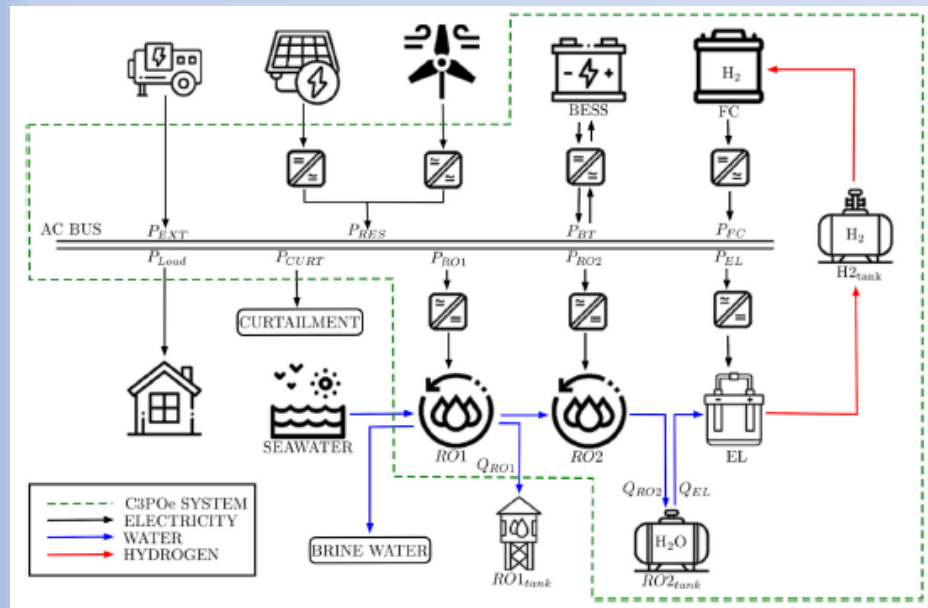
L'outil de dimensionnement a pour objectif de déterminer un coût énergétique sur la durée de vie du projet et de dimensionner aux mieux les différents composants du système afin de réduire ce coût. Elle est décomposée en deux grandes phases. Une première phase consiste à créer un modèle permettant de simuler le comportement du système sur sa durée de vie en fonction de ces caractéristiques techniques et économiques afin d'établir un coût énergétique. Une deuxième phase consiste à utiliser un algorithme d'optimisation afin de déterminer les composants du système permettant de minimiser le coût énergétique.

Outil de dimensionnement développé en Python et Julia.



C-3POe

Couplage Pérenne Plug & Play Eau Électricité pour les îles et sites côtiers isolés



Le modèle permettant de simuler le comportement du système C3POe sur la durée de vie du projet est décomposé en :

- Un **modèle de performance** incluant le système de management de l'énergie chargé de répartir l'énergie produite par les sources renouvelables entre les différents composants du système
- Un **modèle vieillissement/remplacement** permettant d'évaluer la dégradation des performances des différents sous-systèmes et de déterminer leur éventuel remplacement
- Un **modèle économique** permettant de comptabiliser les différents coûts CAPEX, OPEX-fixe, OPEX-variable et de déterminer le coût de l'énergie produite **LCOE**

Projet C3Poe

Étude de cas: Île de Molène

Scénario de consommation et production solaire et éolienne

Île de Molène:

- Population de **141 habitants**
- Superficie de **75 hectares**
- Consommation annuelle estimée à **4000 MWh**
- Consommation annuelle eau potable produite par osmose inverse: **8800 m³**
- Rejet saumures correspondantes: **13800 m³**

Production d'énergie renouvelable, environ 10 000 MWh par an pour un scénario 100 % renouvelables

Paramètres de référence de panneaux solaires:

- Technologie : Silicium cristallin
- Puissance PV crête installée : 1 kWc
- Perte du système : 14%
- prix PV par m² : 500 € m⁻²
- surface PV par kWc installé : 4.7 m⁻² kWc⁻¹

Paramètre de référence éolienne:

- Puissance: 20kW



Scénarios	100% ENR	100% ENR	40 % ENR - 60 % GE	40 % ENR - 60 % GE
	50% PV - 50 % éolien	90% PV - 10 % éolien	50% PV - 50 % éolien	90% PV - 10 % éolien
<i>Nombres d'éoliennes</i>	39	8	16	3
<i>Surface PV – m²</i>	502	948	201	379
<i>Puissance électrolyseur - kW</i>	174,9	254,2	69,5	106,9
<i>Puissance de la PAC- kW</i>	39,3	39,9	38,4	42,1
<i>Coût ENR en k€</i>	1 198 ,9	663 ,5	479,6	265,3
<i>Kg de H2 à stocker</i>	3900	7530	1560	3012

Projet C3Poe

Étude de cas: Île de Molène



Table 2

Shortage indicator value in MWh for the worst (W) and best (B) combination of energy consumption and production data (year of load data/year of weather data) as a function of k_{piloter} and $k_{\text{mix,gc}}$

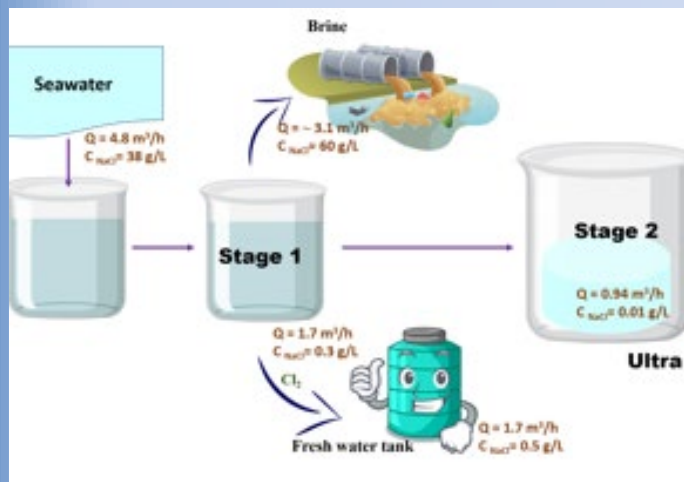
k_{piloter}	$k_{\text{mix,gc}}$					
	0%		20%		40%	
	W	B	W	B	W	B
1	556 2020/2018	485 2022/2020	469 2020/2018	411 2020/2020	512 2022/2023	474 2020/2020
1,5	216 2019/2018	144 2022/2021	116 2020/2018	51 2020/2020	126 2020/2018	56 2020/2020
2	42 2020/2018	19 2022/2019	41 2020/2018	9 2022/2020	49 2022/2022	8 2019/2020
2,5	34 2020/2018	11 2022/2019	33 2022/2018	6 2023/2019	36 2020/2018	5 2019/2020
3	31 2020/2018	9 2021/2019	28 2020/2018	5 2020/2020	30 2020/2018	4 2019/2020
3,5	29 2020/2018	8 2021/2019	26 2020/2018	5 2023/2019	26 2020/2018	4 2019/2020

k_{piloter}	$k_{\text{mix,gc}}$					
	60%		80%		100%	
	W	B	W	B	W	B
1	671 2022/2023	641 2020/2021	880 2022/2023	852 2020/2021	1099 2022/2023	1072 2020/2021
1,5	198 2022/2023	158 2020/2020	457 2022/2023	430 2020/2021	777 2022/2023	754 2023/2022
2	77 2022/2023	30 2020/2020	191 2022/2023	134 2023/2018	474 2022/2023	453 2023/2022
2,5	47 2022/2022	6 2023/2020	124 2022/2023	68 2020/2020	323 2022/2023	259 2020/2021
3	35 2022/2018	5 2023/2020	69 2022/2022	28 2023/2020	286 2022/2023	218 2019/2018
3,5	29 2022/2018	4 2019/2020	46 2022/2022	8 2023/2020	251 2022/2023	180 2019/2018

Projet C3Poe

Du calcul du dimensionnement optimal à la valorisation des saumures d'osmoseurs par électrolyse

Contribuer au développement de la
 filière Hydrogène en Bretagne

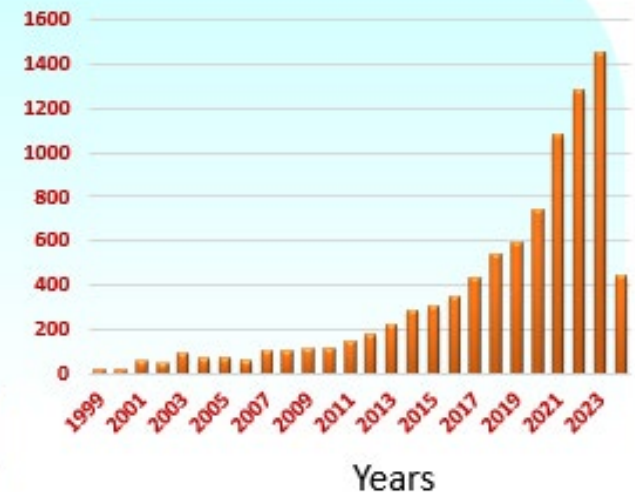


	100% ENR	100% ENR	40 % ENR - 60 % GE	40 % ENR - 60 % GE
Scénarios	50% PV - 50 % éolien	90% PV - 10 % éolien	50% PV - 50 % éolien	90% PV - 10 % éolien
Nombres d'éoliennes	39	8	16	3
Surface PV – m²	502	948	201	379
Puissance électrolyseur - kW	174,9	254,2	69,5	106,9
Puissance de la PAC- kW	39,3	39,9	38,4	42,1
Coût ENR en k€	1 198,9	663,5	479,6	265,3
Tonnes de H2 à stocker	3,9	7,5	1,6	3,0
Tonnes H2O Ultra Pure	35,1	67,8	14,0	27,1
Tonnes Saumures	115,8	223,5	46,3	89,4
Tonnes Cl2 produits	1,5	2,9	0,6	1,2
Kg H2 produits	43,5	84,1	17,4	33,6
Coût Electricité (MWh)	5,2	10,1	2,1	4,0

Seawater and Osmosis Brines Electrolysis: Electrodeposited Surface Tailoring of 316L Stainless Steel for Electrolyzer

Introduction

Evolution over the past 25 years of the number of journal articles with topic keywords "brine mining" OR "brine management" OR "brine treatment" OR "brine valorisation" OR "resource recovery" and desalination in article title, abstract, or keywords



Name of the Island	Water Requirement (m ³)	No. of Hours RO unit runs	Brine Produced (m ³)
<u>Molene</u>	8869	4668	14004

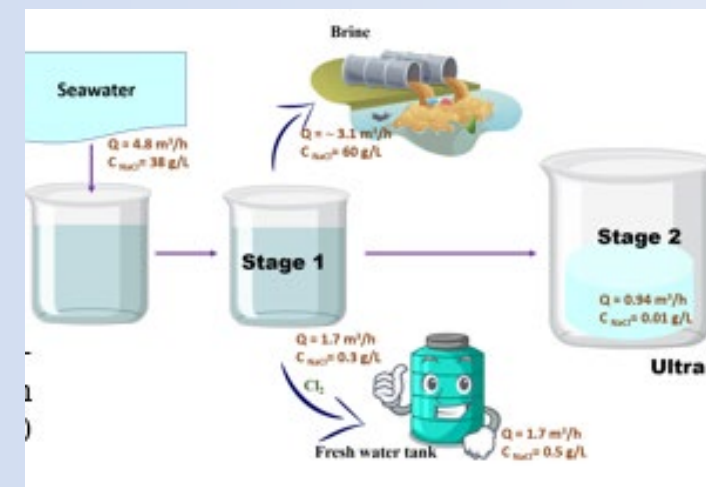
Average of 150 l/habitant/day
 débit production nominal unité neuve m³/h (pure) = 1.9
 Reject flow is 3 m³/h constant.

Maximum O/P from RO = 16,644 m³/yr

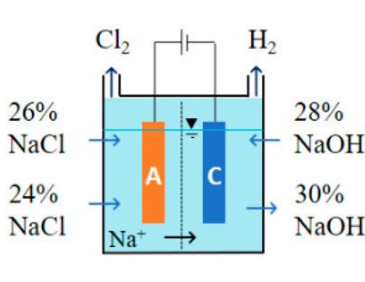
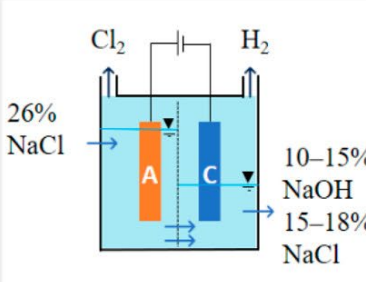
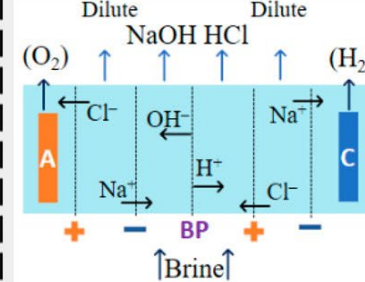
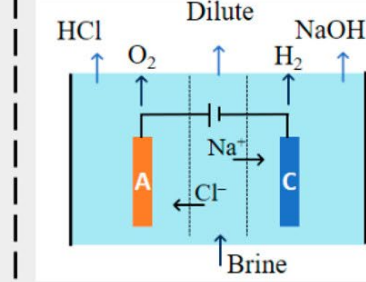
$$\text{Percentage of Brine} = \frac{\text{Volume of Brine}}{\text{Total volume of solution}} \times 100$$

∴ Percentage of brine=60%

Each kg of hydrogen produced required at least 9 kg of ultra pure water and 60 kWh of electricity. Thus, this kg of hydroge



Projet C3Poe

Process	Chlor-alkali membrane	Chlor-alkali diaphragm	Bipolar membrane electrodialysis	Direct electrosynthesis
				
Reaction	Anode: $2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$ (ca. 1.21 V vs. SHE at 90 °C) Cathode: $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ (ca. -0.99 V vs. SHE at 90 °C) Overall: $2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \text{Cl}_2 + 2\text{NaOH}$ ca. 2.20 V at 90 °C	Anode: $2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$ (ca. 1.21 V vs. SHE at 90 °C) Cathode: $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ (ca. -1.02 V vs. SHE at 90 °C) Overall: $2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \text{Cl}_2 + 2\text{NaOH}$ ca. 2.23 V at 90 °C	Anode: $2\text{OH}^- \rightarrow 1/2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$ (0.40 V vs. SHE at 25 °C & pH 14) Cathode: $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ (0.00 V vs. SHE at 25 °C & pH 0) BP: $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{OH}^-$ (0.83 V at 25 °C) Overall: $2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HCl} + 2\text{NaOH}$ 1.23 V at 25 °C	Anode: $\text{H}_2\text{O} \rightarrow 1/2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$ (1.23 V vs. SHE at 25 °C & pH 0) Cathode: $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ (-0.83 V vs. SHE at 25 °C & pH 14) Overall: $2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HCl} + 2\text{NaOH}$ (Side: $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + 1/2\text{O}_2$) 2.06 V at 25 °C

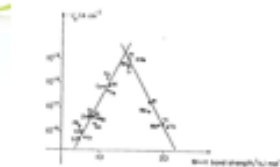
Experimental Analytical Electrochemistry: Samples electrodeposition

Experimental work

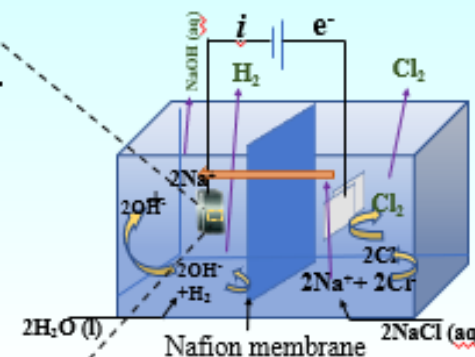
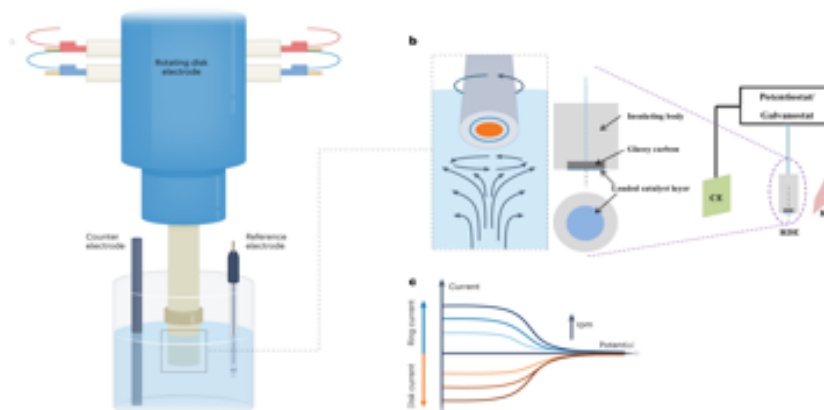
One step Electrodeposition

ZnFe₂O₄@SS316L

SS316L



Rotating Disk electrode method



Floating electrode method



Projet C3POe, Projet KOHLER

Electrodes, electrocatalysts and membranes materials characterisation at lab scale

Table 3 – Comparison of performance of various electrocatalysts (TW: this work).

Electrocatalysts	KOH solution	Tafel slope (mV/dec)	Current density (mA/cm ²)	η_{10} (V vs. RHE)	Ref.
Ni strip	30% w/w	−142			[32]
Ni NWs	30% w/w	−118	−10	−0.250	[32]
Ni _{0.95} Ce _{0.05}	8 M	−126	−10	−0.43	[85]
NiS ₂ HMSs	1 M	−157	−10	−0.219	[86]
NiCo	30% w/w	−101	−10	−0.234	[87]
NiZn Foam	30% w/w	−120	−20	−0.306	[52]
G@Co@Zn@NF-350	1 M	−144	−10	−0.151	[88]
3D Ni Foam	8 M	−105	−10	−0.200	[89]
PTFE Ni-Raney	38% w/w	−111	−10	−0.208	[90]
FeSe−NF	1 M	−145	−10	−0.200	[91]
p−NiSe/NGr	1 M	−125	−10	−0.285	[92]
Ni _{0.05} Co _{0.95} NWs	30% w/w	105	−10	−0.231	[34]
Ni _{78.95} Fe _{21.05} NWs	30% w/w	−116	−10	−0.315	[67]
Ni−Co−P on Ni Foam	1 M	−46	−10	−0.085	[55]
CoNi oxyhydroxide nanosheets	1 M	−67	−10	−0.210	[56]
Ni@C−MoO ₂ on Ni Foam	1 M	−44	−10	−0.025	[57]
Ni NWs	30% w/w	−111	−10	−0.256	TW
Ni _{58.7} Zn _{41.3} NWs	30% w/w	−90	−10	−0.281	TW
Ni _{55.6} Zn _{44.4} NWs	30% w/w	−99	−10	−0.251	TW

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.09.221>

Projet C3POe, Projet KOHLER

From Lab Scale to Industrial Scale: Electrochemical Engineering

Contribuer au développement de la
filrière Hydrogène en Bretagne



Design Of A Dedicated Experimental Setup For Accelerated Ageing Test And Diagnostics Of The Electrolyser Stacks

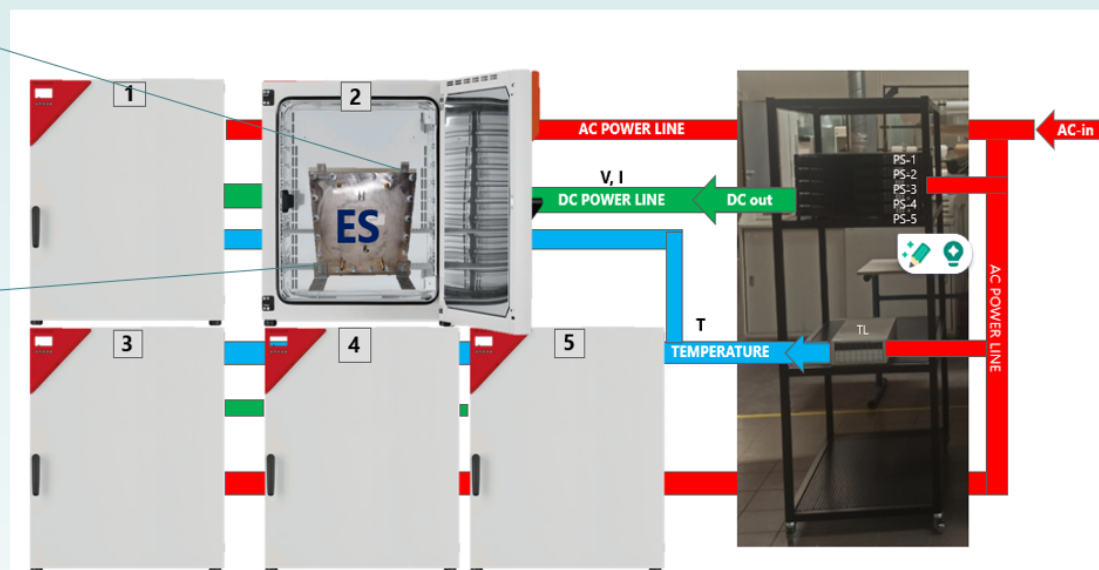
Experimental

The first experimental setup for accelerated ageing consists of the following modules. An ITECH bidirectional power supply (ITM9036C), is capable of delivering the required DC power to the electrolyser stack for a predefined duration. Five Binder incubators are set up for a controlled environment for the electrolyser stacks. The electrolyser stacks will be kept inside the incubator. An 8-channel Temperature Logger device from ITECH (IT5601) is chosen to measure the temperature



Electrolyser stack

Label	Name
1-5	5 Incubators
ES	Electrolyser Stack
TL	Temperature Logger
PS-1 to PS-5	5 Programmable Power Supplies

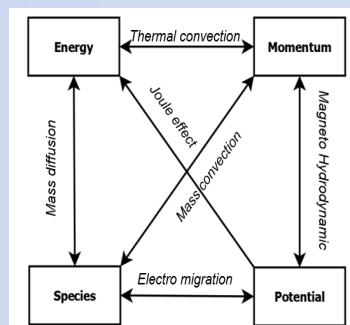


Activités de recherche/innovation

Bancs d'essais & stratégie numérique

Expérimental:

Voltamétrie cyclique
Spectroscopie
d'impédance
électrochimique
RDE
Laser ADL et PIV
Traitement d'image



Numérique:

**Modélisation
multiphysique et
chimique**
ANSYS-FLUENT-
CHEMKIN

Modélisation multiéchelle
Bulle-Cellule-Containers



Jumeaux Numériques
Plans d'expériences

pour les systèmes électrochimiques
Vieillessement, Diagnostic & Pronostic



Activités génie énergétique et électrochimique

Pour en savoir plus:

1/ Atelier 1: Electrolyse et photoélectrolyse cet après midi

2/ Posters de l'équipe:

Dr Praveen Thappily

Dr Priyadharshini Matheswaran

PhD: Ranja, Pubudu et Harouna



3/ Contact: philippe.mandin@univ-ubs.fr

MERCI

=> région Bretagne pour son support

=> partenaires: ENTECH, KOHLER,
STELLANTIS, H2X, SLCE, TALENDI