

JOURNÉE RECHERCHE H₂ · BREST (UBO) · 24 JUIN 2026

Pyrogazéification de biomasse, biogaz et autres voies thermochimiques

Enjeux et verrous matériaux pour la filière H₂ et BioGNL

Mona Bahout

Institut des Sciences Chimiques de Rennes (ISCR) — UMR CNRS 6226

Université de Rennes · CNRS · INSA Rennes · ENSCR

Equipe Chimie du Solide et Matériaux (CSM)

FLEXISOC : l'ISCR au sein d'un consortium national

Piles SOFC flexibles : syngaz, biogaz, polluants

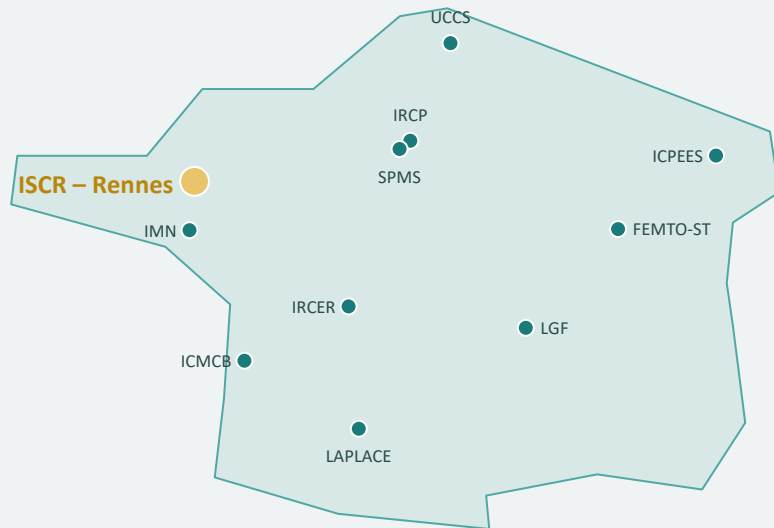
Co-pilotage de la Tâche 1 — matériaux

Choix et synthèse des matériaux d'électrode à combustible (co-animée avec l'ICPEES) : oxydes à exsolution de nanocatalyseurs, tolérance aux polluants (H_2S), reformage interne, sans métaux nobles massifs.

Analyses post-mortem — Tâche 3

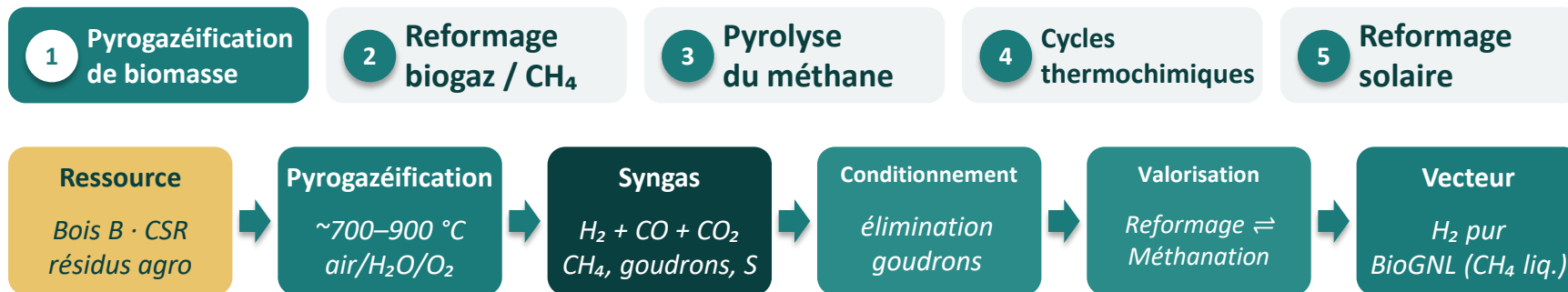
Analyse structurale et microstructurale des cellules vieilles — diffraction de neutrons operando, microscopie électronique : comprendre les mécanismes de dégradation pour reconcevoir les matériaux.

11 laboratoires du consortium



Ce que je coordonne pour l'ISCR : PEPR H_2 , 2022–2028 (FLEXISOC), Energie@CNRS 2025 (HydroSOC-RP), Défis Emergents U. Rennes 2026 (OPERA - NH_3), Bienvenue Bretagne 2026 (FLEXPILE, Post-Doc, 18 mois).

Voies thermochimiques → focus pyrogazéification bois B / CSR



Trois verrous scientifiques propres à la pyrogazéification bois B / CSR (Combustible Solide de Récupération) :

Variabilité du combustible

Bois B : humidité, taille, peintures.
CSR : Cl, alcalins, soufre.
Syngas H_2/CO instable selon le lit.

Goudrons et impuretés

Goudrons aromatiques, H_2S , HCl , alcalins (K, Na).
Empoisonnent catalyseurs et anodes SOFC Ni-YSZ.

Catalyseurs fragiles

Dépôt de coke, frittage, dépendance aux PGM (Rh, Ru, Pt).
Durées de vie ≈ dizaines d'heures.

De la filière pyrogaz aux verrous matériaux

La chaîne visée par la filière

- **Ressource** : bois B (et CSR), filière régionale
- **Procédé** : pyrogazéification thermique → syngas
- **Vecteurs** : H₂ (mobilité, industrie) + BioGNL (mobilité lourde)

Ce que ISCR peut apporter

Fondations matériaux pour la chaîne thermochimique

- ▶ **Catalyseurs sans PGM massif** — *upgrade syngas et reformage*
- ▶ **Tolérance H₂S** — *en cours ; coke/goudrons à tester*
- ▶ **Brique méthanation** — *voie BioGNL*
- ▶ **Anode SOFC robuste** — *cogénération sur site*

Positionnement ISCR : fournir à ce type de chaîne les briques matériaux qui en sécurisent la durabilité (catalyseurs syngas, méthanation, anode SOFC) et lever les verrous identifiés sur bois B / CSR.

Oxydes Ruddlesden–Popper à exsolution

Structure en feuillets $A_{n+1}B_nO_{3n+1}$

matrice active (perovskite)

réservoir d'oxygène (rocksalt)

matrice active (perovskite)

réservoir d'oxygène (rocksalt)

matrice active (perovskite)

↑ *exsolution in situ sous H_2* ↑



Nanoparticules Ni / Ni–Ru ancrées dans la matrice

Une céramique conçue pour quatre fonctions

1

Réservoir à oxygène

réserve d'oxygène de réseau : absorbe la variabilité H_2/CO

2

Gazéifier le coke formé à la surface

le carbone est évacué en continu

3

Faire pousser des nanocatalyseurs

*ancrées au réseau, ne migrent pas, ne frittent pas :
résistent mieux au vieillissement*

4

Tolérer H_2S et impuretés

Ru limite l'empoisonnement, sans PGM massif

$(La,Sr)_3(Mn,Ni)_2O_7$ · extension Ru : $(La,Sr)_3(Mn,Ni,Ru)_2O_7$ — 800–900 °C

DRM, SOFC, biogaz : une plateforme, trois validations

VALIDÉ · DRM série Ni seul

170 h

Série au Ni seul

86 % conv. CH_4 (L150N50) à 800 °C
coking 0,026 mg/g/h (L165N65)

$\text{L150N50} = \text{La}_{1,5}\text{Sr}_{1,5}\text{Mn}_{1,5}\text{Ni}_{0,5}\text{O}_7$

VALIDÉ · SOFC série Ni–Ru

200 h

effet du ruthénium

$R_p = 0,32 \, \Omega \cdot \text{cm}^2$ à 800 °C
dégrad. 22 % (Ru) vs 53 % (sans Ru)

$\text{La}_{1,5}\text{Sr}_{1,5}\text{Mn}_{1,5}\text{Ni}_{0,5-x}\text{Ru}_x\text{O}_7$

EN COURS · DRM

H_2S

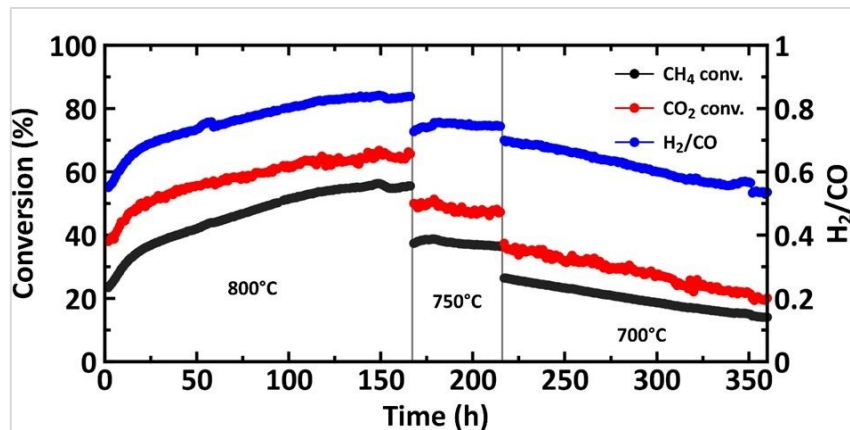
tolérance au soufre

DRM CH_4/CO_2 : 1,5 + H_2S (5–10 ppm)
conditions modèles biogaz soufré

Ce que cela apporte à la filière H_2 et BioGNL

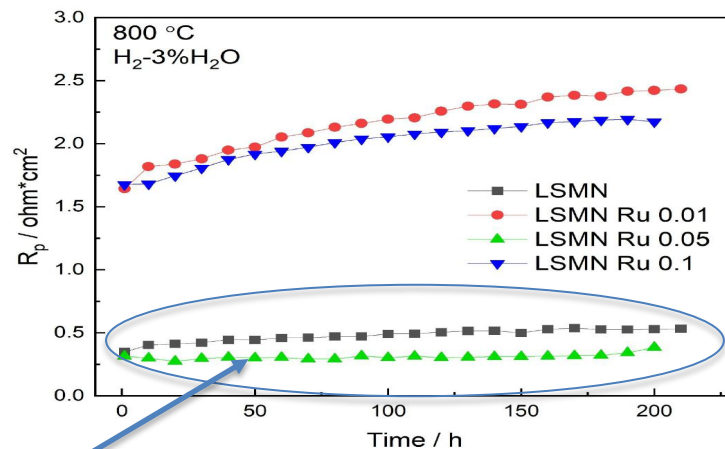
- **Briques DRM et SOFC** : validées en conditions modèles, transférables vers essais syngas réel.
- **Tolérance H_2S en cours** : étape préalable avant essais sur syngas réel de pyrogazéification

Deux preuves de stabilité en conditions modèles : DRM et anode SOFC



DRM — L150N50, 360 h (800/750/700 °C)

Conv. CH_4/CO_2 et ratio H_2/CO



SOFC — R_p à 800 °C, 200 h

Dégrad. **22 % (Ru 0.05)** vs 53 % (sans Ru).

Ru : criblage jusqu' à Ru 0,1 (1,9 wt%) ; retenu Ru < 0,05 (<0,95 wt%) pour rester dans le domaine stable.

Un levier composition : activité vs résistance au coke

Catalyseur	Conv. CH ₄	Conv. CO ₂	Sélec. H ₂	H ₂ /CO	Coke (mg/g,h)
L150N50	83 %	88 %	96 %	0,92	0,045
L150N60	86 %	88 %	96 %	0,92	0,052
L155N55	68 %	79 %	91 %	0,83	0,048
L165N65	56 %	71 %	85 %	0,74	0,026

Série $(La,Sr)_3(Mn,Ni)_2O_7$ — label Lxxx Nyy code les indices La / Ni $\times 100$ (ex. L165N65 = $La_{1,65}Sr_{1,35}Mn_{1,35}Ni_{0,65}O_7$).

**Le ratio La/Sr gouverne activité / durabilité— un levier prédictible par la composition.
En ajustant la composition on choisit le compromis entre rendement et durée de vie.**

Conclusion

Recherche matériau bretonne · criticité, sobriété, coûts



Voies thermochimiques

Des voies complémentaires à l'électrolyse, pour produire l'hydrogène.



Pyrogazéification bois B / CSR

Trois verrous matériaux : variabilité combustible, impuretés (H_2S), fragilité des catalyseurs classiques



Notre brique scientifique

Famille d'oxydes en feuillets à nanocatalyseurs ancrées ; validées en conditions modèles DRM avec un impact de Ru sur la dégradation des anodes SOFC. Dandidats pour méthanation.



Maturité & coûts

Briques matériaux preuve de concept laboratoire (TRL 3–4), transférable vers les démonstrateurs. Sobriété: sans métaux nobles massifs; coût métal 100× inférieur aux catalyseurs à PGM.

Réf. : Bahout et al., Next Energy 2026 · Yu, Bahout et al., ACS Catal. 2026 · Yuksek, Bahout et al., SOFC Ni–Ru & DRM-biogaz, Appl. Catal. B 2026 · Managutti, Bahout et al., ACS Appl. Energy Mater. 2024.