



HAL
open science

L'électrolyse à haute température se simplifie

Clément Nicollet, Jean-Marc. Bassat

► **To cite this version:**

Clément Nicollet, Jean-Marc. Bassat. L'électrolyse à haute température se simplifie. La Recherche, 2021, 566, pp.90-91. hal-03447524

HAL Id: hal-03447524

<https://hal.science/hal-03447524>

Submitted on 24 Nov 2021

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

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

La Recherche

((signature))

Clément Nicollet, Charge de recherche CNRS à l'IMN-Institut des matériaux Jean-Rouxel (CNRS, université de Nantes), et **Jean-Marc Bassat**, directeur de recherche CNRS, Institut de chimie de la matière condensée de Bordeaux.

Si la production d'hydrogène par électrolyse peut se faire avec des systèmes « basse température » (cellules alcalines, cellules à membrane polymère), elle est également possible avec des systèmes haute température ($700 < T^{\circ}\text{C} < 900$). La motivation pour développer ces derniers provient du fait qu'il est possible, thermodynamiquement, de substituer une partie de l'énergie électrique nécessaire à la séparation de la molécule d'eau en H_2 et O_2 par de l'énergie thermique. Cette solution est particulièrement intéressante pour des applications stationnaires où il est possible de « recycler » de la chaleur dite fatale sur des procédés industriels nécessitant un refroidissement (les centrales nucléaires par exemple). Cette technologie présente en outre des rendements particulièrement élevés (puissance électrique nécessaire à la production d'hydrogène jusqu'à trois fois moins élevée que dans les électrolyseurs à membrane polymère). Dans ce cas, l'électrolyseur est composé d'un ensemble de cellules céramiques connectées (de manière à augmenter la puissance de l'ensemble), chaque cellule comportant un électrolyte dense (conducteur d'ions) qui sépare deux électrodes (à oxygène et hydrogène, respectivement) poreuses.

Comme pour tout système électrochimique, l'association de plusieurs matériaux céramiques aux chimies différentes est une tâche ardue. La préparation de cellules requiert de multiples traitements thermiques de frittage (densification) permettant de « coller » les électrodes à l'électrolyte. Ils sont effectués à des températures supérieures à 1000°C , et sont la source d'effets secondaires indésirables (par exemple, la formation de phases isolantes à l'interface entre l'électrode et l'électrolyte) qui peuvent limiter les performances finales des cellules. Des recherches sont donc menées en vue de minimiser ces problèmes. Elles visent à simplifier un maximum à la fois les matériaux et la mise en forme des cellules céramiques tout en conservant des performances élevées.

Du côté de l'électrode à air, où est produit l'oxygène issu de la séparation de la molécule d'eau, il est nécessaire d'utiliser des matériaux qui puissent à la fois transporter des ions O^{2-} et des électrons (matériaux à conductivité dite mixte) pour pouvoir limiter les surtensions (perte d'énergie). Aujourd'hui, il s'agit principalement d'oxydes de structure pérovskite, contenant trois voire quatre éléments chimiques. Cette complexité permet d'atteindre la tant convoitée conduction mixte, mais elle entraîne également des problèmes de stabilité thermique du matériau, et de réactivité chimique avec l'électrolyte. Une étude que nous avons menée récemment a montré qu'il était possible d'obtenir les mêmes propriétés de conduction mixte avec un matériau simple, en l'occurrence l'oxyde de praséodyme noté Pr_6O_{11} (**1**). Ne contenant qu'un seul cation, ce matériau ne peut pas se dégrader par décomposition (dans les pérovskites, la démixtion des éléments peut entraîner une perte des propriétés), ce qui lui confère une très bonne stabilité chimique par rapport aux matériaux plus complexes. De plus, il a la même

structure cristalline que la plupart des matériaux d'électrolyte, ce qui le rend chimiquement compatible et limite les possibilités de réactivité néfaste aux interfaces.

Une autre étude que nous avons entreprise, plus fondamentale et se focalisant un oxyde de praséodyme, a montré qu'une modification de la surface du catalyseur par une simple infiltration de solutions de nitrates d'éléments choisis en fonction de leur acidité permettait de moduler l'efficacité du matériau sur plusieurs ordres de grandeur, surpassant largement les modulations pouvant être apportées par la modification des propriétés de conduction mixte (2). De cette façon, les performances d'un seul matériau peuvent égaler celles de pratiquement n'importe quel oxyde à conduction mixte existant. Cela permettrait notamment de reconsidérer toute une classe de matériaux plus simples, plus abondants et moins chers, et illustre le fait que, grâce à une meilleure appréhension de la science fondamentale régissant les réactions au sein de ces systèmes, il devient possible de proposer des solutions technologiques pertinentes pour améliorer l'efficacité des électrolyseurs.

Une stratégie complémentaire qui permettrait de simplifier la préparation de cellules d'électrolyseurs tout en améliorant leurs performances serait de les fabriquer à partir d'un monolithe de matériau d'électrolyte, au sein duquel les matériaux catalyseurs sont *infiltrés* pour former une électrode composite. L'infiltration est une technique qui présente plusieurs avantages. Entre autres, elle limite les problèmes de réactivité chimique entre les deux composants et permet d'améliorer la microstructure des électrodes poreuses, étape essentielle pour augmenter l'efficacité énergétique des cellules et surtout leur durabilité, puisque l'industrie vise des utilisations, en température donc, de plusieurs dizaines de milliers d'heures.

Les chercheurs se sont d'abord concentrés sur l'infiltration de matériaux simples pour le développement d'électrodes à air ou à hydrogène performantes, avant de travailler sur la cellule complète. A ce jour, les meilleurs résultats ont été obtenus avec des squelettes à base de GDC (cérine dopée à l'oxyde de gadolinium), infiltrées en ce qui concerne la fabrication des électrodes. Les performances électrochimiques de ces cellules « tout GDC » ont été mesurées et elles sont prometteuses. Des collaborations industrielles sont établies pour développer leur mise à l'échelle et envisager, à terme, une mise sur le marché.

((Références))

(1) C. Nicollet *et al.*, *Int. J. Hydrogen Energy*, **41**, 15538, 2016.

(2) C. Nicollet *et al.*, *Nat. Catal.*, **3**, 913, 2020.