

Synthèse et dopage de xérogels de carbone pour piles à combustible à membrane échangeuse de protons

Loïc NOUMBI^a, Ali Haider^{a,b}, Lucas Elvira^b, Sophie Hermans^b, Nathalie Job^a

^a Département de Chemical Engineering (B6a), Université de Liège, Allée du 6 Août 11, 4000 Liège, Belgique

^b IMCN, Université catholique de Louvain, Place Louis Pasteur 1-bte L4.01.03, 1348 Louvain-la-Neuve, Belgique

e-mail : lnoumbi@uliege.be

Les piles à combustible à membrane échangeuse de protons (en anglais : *Proton Exchange Membrane Fuel Cells* ou PEMFCs) sont des dispositifs capables de produire de l'électricité par une réaction électrochimique entre le dihydrogène et le dioxygène, avec de nombreuses applications principalement dans le secteur des transports. L'un des principaux défis à leur déploiement est l'amélioration de leur durée de vie. De ce fait, de nombreuses études se concentrent sur les électrodes qui sont des couches catalytiques, généralement constituées d'un matériau carboné sur lequel sont supportées des nanoparticules de platine ou de Pt-M (M étant un métal de transition)¹.

Commercialement, le noir de carbone est le support de catalyseur le plus utilisé. Cependant, durant le fonctionnement de la pile, il se corrode, ce qui entraîne le détachement et/ou l'agglomération des particules de platine, et donc une diminution de la surface électrochimiquement active (*Electrochemically Surface Area*, ECSA). Des études antérieures se sont concentrées sur des carbones présentant une structure la plus cristalline possible² ; toutefois les surfaces cristallines induisent une plus grande mobilité des particules de platine, ce qui entraîne également leur agglomération et une perte d'ECSA. L'objectif principal de ce travail est donc d'améliorer la stabilité et la durabilité du matériau carboné utilisé dans les PEMFCs, en envisageant les xérogels de carbone (CXs) dopés à l'azote comme alternative.

Dans un premier temps, des CXs ont été synthétisés et utilisés comme support principal. Leur avantage réside dans leur texture poreuse modulable³, allant de petits mésopores à de larges macropores, permettant de contrôler le transport de matière au sein de l'électrode^{3,4}. Cependant, en tant que carbones désordonnés, ils s'oxydent facilement pendant le fonctionnement de la pile. Pour pallier ce problème, une fine couche de carbone plus cristallin a été déposée sur leurs surfaces par dépôt chimique en phase vapeur (*Chemical Vapor Deposition*, CVD)⁵. Cette méthode permet de bloquer les micropores, inutiles pour le transport de matière, tout en conservant la mésoporosité préexistante. Par conséquent, le matériau possède toujours assez de surface (~150-200 m²/g) pour le dépôt de particules de platine.

Dans un second temps, des dopages ont été appliqués à ces carbones (revêtus ou non par CVD) à l'aide de composés riches en azote afin d'améliorer l'ancrage des particules métalliques⁶, déposées ultérieurement à la surface du carbone. Dans le but de limiter l'utilisation du platine, des efforts ont également été menés en parallèle pour synthétiser des xérogels de carbone dopés fer-azote ; en effet, ces structures sont bien connues dans le domaine des catalyseurs dits « *Single Atom* », mais restent encore à être pleinement exploitées dans les PEMFCs, notamment en partant de carbones mésoporeux.

Afin de corrélérer les propriétés du carbone et des nanoparticules métalliques avec la stabilité du catalyseur, des caractérisations physico-chimiques telles que l'adsorption N₂, l'XPS, le TEM, l'ICP ont été réalisées et les performances électrochimiques ont été étudiées en configuration électrode à disque tournant (*Rotating Disk Electrode*, RDE), dans un électrolyte de H₂SO₄ à 0,5 M. Les caractérisations ont été réalisées avant et après vieillissement accéléré (*Accelerated Stress Tests*, ASTs). Finalement, les catalyseurs les plus prometteurs seront analysés en conditions réelles sur banc d'essai, en configuration de type assemblage membrane-électrodes complets.

Remerciements

Les auteurs remercient le F.R.S.-FNRS (projet PDR n° T.0166.24) et tiennent à remercier la Région wallonne pour son soutien financier via le projet Win4Excellence « TiNTHyN » (contrat n°2310142), octroyé par le SPW Économie Emploi Recherche et soutenu par le Plan de Relance de la Wallonie.

Références

1. O. A. Baturina, A. E. Smirnova, In: *New and Future Developments in Catalysis*, 2023, 69–97
2. L. Castanheira *et al.* *ACS Catalysis*, 2014, 4, 2258–2267
3. N. Job *et al.* *Carbon*, 2004, 42, 619–628
4. N. Job *et al.* *Energy Conversion and Management*, 2008, 49, 2461–2470
5. M.-L. C. Piedboeuf *et al.* *Microporous and Mesoporous Materials*, 2019, 275, 278–287
6. S. Carlier *et al.* *Applied Catalysis B : Environmental*, 2021, 282, 119515