

# Électrodes efficaces à base d'alliages Ni-Fe industriels pour le dégagement d'oxygène en milieu alcalin

**Eric Sibert<sup>1</sup>, Lucile Magnier<sup>1,2</sup>, Céline Pascal<sup>2</sup>, Virginie Roche<sup>1</sup>, Irina Shchedrina<sup>3</sup>, Richard Bousquet<sup>4</sup>, Valérie Parry<sup>2</sup> & Marian Chatenet<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, Grenoble INP, LEPMI, 38000 Grenoble

<sup>2</sup> Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, SIMAP, F-38000 Grenoble

<sup>3</sup> Pierre Chevenard Research Center, APERAM Alloys Imphy, 58160, Imphy, France

<sup>4</sup> Product Development, APERAM Alloys Imphy, 58160, Imphy, France

La conversion de l'électricité en hydrogène est une voie envisagée pour stocker de l'électricité "renouvelable", ce qui pourrait contribuer à limiter notre empreinte carbone. L'hydrogène "propre" peut être produit par électrolyse de l'eau ; les électrolyseurs à membrane échangeuse de protons (PEMWE) actuels sont plutôt efficaces sur le plan énergétique et compatibles avec un fonctionnement transitoire (intermittent) (une condition préalable au stockage de l'électricité renouvelable), mais ces systèmes emploient des membranes échangeuses de protons perfluorosulfoniques dont la production n'est ni bon marché ni "verte", et des métaux précieux du groupe du platine [1] qui sont à la fois rares et chers [2]. Qui plus est, leur durabilité est encore sujette à caution [3]. Les électrolyseurs alcalins (AWE) sont industriellement matures depuis des décennies, essentiellement parce qu'ils peuvent fonctionner avec un recours limité aux platinoïdes [4] (par exemple avec des catalyseurs à base de Ni [5, 6]), mais leurs performances restent inférieures à celles des PEMWE [7]. Il est encore possible d'améliorer à la fois l'activité initiale et la stabilité à long terme des électrodes utilisées dans l'électrolyse alcaline de l'eau.

Les aciers inoxydables sont utilisés depuis longtemps comme supports dans les systèmes alcalins, en raison de leur robustesse et de leurs bonnes propriétés de conduction des électrons. Plus récemment, l'acier inoxydable s'est révélé lui-même actif pour les réactions de dissociation de l'eau [8, 9]. En effet, les aciers inoxydables contiennent des quantités non négligeables de nickel et, s'ils sont correctement "activés", ils peuvent former une "couche de passivation" qui présente une activité très intéressante pour le dégagement d'oxygène [10, 11].

Dans cette présentation, la composition chimique ainsi que le processus de fabrication d'alliages riches en Fe ou en Ni ont été évalués en fonction de leurs performances en matière de dégagement d'oxygène (OER). La nature de leurs sites actifs est dévoilée en couplant des caractérisations physico-chimiques avec l'électrochimie. La formation d'une couche active riche en Ni, dont la croissance dépend de la présence d'autres éléments d'alliage et du rapport Ni/Fe en surface, détermine leur activité pour l'OER. Des performances pour l'OER, supérieures à celles d'IrO<sub>2</sub> commercial ont été obtenues pour un rapport Fe/Ni dans la couche de surface compris entre 0,2 et 0,3, grâce à de nombreux sites actifs à base de Ni<sup>III</sup>Ni<sup>II</sup> et à une efficacité intrinsèque élevée des sites actifs.

## Remerciements

Ce travail a été financé par l'Institut Carnot Energies du Futur (projet NICKEL) et a été soutenu par le Centre d'Excellence des Matériaux Architecturés Multifonctionnels "CEMAM" (n° ANR-10-LABX-44-01) financé par le programme "Investissements d'avenir".

## Références

- [1] S. Park, Y. Shao, J. Liu, Y. Wang, *Energy Environ. Sci.* **2012**, 5, 9331-9344.
- [2] P.C.K. Vesborg, T.F. Jaramillo, *RSC Adv.* **2012**, 2, 7933-7947.
- [3] U. Babic, M. Suermann, F.N. Büchi, L. Gubler, T.J. Schmidt, *J. Electrochem. Soc.* **2017**, 164, F387-F399.
- [4] S. Marini, P. Salvi, P. Nelli, R. Pesenti, M. Villa, M. Berrettoni, G. Zangari, Y. Kirov, *Electrochim. Acta* **2012**, 82, 384-391.
- [5] F. Dionigi, T. Reier, Z. Pawolek, M. Glielich, P. Strasser, *ChemSusChem* **2016**, 9, 962-972.
- [6] M. Schalenbach, O. Kasian, K.J.J. Mayrhofer, *Int. J. Hydrogen Energy* **2018**, 43, 11932-11938.
- [7] K. Zeng, D. Zhang, *Prog. Energ. Comb. Sci.* **2010**, 36, 307-326.
- [8] H. Schäfer, S. Sadaf, L. Walder, K. Kuepper, S. Dinklage, J. Wollschläger, L. Schneider, M. Steinhart, J. Hardege, D. Daum, *Energy Environ. Sci.* **2015**, 8, 2685-2697.
- [9] H. Schäfer, M. Chatenet, *ACS Energy Letters* **2018**, 3, 574-591.
- [10] H. Schäfer, S.M. Beladi-Mousavi, L. Walder, J. Wollschläger, O. Kuschel, S. Ichilmann, S. Sadaf, M. Steinhart, K. Küpper, L. Schneider, *ACS Catal.* **2015**, 5, 2671-2680.
- [11] F. Moureaux, P. Stevens, G. Toussaint, M. Chatenet, *J. Power Sources* **2013**, 229, 123-132.