

## DÉPASSER LA CONTRAINTE DES MATÉRIAUX CRITIQUES DANS LE DESIGN DES MACHINES ÉLECTRIQUES

Les évolutions technologiques induites par la transition énergétique en cours nécessitent une quantité importante de matériaux critiques. Le cuivre, par exemple, est indispensable pour transporter l'électricité dans nos réseaux ou connecter batteries et moteurs électriques. Les terres rares, quant à elles, sont aujourd'hui incontournables dans le déploiement des énergies renouvelables grâce à leur conductivité électrique élevée et leur magnétisme fort, permettant de hautes performances à volume réduit.

La criticité de ces matériaux s'explique aussi bien par les tensions liées à leur approvisionnement, la production étant grandement extérieure à l'Europe, qu'aux normes environnementales de plus en plus strictes au niveau mondial, limitant leur extraction. Il en résulte des délais non maîtrisables et une envolée des prix rendant leur utilisation délicate.

Pour parer à ces difficultés, la recherche en génie électrique se penche depuis quelques années sur la conception de machines avec pas ou peu de matériaux stratégiques, ce qui implique de repenser leur design.

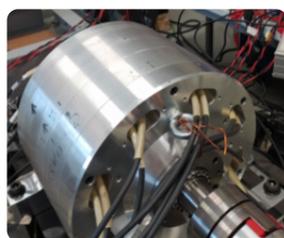
### Se passer de terres rares grâce aux matériaux à grains orientés

Par **A. Tounzi**, enseignant-chercheur à l'Université de Lille



Les matériaux à grains orientés (GO) sont principalement utilisés dans des dispositifs de conversion de l'énergie de fortes puissances, tels les transformateurs triphasés ou les alternateurs, dans lesquels leurs caractéristiques magnétiques sont bien exploitées. Dans la recherche de machines toujours plus performantes sans aimants en terres rares, ces caractéristiques peuvent être mises à profit pour améliorer les performances d'autres structures. Dans ce contexte, la machine à réductance variable à double saillance (MRVDS) constitue la structure la plus propice à l'utilisation de matériaux GO dans la mesure où le champ magnétique dans ses dents circule dans un seul sens.

Afin de valider l'apport des matériaux GO, une MRVDS à flux axial à rotor central et double stator a été conçue dans le cadre d'une collaboration entre les laboratoires L2EP et LSEE et deux prototypes de géométries identiques ont été fabriqués par la société EREM. Un des prototypes est entièrement constitué de matériau GO avec des découpes et un assemblage spécifiques et le stator du second est fabriqué avec des tôles à grains non orientés classiques. Ces deux machines instrumentées devraient très prochainement être testées dans les mêmes conditions pour comparer leurs performances.



Cette thèse a été cofinancée par la Région Hauts-de-France et l'Université d'Artois, avec le soutien matériel de l'entreprise Thyssenkrupp Electrical Steel, premier producteur européen de tôle magnétique à grains orientés.

◀ Prototype instrumenté de MRVDS à flux axial constituée de matériaux à grains orientés

## Le mot du Comité



par **Betty Semail**, Présidente du Comité Scientifique du pôle MEDEE

La problématique des matériaux critiques prend une grande importance dans le contexte de l'accroissement des usages électriques liés à la transition énergétique. Elle est transversale aux axes 1 « Matériaux et Composants » et 2 « Convertisseurs Électriques Intelligents » du Comité Scientifique de MEDEE. Dans cette édition du MEDEE FOCUS, nous traitons le sujet sous l'angle de l'axe 2, en nous plaçant du point de vue du design des machines électriques qui peut être avantageusement repensé pour économiser l'usage de ces matériaux.

Comme le montrent les interventions de nos membres, le réseau MEDEE est riche en expertise, académique et industrielle, sur cet enjeu d'avenir. L'objectif de ce MEDEE FOCUS est donc d'accroître la visibilité de ces études et de susciter de nouveaux projets dans cet axe porteur.

### Trouver des alternatives au cuivre

Par **R. Romary**, enseignant-chercheur à l'Université d'Artois



UNIVERSITÉ D'ARTOIS



Laboratoire Systèmes Electrotechniques et Environnement

Dans un contexte de raréfaction et de tensions sur le prix du cuivre, l'aluminium est un métal conducteur qui peut constituer une alternative intéressante, malgré une résistivité électrique plus élevée et des incertitudes sur sa disponibilité dans les années à venir. Limité jusqu'ici au rotor des moteurs asynchrones, l'aluminium peut être utilisé en remplacement du cuivre dans les bobines du stator sous forme de ruban aluminium anodisé. Celui-ci présente plusieurs avantages :

- Il peut être directement utilisé en bobine dans les stators des machines électriques à flux radial ou axial, notamment pour les bobinages dentaires présentant un taux de remplissage maximisé et des têtes de bobines très courtes, qui minimisent ainsi les pertes joules ;
- Naturellement ordonné, il minimise la tension entre spires, le rendant apte à supporter des fronts de tension très raides ;
- Son isolation lui permet de supporter des températures élevées, jusque 350°C, contre 250°C pour les isolations organiques classiques ;
- Son isolation est constituée d'une couche d'oxyde d'aluminium issue d'une réaction électrochimique réalisée sans solvant, donc plus écologique que pour l'émaillage conventionnel.

Le ruban aluminium ouvre la voie à la conception de machines fonctionnant à haute température et à fortes puissances massives !

# Changer d'approche dans la conception des machines électriques

Par **S. Vivier**, maître de conférences et **K. El Kadri Benkara**, ingénieur de recherche à l'Université de Technologie de Compiègne



Les systèmes de motricité embarquée (automobile, aéronautique, ...) utilisent de plus en plus de machines à aimants permanents à base de terres rares. Ces matériaux permettent en effet d'accroître leur puissance massique sans générer de nouvelles problématiques thermiques ou électriques. Cependant, face à la criticité de ces matériaux, la machine synchronoréductante (MSR) pourrait représenter une alternative viable pour des applications de traction en remplacement des machines à aimants ou à excitation bobinée.

Une thèse en cotutelle entre l'UTC Compiègne et l'Université Libanaise UL, cofinancée par la Région Hauts-de-France et le programme de cotutelles UT-INSA, a permis la définition d'un jumeau numérique d'une MSR assistée d'aimants ferrites. Si le fonctionnement des MSR repose sur l'anisotropie magnétique créée par des cavités au sein du rotor, leurs versions « assistées » exploitent ces espaces vides en y insérant des aimants peu puissants (mais économiques). Ils contribuent à limiter les courts-circuits magnétiques au rotor et ainsi à améliorer les performances de la machine.

Ce jumeau numérique a été validé par des essais, en particulier concernant les aspects magnétique, mécanique et thermique. Son utilisation ultérieure permet alors de réduire les coûts de développement des nouvelles MSR sans matériaux critiques.

## JEUMONT ELECTRIC : VERS L'INDUSTRIALISATION DE SOLUTIONS INNOVANTES



par **A. Ammar**, ingénieur études électriques chez JEUMONT Electric

**Dans les applications à fort couple et à faible vitesse, tel que l'éolien à attaque direct, l'utilisation des machines synchrones à aimants permanents (MSAP) permet une réduction du volume et de la masse de la chaîne de conversion. Cependant, cet avantage s'obtient au détriment de l'utilisation d'une quantité importante d'aimants à base de terre rares (environ 1 Tonne par Megawatt). Dans le but d'investiguer de nouvelles technologies permettant une dépendance moindre à ces matériaux stratégiques, l'entreprise JEUMONT Electric a participé à deux projets.**

### ● ECOSWING

Envision Energy

JEUMONT Electric

ECOSWING vise à démontrer la maturité technologique de TRL 6-7 d'un générateur de 3.6MW à 15tr/min dont le rotor est constitué d'électroaimants à base de fil supraconducteur. Ce fil refroidi à 30K permet la circulation de 100 fois plus de courant que dans un fil en cuivre, réduisant le volume de la machine de 50% par rapport à une MSAP. Le prototype réalisé et testé durant un 1 an entre 2018 et 2019 en conditions réelles sur une éolienne bipale offshore a montré de bonnes performances.

Partenaires du projet : ECO 5 GmbH / Delta Energy Systems GmbH / Theva Dunnschichttechnik GmbH / Sumitomo Cryogenics of Europe Limited / Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH / Universiteit Twente / Fraunhofer

Projet cofinancé par l'Union Européenne (H2020)

▼ Réduction de 50% du volume d'une MSAP (à gauche) vs. ECOSWING (à droite)



### ● JEOLIS



JEUMONT Electric

Laboratoire TEMPO - UPHF

L2EP Lille

Ferme Eolienne du PORTEL Plage

Le projet JEOLIS avait pour but le remplacement d'un générateur éolien à attaque directe de puissance 750kW par une nouvelle conception de puissance 900kW sans augmenter l'encombrement. La technologie adoptée était celle d'un générateur synchrone à rotor bobiné avec des aimants de compensation des flux de fuite. Ces aimants permettent de « défluxer » les noyaux polaires, de réduire leurs tailles et d'augmenter le flux utile dans l'entrefer. Cette conception a permis d'obtenir une machine de même puissance volumique qu'une MSAP mais avec 70% de terres rares en moins.

L2EP = Laboratoire d'Electronique et d'Electronique de Puissance de Lille  
UPHF = Université Polytechnique Hauts-de-France

Projet cofinancé par l'ADEME

## (ECO)CONCEVOIR LES MACHINES ÉLECTRIQUES

Au-delà des difficultés liées à l'approvisionnement et au coût des matériaux critiques, leur fin de vie est également une question incontournable à l'heure des prises de conscience écologiques. Par exemple, les terres rares sont actuellement peu recyclées car présentes en faible quantité et difficiles à séparer des autres métaux.

MEDEE prend la mesure de ces nouvelles questions autour de l'éco-conception des machines électriques en lançant notamment pour l'avenir des réflexions avec le pôle de compétitivité Team2 autour du recyclage du cuivre.

DÉC. MEDEE FOCUS

2022 La lettre de veille scientifique du Pôle Medee

Conception : Studio CAD  
Réalisation : MEDEE

PLUS D'INFOS : [POLE-MEDEE.COM](http://POLE-MEDEE.COM)

