

# MOTEURS ET GENERATEURS SUPRACONDUCTEURS

*Jean Lévêque, Kévin Berger, Thierry Lubin et Bruno Douine*

GREEN, Université de Lorraine, Vandoeuvre-les-Nancy, France

## RESUME

L'histoire des machines supraconductrices a débuté dans les années 1960. La première machine fabriquée en 1967 était un alternateur entièrement supraconducteur utilisant des fils NbTi. Ensuite, les supraconducteurs à haute température (HTS) ont été découverts et ce fut le point de départ de nouvelles études sur les machines supraconductrices. Cet article passe en revue diverses topologies de moteurs supraconducteurs et de générateurs utilisant les supraconducteurs à haute température critique et qui ont été étudiées et réalisées au GREEN.

## 1. INTRODUCTION

L'utilisation de fils supraconducteurs à haute température, pour les moteurs supraconducteurs peut conduire à de grandes économies de taille et de masse, ainsi qu'à une amélioration du rendement par rapport aux machines classiques. Les puissances envisagées sont généralement autour de quelques mégawatts pour des applications telles que la propulsion marine ou les éoliennes. Cet article présente les développements récents des moteurs ou générateurs supraconducteurs au GREEN.

## 2. INTERET DES MACHINES SUPRACONDUCTRICES

La majorité des machines supraconductrices sont synchrones à flux radial. Ce sont les machines pour lesquelles nous avons le plus de données permettant de mettre en évidence l'intérêt de la supraconductivité. La conception de ces machines est très proche de celle des machines classiques à pôles saillants. Leur particularité est l'enroulement supraconducteur de l'excitation. Généralement, l'induit est en cuivre même si il est possible de l'envisager supraconducteur. Dans un article récent [2], une comparaison est faite entre un moteur asynchrone de 3,8 MW - 180 tr/mn, un moteur à aimants permanents et supraconducteur. La comparaison de ces trois types de moteurs est visible donnée sur la figure 1 et montre les avantages en termes de rendement et de compacité des moteurs supraconducteurs.

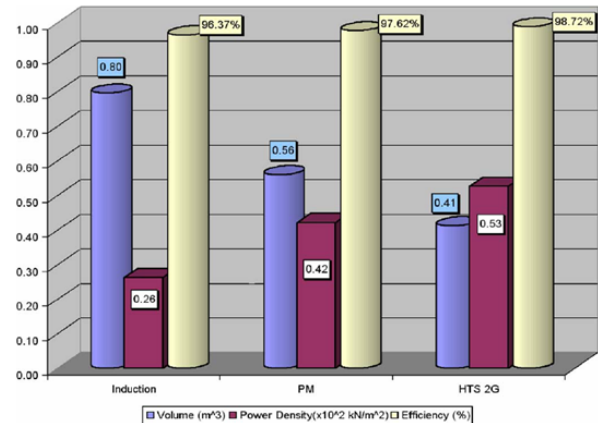


Figure 1. Comparaison de trois types de moteur [2].

## 3. MOTEUR A DEVIATION OU MODULATION DE FLUX

Ces structures utilisent les propriétés d'écrantage des matériaux supraconducteurs pour moduler, concentrer ou dévier un champ magnétique. Ces machines ont des topologies de rotor atypiques.

### 3.1. Moteur à modulation de flux

Cette première structure proposée par le laboratoire GREEN, est composée de deux solénoïdes alimentés par des courants inverses, les champs magnétiques résultants sont donc en opposition. Entre ces deux enroulements sont insérés des pastilles supraconductrices qui vont moduler dans l'espace le champ magnétique autour de l'inducteur. La conception et les essais d'un moteur basé sur ce principe ont été réalisés au laboratoire GREEN [3]. Cette

topologie permet de créer une densité de flux magnétique élevée et donc d'obtenir un couple massique important.

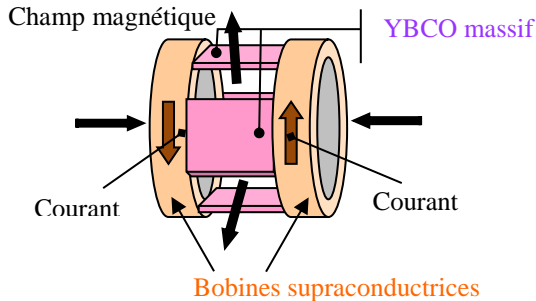


Figure 2. Inducteur à modulation de flux réalisé au GREEN.

### 3.2. Moteur à barrière de flux

Cette seconde structure est également proposée par le laboratoire GREEN [3]. La géométrie est composée de deux solénoïdes supraconducteurs, alimentés dans le même sens. La variation de l'induction magnétique sur le contour de l'inducteur est obtenue par l'ajout d'un supraconducteur massif incliné, disposé entre ces deux enroulements. Une structure de machine avec une paire de pôles est alors obtenue, et sa conception schématisée est donnée en figure 3. Son principe de fonctionnement peut être assimilé à celui des machines synchrones à griffes. Ce moteur a été réalisé et testé avec succès au GREEN.

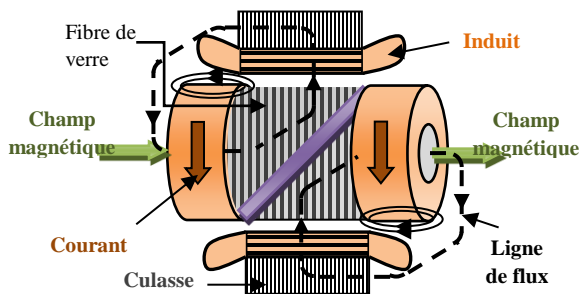


Figure 3. Moteur à barrière de flux réalisé au GREEN.

## 4. MOTEUR SUPRACONDUCTEUR A FLUX AXIAL AVEC TRANSMISSION MAGNETIQUE INTEGREE

Depuis quelques années, de nouvelles topologies de réducteurs magnétiques conjuguées à l'évolution des aimants permanents en termes d'énergie spécifique permettent d'atteindre des couples volumiques et/ou

massiques très importants avec des rendements dépassant les 95%. Par rapport aux entraînements avec réducteur mécanique, ces transmissions de couple sans contact ont les avantages suivants : pas de fatigue mécanique, pas de lubrification, protection naturelle contre les surcharges, pas de pertes dues aux contacts mécaniques, pas de bruits acoustiques et rendement très élevé. Dans ce contexte, un moteur supraconducteur à flux axial avec un inducteur supraconducteur incluant un accouplement magnétique associant supraconducteur et aimants permanents a été réalisé et testé. Ce moteur développe une puissance de 1 kW à 750 tr/mn (figure 4, [4]).

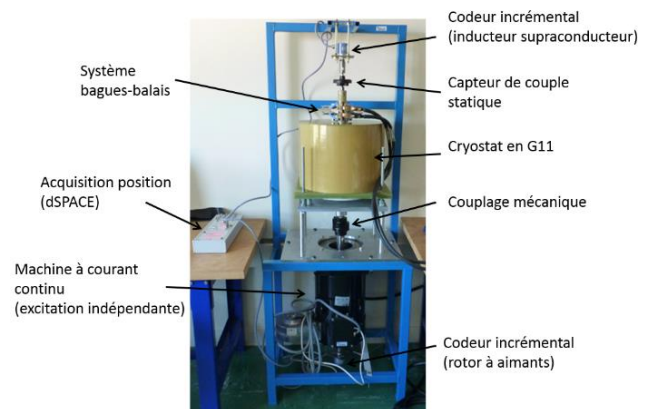


Figure 4. Moteur supraconducteur incluant un accouplement magnétique supraconducteur, réalisé au GREEN.

## 5. CONCLUSION

De nombreux moteurs supraconducteurs ont été étudiés et réalisés dans le monde. Ces moteurs sont le plus souvent des machines synchrones dont la structure est voisine de celle des machines classiques. Le GREEN possède la particularité d'étudier et de tester, avec le soutien de la DGA, des structures de machines totalement inédites. Un marché suffisant est désormais nécessaire pour pousser cette technologie et convaincre les utilisateurs finaux. Des produits normalisés, fils et bobines supraconducteurs sont également requis pour d'avantages d'applications industrielles.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la DGA d'avoir financé ces travaux.

## REFERENCES

- [1] Karmaker, H., D. Sarandria, M. T. Ho, J. Feng, D. Kulkarni, and G. Rupertus. 2015. 'High-Power Dense Electric Propulsion Motor'. *IEEE Transactions on Industry Applications* 51 (2): 1341–1347.
- [2] Ailam, E. H., D. Netter, J. Lévêque, B. Douine, P. J. Masson, and A. Rezzoug. 2007. 'Design and Testing of a Superconducting Rotating Machine'. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity* 17 (1): 27–33.
- [3] Alhasan, R., T. Lubin, B. Douine, Z. M. Adilov, and J. Lévêque. 2016. 'Test of an Original Superconducting Synchronous Machine Based on Magnetic Shielding'. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity* 26 (4): 5204005.
- [4] Dolisy B., S. Mezani, T. Lubin and J. Lévêque. 2017. 'Fabrication and test of an axial-field HTS rotating machine with integrated magnetic coupling'. *Superconductor Science and Technology* 30: 35015.