

# Modèle numérique d'une machine discoïde à double entrefer

Edouard Bommé, Albert Foggia et Thierry Chevalier

G2ELab, UMR 5529 INPG/UJF-CNRS, BP 46, 38402 Saint Martin d'Hères Cedex, France.

E-mail: edouard.bomme@g2elab.inpg.fr

**Résumé** — De plus en plus, les machines discoïdes à aimants permanents apparaissent dans la littérature scientifique. Leurs bons couples massiques rendent leur étude attractive. Le but de ce papier est d'étudier par un modèle numérique une machine discoïde double entrefer à aimants permanents enterrés constituée de 8 pôles et 72 encoches. Après avoir exposé le problème numérique réalisé sous FLUX, deux essais (l'un avec champ statorique fixe et l'autre avec champ statorique tournant) permettent de voir les performances (en particulier le couple électromagnétique) de cette machine discoïde.

## I. CONTEXTE DE L'ETUDE

Apparues après les machines synchrones à flux radial dans les années 80, les machines synchrones discoïdes à aimants permanents [1] [2] [3] ont été pensées pour réduire l'encombrement de la motorisation des éoliennes et véhicules électriques en particulier. Ainsi, les puissances massiques et couples massiques ont pu être avantageusement augmentés. La plupart du temps muni d'aimants permanents en surface au rotor, nous nous proposons d'étudier dans cet article une machine discoïde double entrefer avec aimants permanents enterrés au rotor (Fig.1). La présence des deux entrefers permet de doubler le couple de la machine. L'enterrement des aimants permanents au rotor permet de supprimer le problème de décollement à haute vitesse et d'utiliser ceux-ci en concentration de flux. L'étude sera basée sur un modèle trois dimensions par éléments finis développé sous le logiciel FLUX.

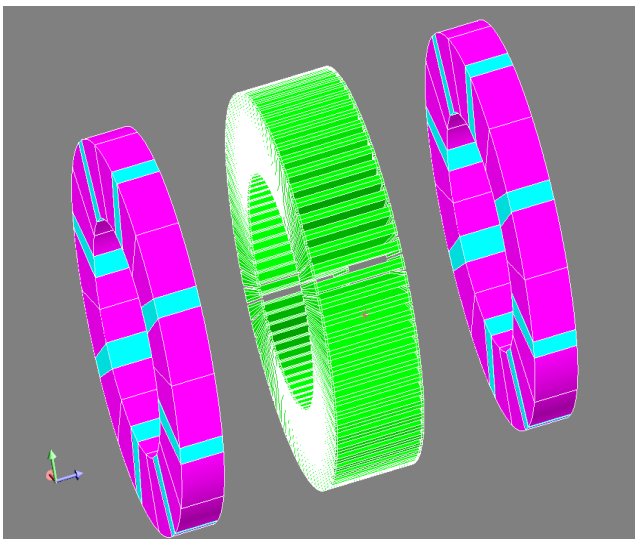


Figure.1 : Machine discoïde à double entrefer

## II. MODELISATION 3D PAR ELEMENTS FINIS

### A. Modèle

Pour notre étude numérique, nous avons sélectionné une machine discoïde composée de 8 pôles et 72 encoches. Les aimants enterrés au rotor permettent de les utiliser en concentration de flux.

L'alimentation statorique est réalisée grâce à un bobinage réparti.

Pour rendre le problème plus polyvalent, toutes les parties de la machine ont été paramétrées de telle façon à pouvoir faire varier la géométrie de la machine sans remettre en cause le maillage et la physique.

Outre la définition du problème en 3 dimensions, les matériaux de type non linéaire (tôle en matériau ferromagnétique pour les pièces polaires et les dents et Néodyme Fer Bore pour les aimants permanents) alourdissent le temps de calcul. C'est pourquoi, pour diminuer ces temps de calcul sous FLUX, la présence de symétries (symétrie par rapport au plan XY) et de périodicité anticyclique (autour de l'axe Z) ont permis de ne travailler seulement sur un seizième de la machine (Fig.2).

La principale difficulté de la modélisation 3 dimensions de ce problème concerne le maillage. En effet, au vue des formes très opposées (mince pour les dents, imposantes pour les pièces polaires) des différentes pièces du problème, le maillage ne peut pas être global. Un maillage local et personnalisé a été réalisé. Ainsi, toutes les parties du problème ont une influence cohérente les unes des autres.

L'alimentation du stator est modélisée par des bobines non maillées parcourues par un courant triphasé I, par conséquent l'évaluation des pertes Joule ne peut pas être prise en compte dans ce problème.

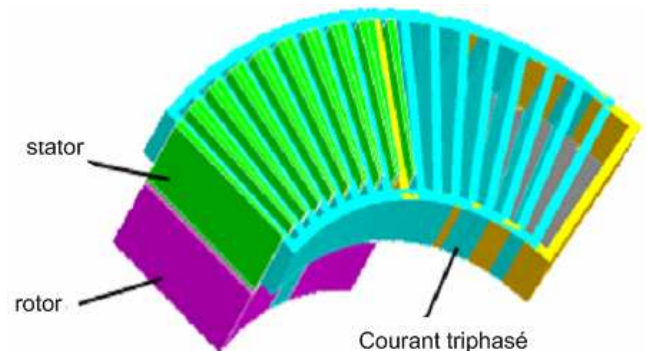


Figure.2 : partie de la machine résolue sous FLUX

## B. Résultats

Deux simulations ont été effectuées. Les premiers résultats sont obtenus pour une induction rémanente de l'aimant permanent de 1.02 T et une perméabilité relative de 1.05. Les dents du stator et les pièces polaires sont de même matériau avec une perméabilité relative de 4800 et une saturation de 2 T. Les bobines non maillées sont parcourues par un courant sinusoïdal dont la valeur crête est de 550 A. Le champ tournant statorique reste fixe. En revanche, le rotor se déplace d'un pas de  $2.25^\circ$ . Cette simulation est appelée une simulation pas à pas dans le temps. Le couple électromagnétique calculé dans ces conditions est montré en Fig.3.

Comme la machine est alimentée par des courants triphasés équilibrés et que le champ tournant du stator est fixe, la valeur moyenne du couple est nulle. La valeur du couple maximale est de 220 Nm et la valeur minimale est de -210 Nm. La courbe est périodique à tendance sinusoïdale. En développant cette courbe en série de Fourier, nous remarquons la présence non négligeable du second harmonique. La prépondérance de cette harmonique est la conséquence de la saturation des dents du stator.

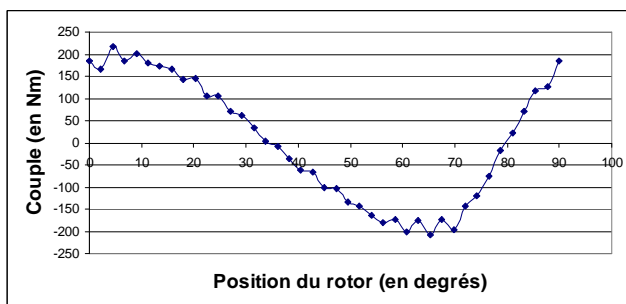


Figure.3: Evolution du couple pour une simulation pas à pas dans le temps

En effet, la saturation dans les dents du stator est très importante (Fig.4). Le flux peut atteindre 1.8T dans certaines dents. Cette saturation élevée peut nuire au bon fonctionnement de la machine et diminuer les performances de celle-ci. Pour remédier à ce problème, nous devons redimensionner les dents du stator (augmenter la largeur de la dent située au niveau du rayon intérieur) et diminuer la largeur de l'aimant pour réduire ainsi l'induction dans l'entrefer.

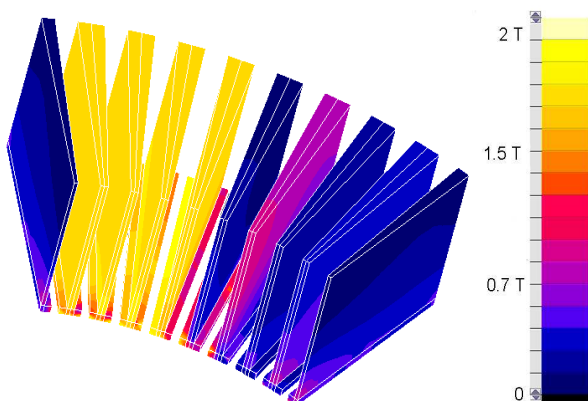


Figure.4 : Distribution du flux dans les dents du stator

La deuxième simulation est réalisée pour une induction rémanente de l'aimant permanent de 1.02T, une perméabilité relative de 1.05 T et une valeur maximale de courant de 275A. Les résultats sont obtenus pour un champ statorique tournant et un champ rotorique tournant également. Champ statorique et champ rotorique sont bien sûr dépendants. Cette simulation décrit au mieux le fonctionnement normal d'une machine.

La figure 5 montre l'évolution du couple. La valeur maximale de ce couple est de 220 Nm et la valeur minimale est de 194 Nm. Il y a donc une oscillation de ce couple de 26 Nm. On peut donc en déduire que l'ondulation de couple est de 13 Nm soit 6% du couple moyen.

Ce couple oscille environ autour de la valeur moyenne 205 Nm.

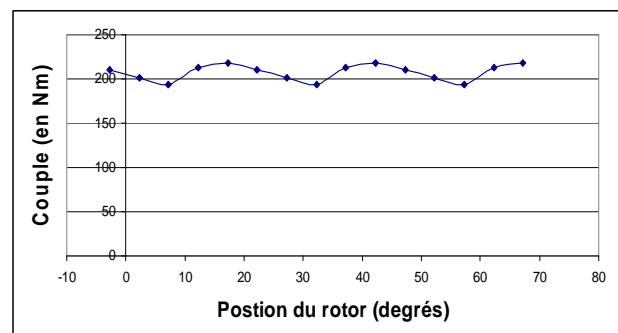


Figure.5: Evolution du couple pour un fonctionnement normal de la machine

En terme de performances électriques, ces deux essais montrent que la machine discoïde obtient de bon couple électromagnétique semblable aux machines standard (en particulier les machines à flux radial) pour un encombrement moindre. De plus, l'ondulation de couple inférieur à 10% est satisfaisante pour des applications type industrielles.

## III. CONCLUSION

Les premiers résultats concernant la machine discoïde double entrefer à aimants permanents confirment nos attentes. La machine obtient un bon couple électromagnétique et l'ondulation de couple est très satisfaisante. Du fait d'une saturation trop importante localisé dans les dents aux abords du rayon intérieur, des modifications doivent être apportées sur les dimensions de l'aimant pour diminuer l'induction dans l'entrefer et sur les dimensions des dents. Le paramétrage complet de cette machine nous permettra à l'avenir d'étudier de nouvelles structures.

## REFERENCES

- [1] M. Aydin, S Huang, T.A. Lipo, "Axial Flux Permanent Magnet Disc Machines: a review", Proc. of EPE PEMC'04, 2004.
- [2] T.Heikkilä, "Synchronous Motor for Industrial Inverter Applications - Analysis and Design", Thesis of Doctorat of University of Lappeenranta, 2002.
- [3] F.Marignetti, G.Tomassi, P.Cancelliere, V.Delli Colli, R.DiStefano, M.Scarano, "Electromagnetic and Mechanical Design of a Fractional-Slot-Windings Axial-Flux PM Synchronous Machine with Soft Magnetic Compound Stator", IAS'06, 2006.