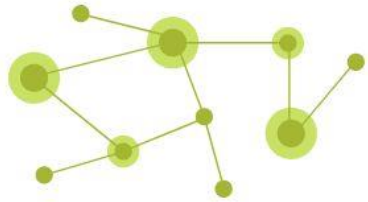


ÉNERGIE ÉLECTRIQUE 4.0



Modélisation numérique et expérimentation de deux prototypes de MRV à flux axial à tôles GO

Comité de suivi EE4.0 – axe 2
12 février 2024



➤ **Structure pour la traction :**

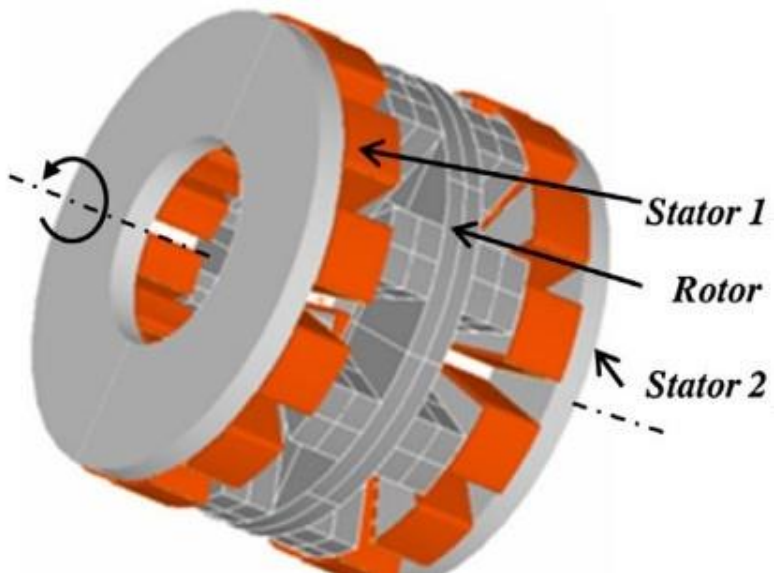
- 1) Machine à flux **axial** (*peu conventionnelle*)
- 2) Utilisation des **tôles GO** (*haute perméabilité et faibles pertes*)

➤ **Verrous majeurs :**

- 1) Utiliser un acier GO performant dans une machine tournante
 - > Caractère très anisotrope de l'acier GO
 - > Exploiter l'acier de manière optimale
- 2) Modéliser en 3D la structure (anisotropie et non-linéarité).
- 3) Réaliser la MRV à flux axial (**MRVFA**) à acier GO → verrou technologique.

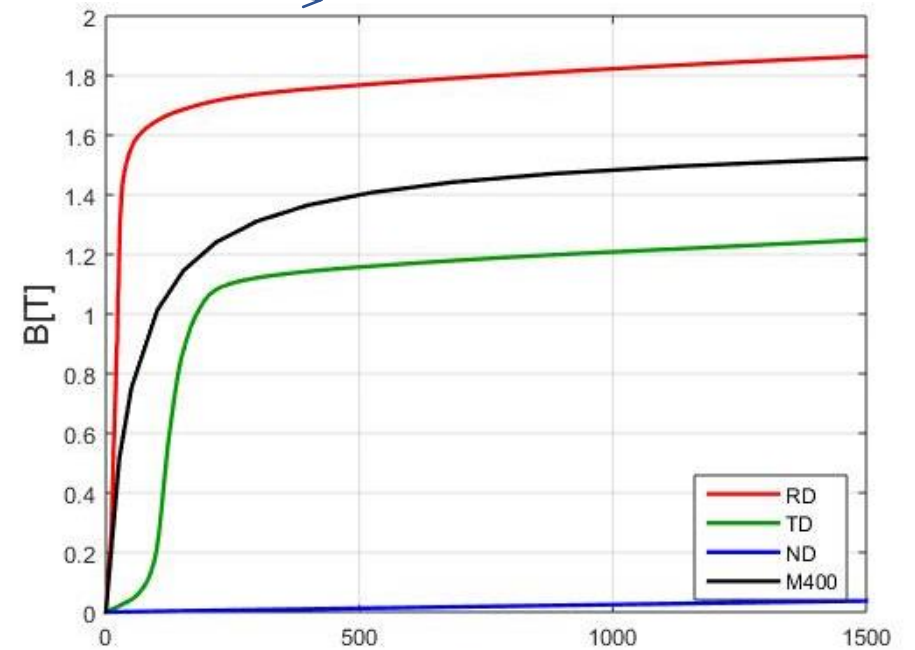
Machine à réluctance variable :

à flux axial à double stator ...

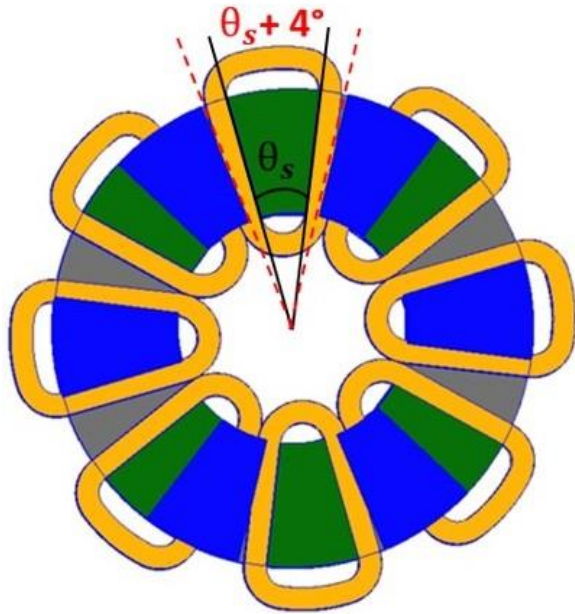


et

à tôles
à grains orientés

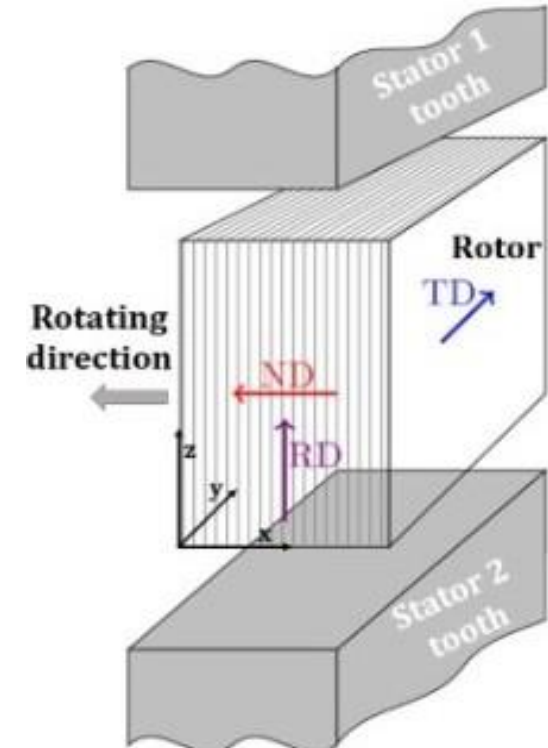
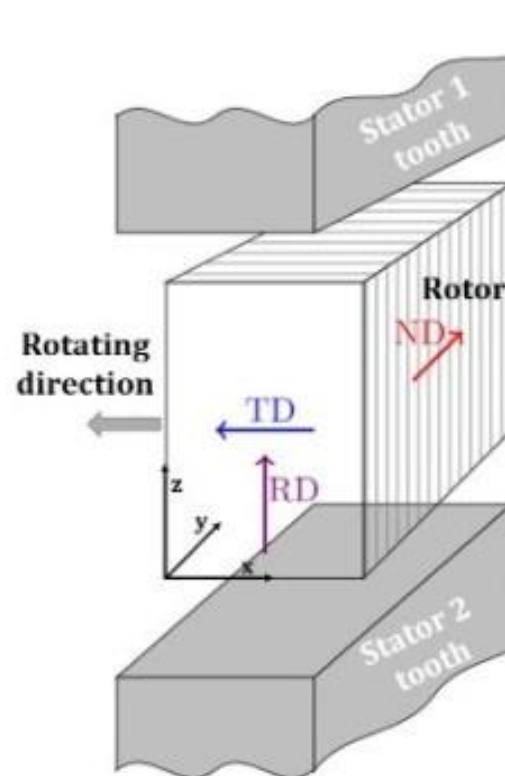


Comparaison B(H) tôles NO (M400) et GO



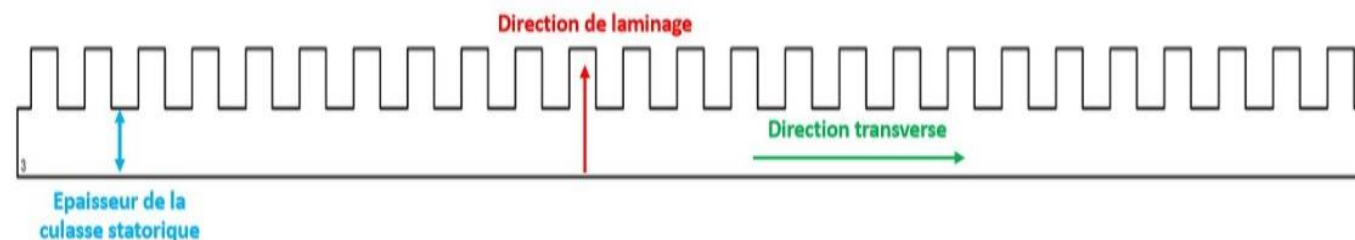
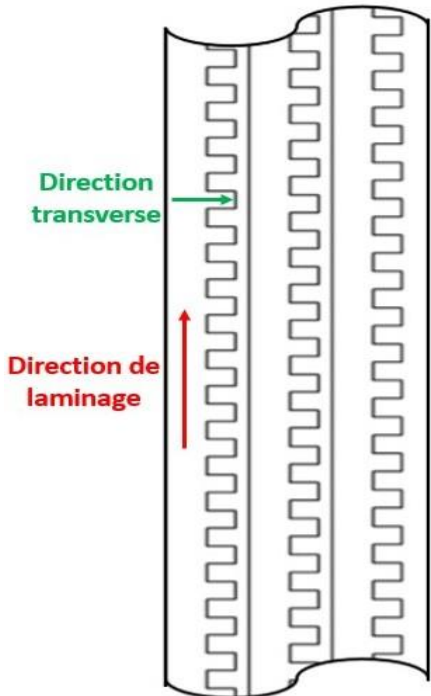
Objectif :

Dimensionner une machine à flux axial à tôles GO et quantifier ses performances.



- Au stator :
 - Intégration des tôles GO plus complexe (dents + culasse)
 - Changement de trajet au niveau de la jonction

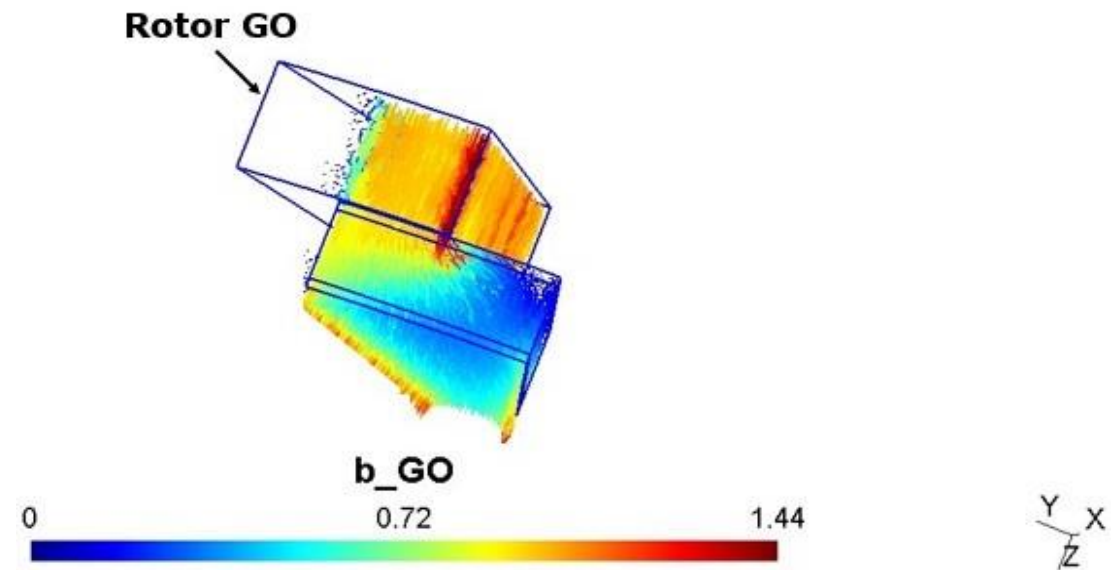
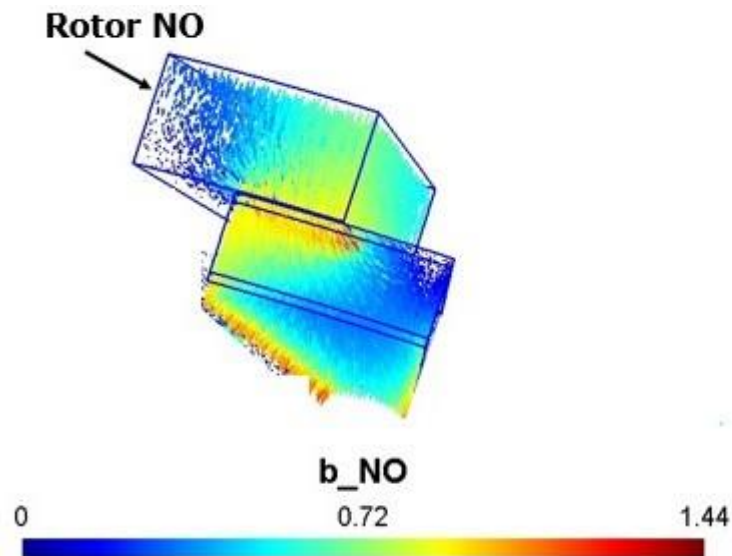
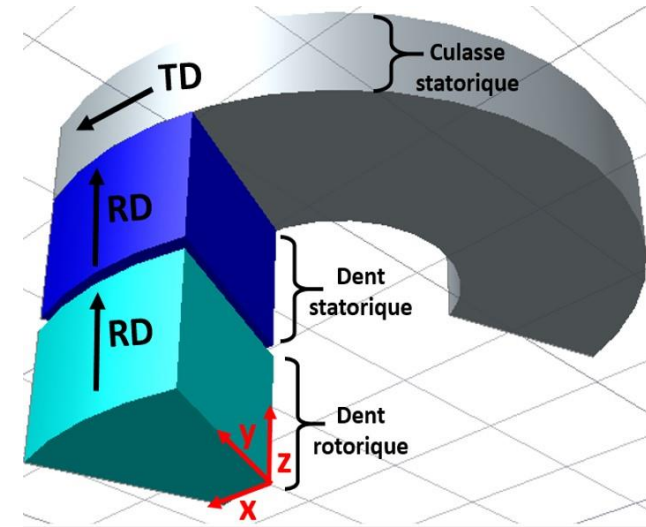
- Solution de **segmentation** au stator :
 - Dents en acier GO et culasse en NO ou culasse en GO enroulée
 - Quelques inconvénients :
 - Entrefers indésirables
 - Faisabilité technologique (différents matériaux / perméabilités)



➤ Modèle **3D** de la MRVFA GetDP:

- Adaptation du maillage => **un compromis** entre temps et précision des calculs.
- **Adaptation des paramètres** pour la méthode itérative.
- Problèmes de **convergence** lorsque le GO est introduit dans tout le circuit magnétique

➤ Effet de l'**anisotropie** :



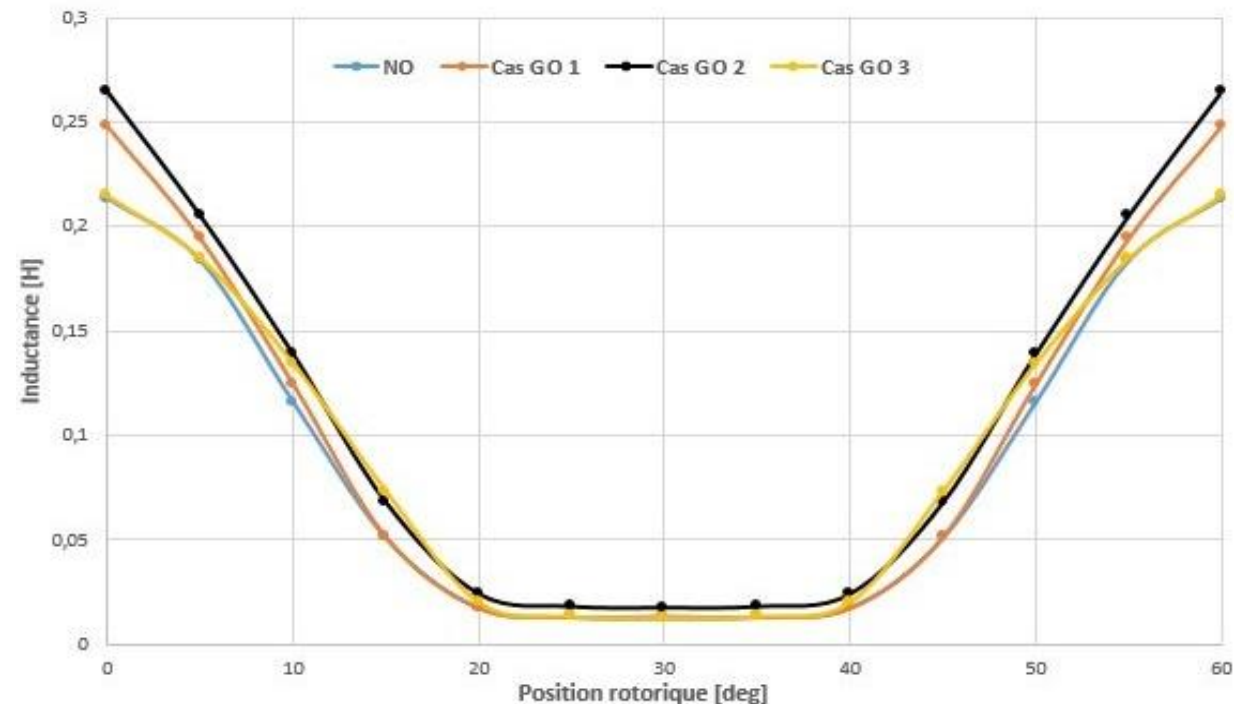
- Comparaison de l'inductance (GO au rotor) :
 - Pente légèrement **plus raide**
 - **+3,25%** du C_{moyen}

➤ **Simulations** pour plusieurs cas :

- NO
- **GO 1** → Rotor GO, dents statoriques NO et culasse μ_{∞}
- **GO 2** → Rotor et dents statoriques GO et culasse μ_m
- **GO 3** → Rotor GO et tout le stator NO

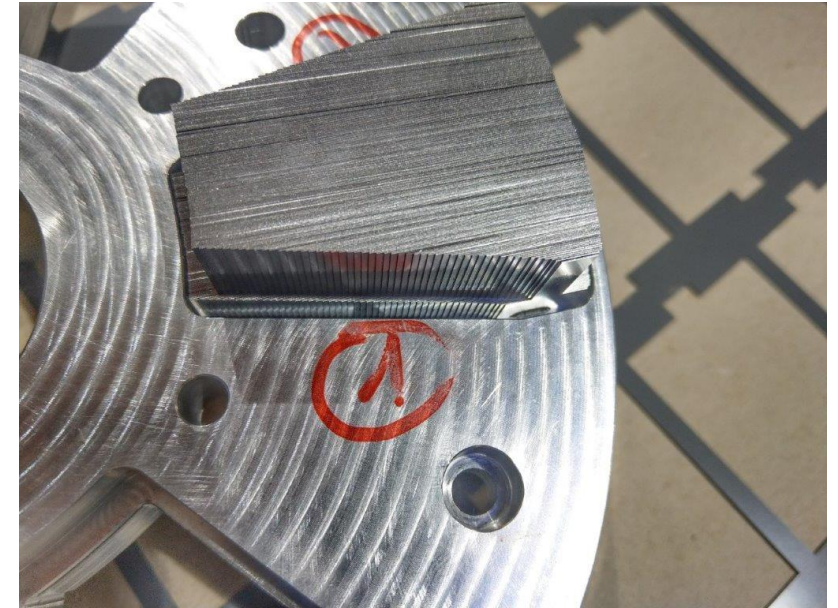
➤ **Résultats** des simulations :

- **16%** et **24%** d'augmentation de L_{max}



➤ Au rotor :

- Dents encapsulées dans une structure amagnétique
- Une partie des tôles a une longueur variable (profil trapézoïdal)
- Morceaux de tôles insérées dans un plateau d'aluminium anodisé

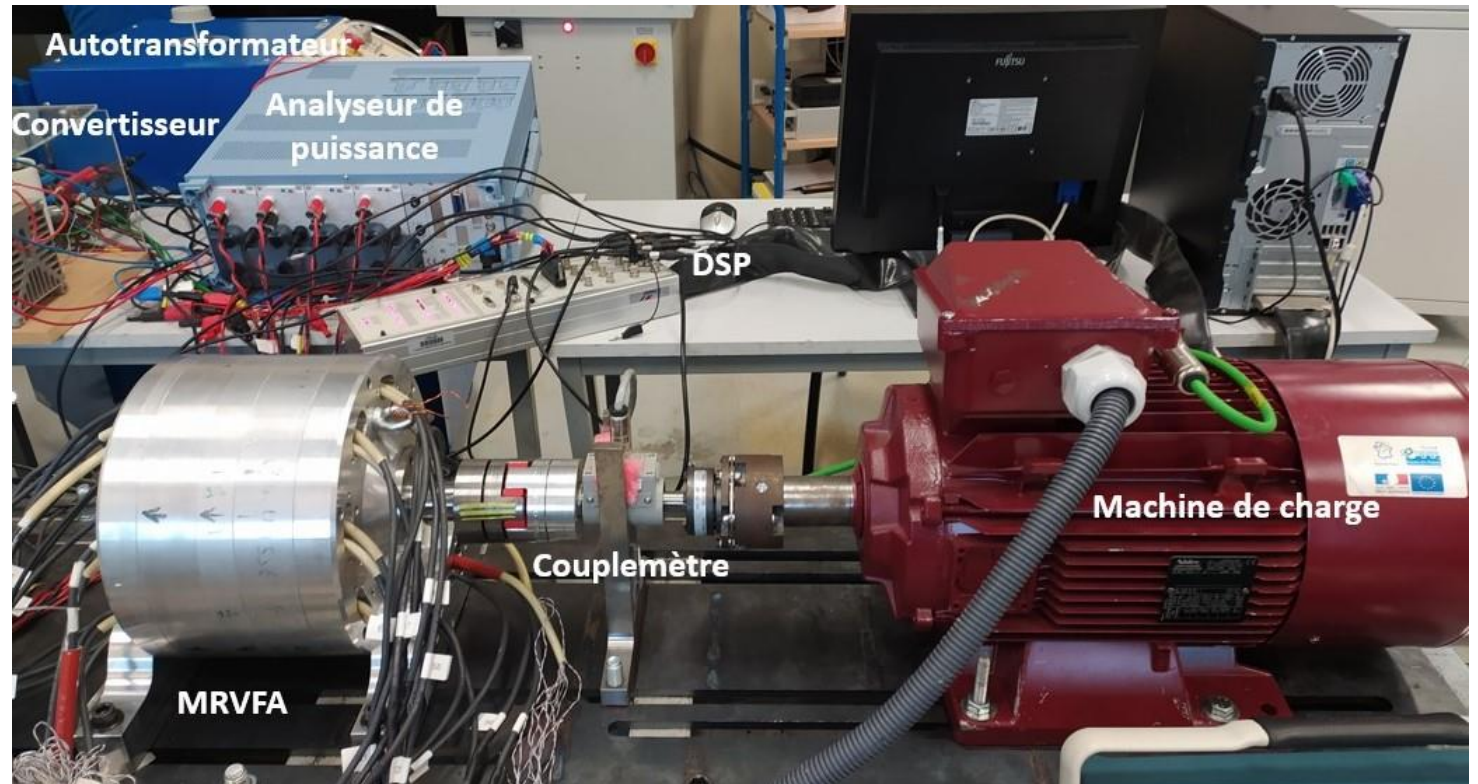


➤ Au stator :

- Bandelettes découpées dans la largeur de la bande
- Bandelettes enroulées de manière à créer des dents trapézoïdales

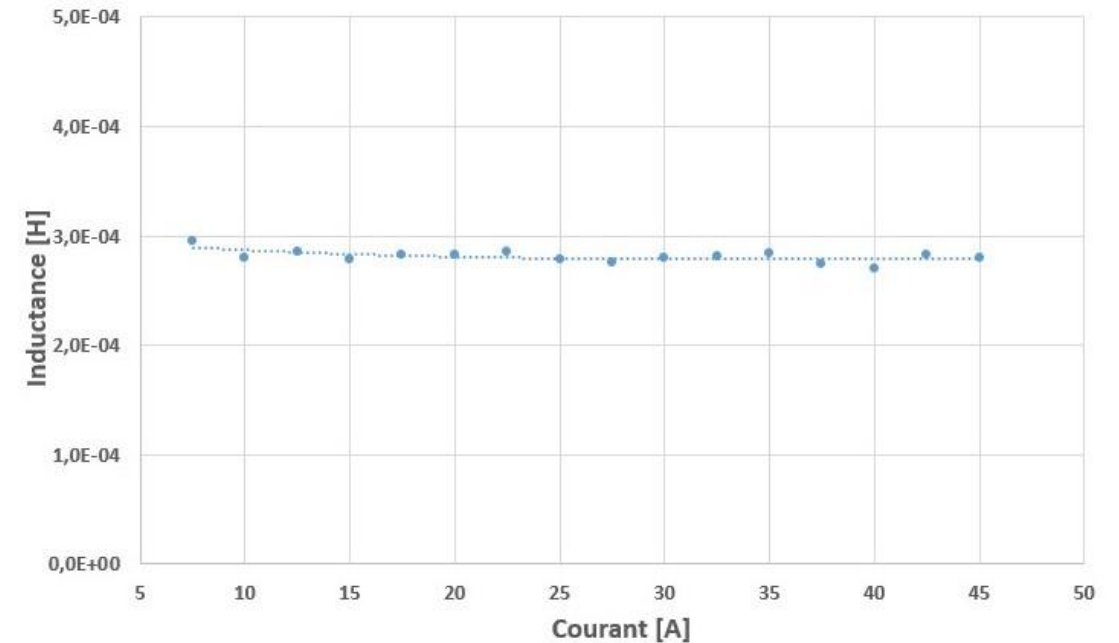
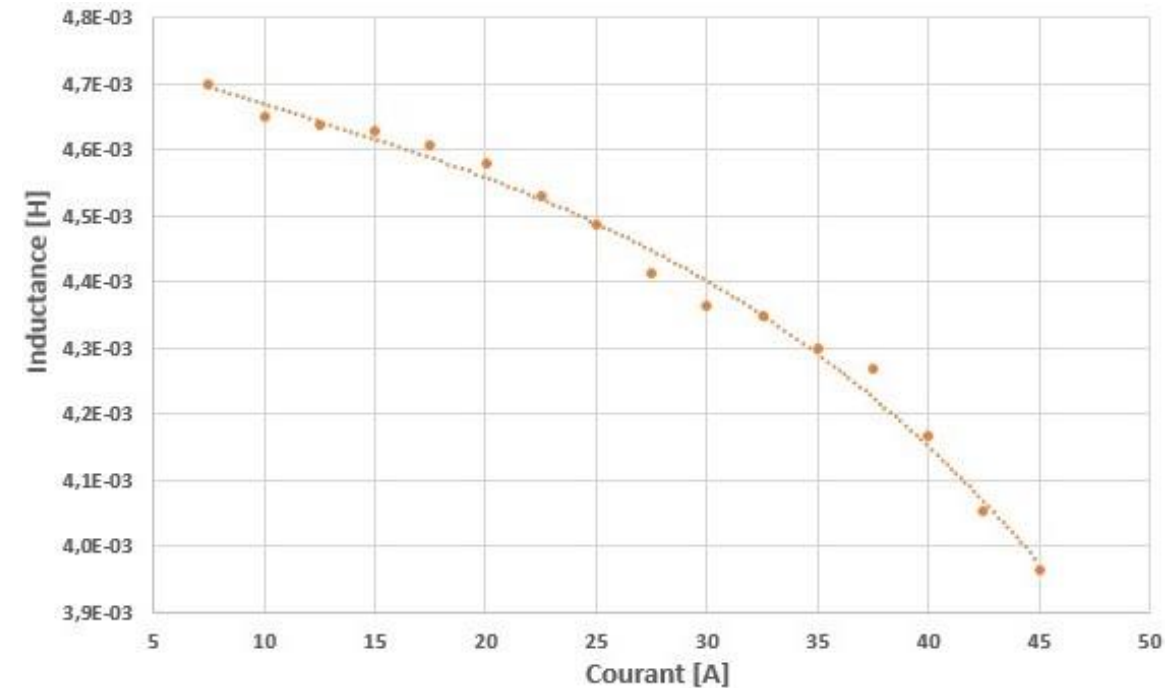
Thèse de R. AYDOUN : Prototype réalisé

- MRVFA 8/6 à tôles GO
- MSAP (machine de charge) (4500 tr/min)
- Convertisseur de puissance à IGBT (4 ponts en H)
- Autotransformateur et analyseur de puissance
- Couplemètre
- Moyens de mesure (thermocouples, capteurs de courant, ...)



- Evolution de l'inductance **en conjonction** en fonction du courant :
 - Effet de la saturation
 - Diminution de 16% à 45A

- Evolution de l'inductance **en opposition** en fonction du courant :
 - Peu de changement





2 objectifs :

- > Caractérisation numérique plus large
- > Caractérisation expérimentale des 2 prototypes réalisés



Modélisation numérique en 3D des deux prototypes :

- > Avec code_Carmel

- > Prise en compte de l'anisotropie du matériau et de son caractère non linéaire :
 - Caractérisation des inductances à différentes valeurs du courant
 - Essais à vide à différentes vitesses
 - Essais en charge à différentes vitesses et charges
 - Quantification et localisation des pertes fer des deux machines



Caractérisation des 2 prototypes de MRV à flux axial construits :

- Caractérisation des inductances à différentes valeurs du courant
- Essais à vide à différentes vitesses
- Essais en charge à différentes vitesses et charges
- Quantification du rendement des deux machines
- Comparaison des performances des deux structures
- Comparaison des mesures et des résultats de simulation



Comparaison des mesures et des résultats de simulation

Merci !

QUESTIONS ?