



11 juillet 2018 – comité de suivi

Prototype virtuel: Modélisations Numériques



1. Les objectifs de la programmation 2017

Liste des objectifs

- Réalisation d'un prototype Intégré MI1-CE2I
- Modèle réduit Electromagnétique/Thermique pour Commande en défaut
- Commande sans capteur de position pour machine polyphasée

Liste des livrables

- Plans et caractérisation prototype MI1-CE2I pour fabrication 😊
- Modèles Réduits (codes) pour élaboration de lois de Commande 😊
- Comparaison lois de Commande en défaut et en mode normal 😊
- Lois de commande pour contrôle sans capteur de position 😞

2. Derniers résultats majeurs

- **Prototype MI1-CE2I**
 - ✓ Définition/caractérisation Prototype MI1-CE2I
 - ✓ Cahier des charges pour fabrication prototype/appel marché
- **Modèles Numériques/Cosimulation**
 - ✓ Electromagnétique/Thermique (→tache 2-5)
 - ✓ Electromagnétique/Commande

Proto « MHYGALE »
Premier prétendant pour
intégration

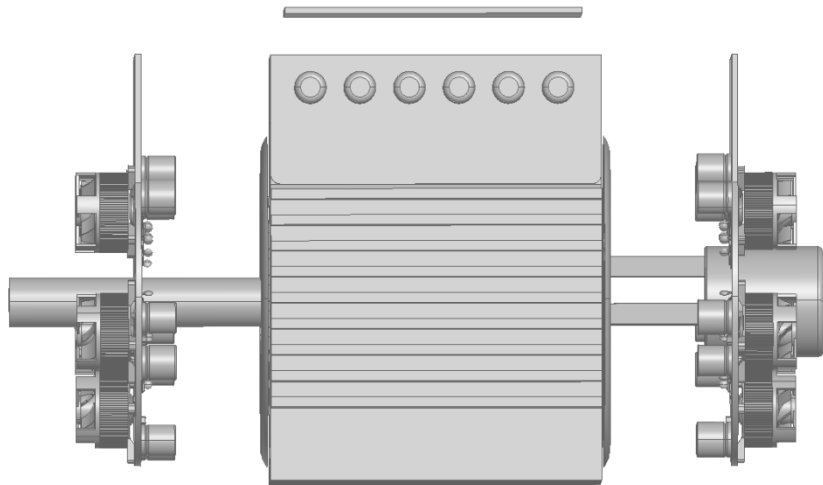
- 5 phases
- Bobinages concentriques dentaires
- Fortes Dissymétries thermiques
- ✓ Bornier de connexion
- ✓ Connexion entre bobines
- Modèles thermiques trop grossiers pour Fct déséquilibré
- Coût intrinsèque SmCo5



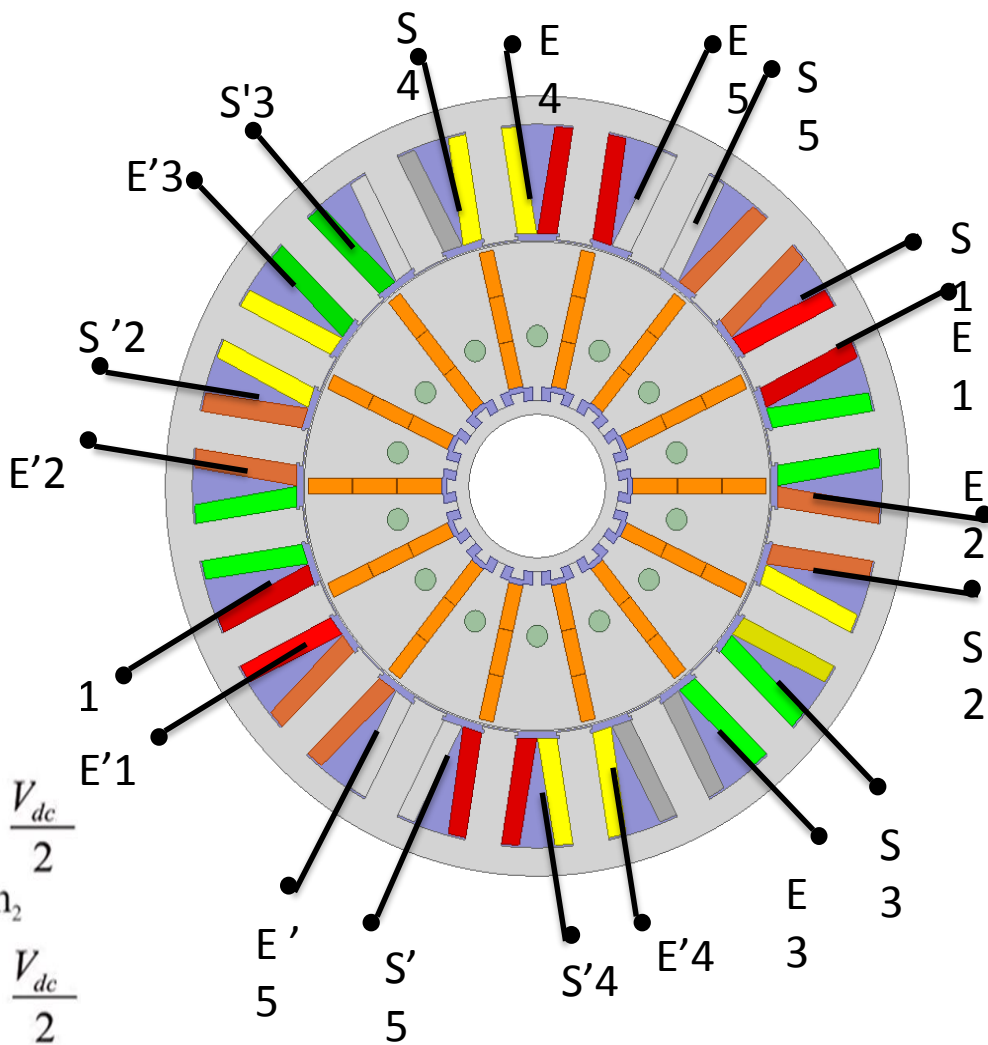
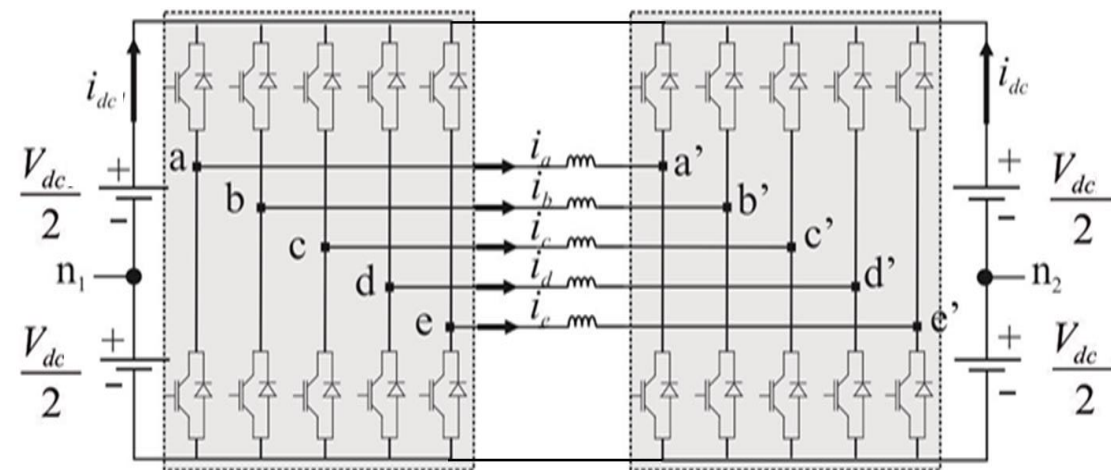
Amélioration
pour Intégration
Prototype
MI1-CE2I



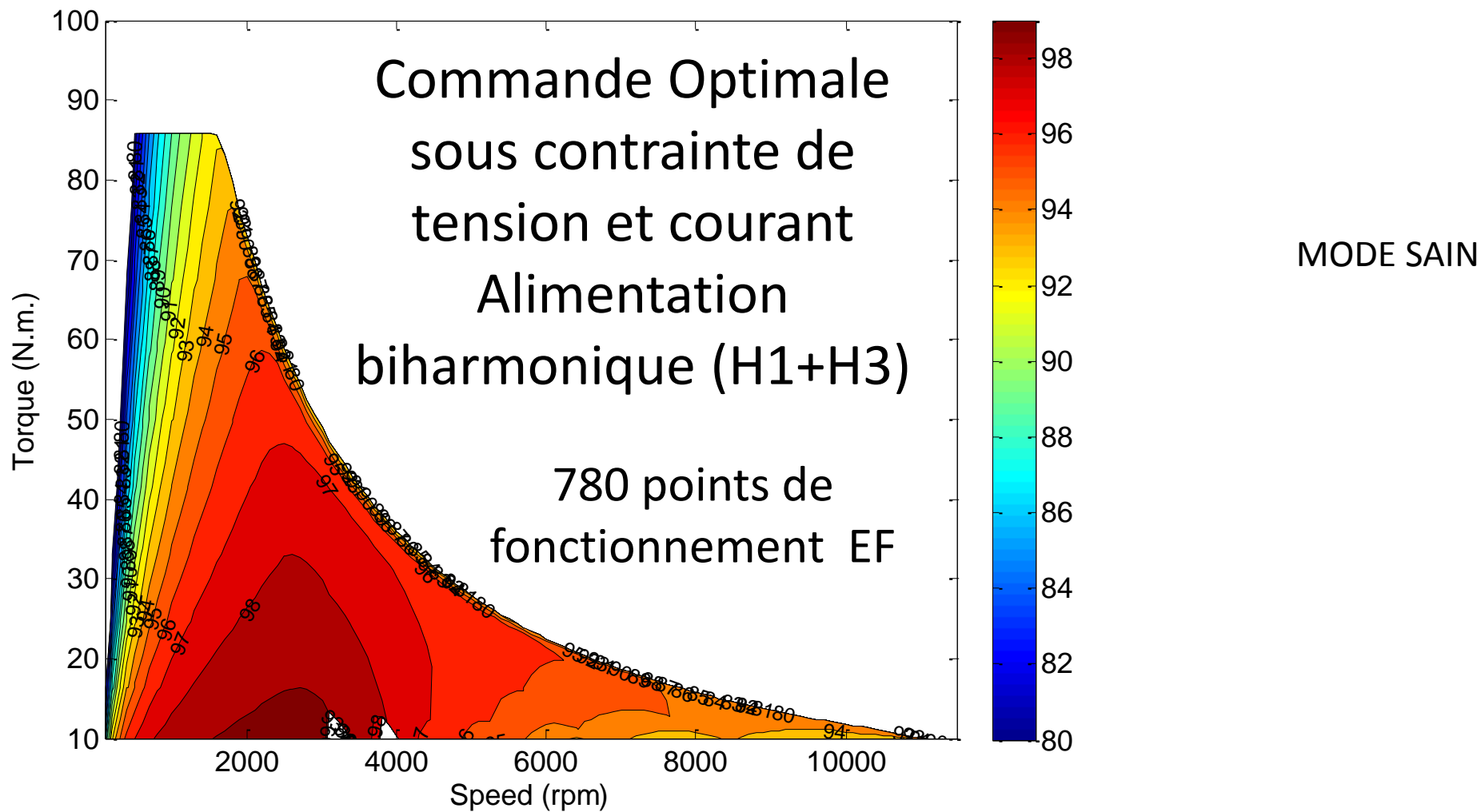
- ✓ 5 à 10, 20 phases: nombre de bras/refroidissement
- ✓ Supprimer connexions interne entre bobines
- ✓ SmCo → NdFeB: - coût/+ puissance mais plus sensible a température/démagnétisation
- ✓ Amélioration magnétique : +25% couple
- ✓ Refroidissement plus efficace (Caloduc, symétrie)
- ✓ Meilleure prédiction thermique : modèle local nodal
- ✓ Meilleure prédiction magnétique: cosimulation



Proto Mhygale avec « intégration »



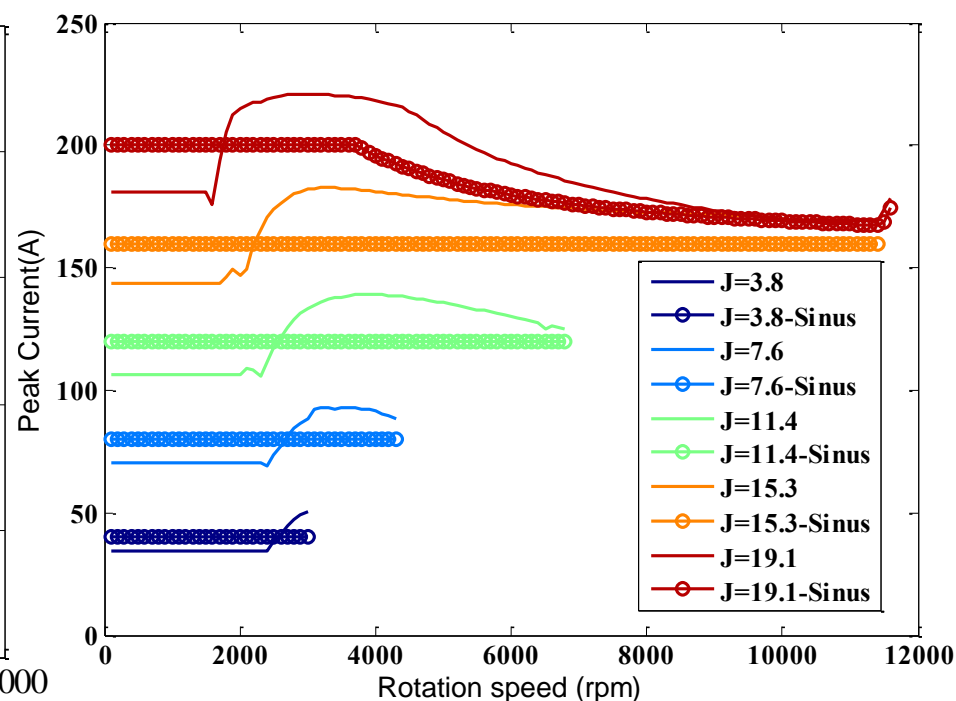
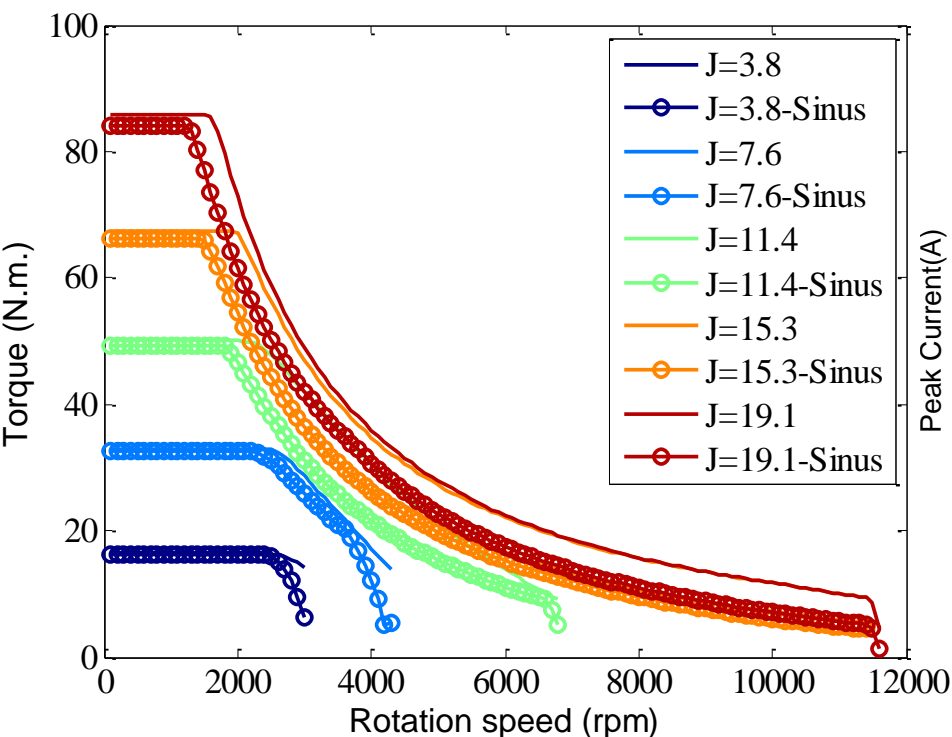
Coupe 2D de la machine MI1-CE2I.



Estimation de la caractéristique Couple/Vitesse/Rendement...sans pertes Fer

J densite de courant ... de 4 (permanent) à 20 (impulsionnel)

MODE SAIN



→ Meilleure plage de vitesse avec l'injection de l'harmonique 3

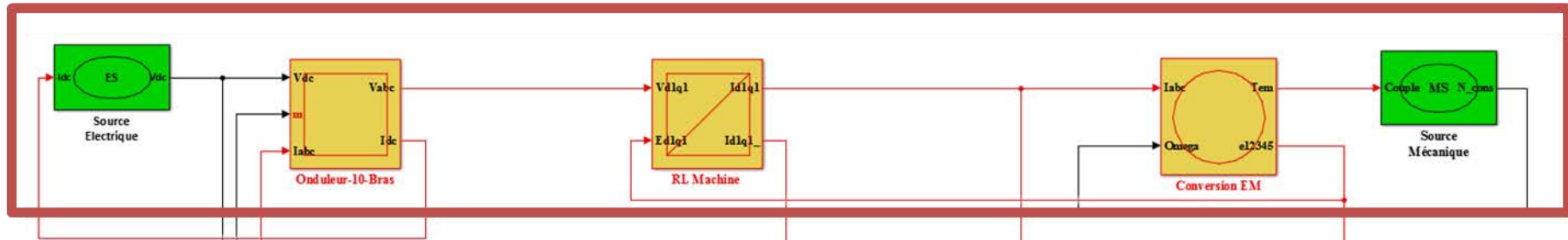
→ Valeur pic du courant plus important à haute vitesse par rapport à une alimentation sinusoïdale

Contribution marginale dans le couple à basse vitesse (<2.5 %)

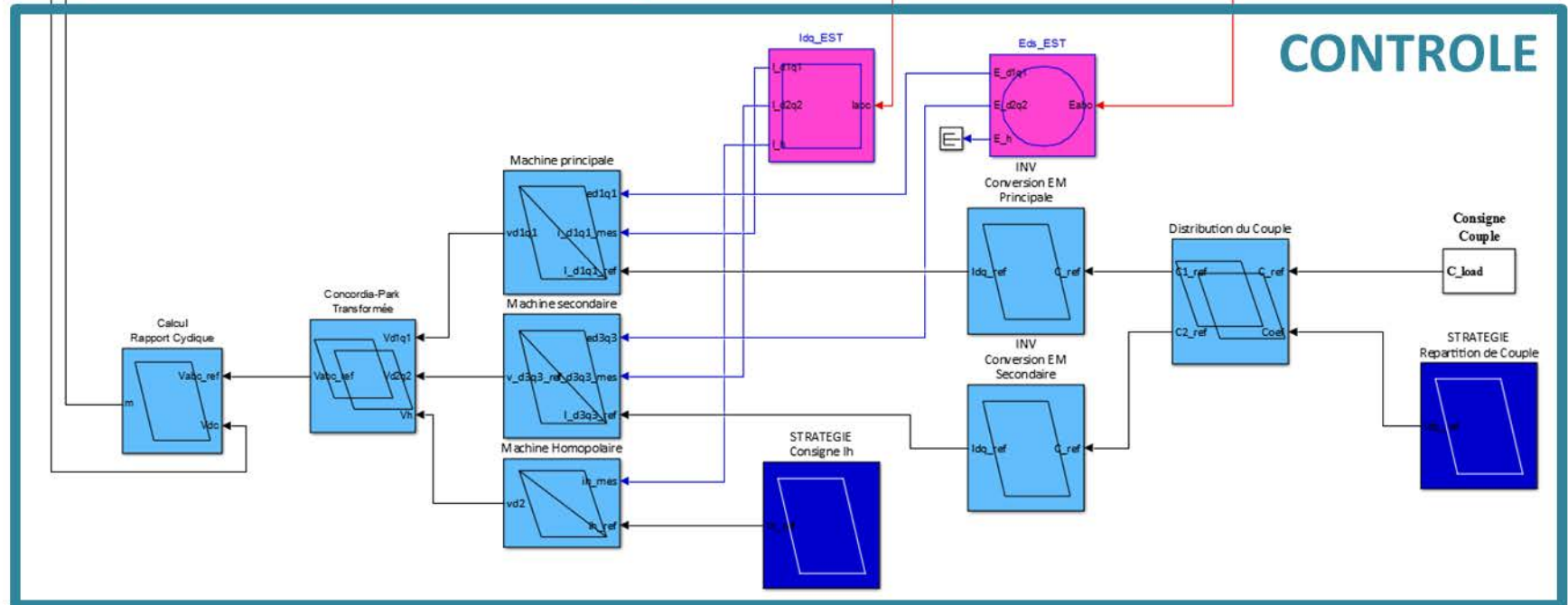
A haute vitesse une meilleure performance est obtenue en injectant cet harmonique.

Modèle et Contrôle du Système en REM

MODELE

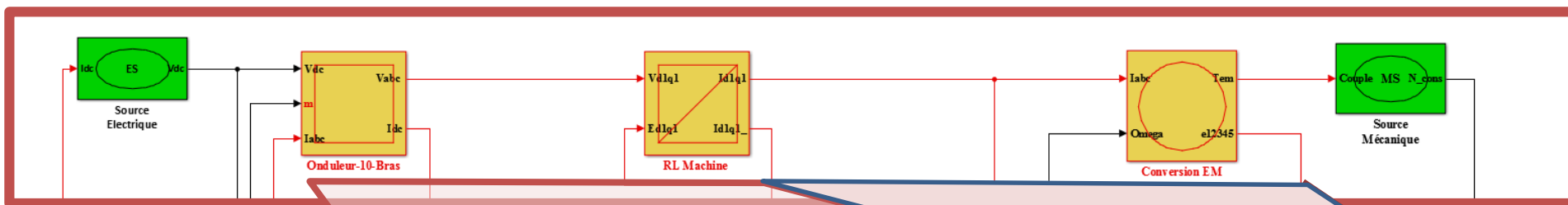


CONTROLE

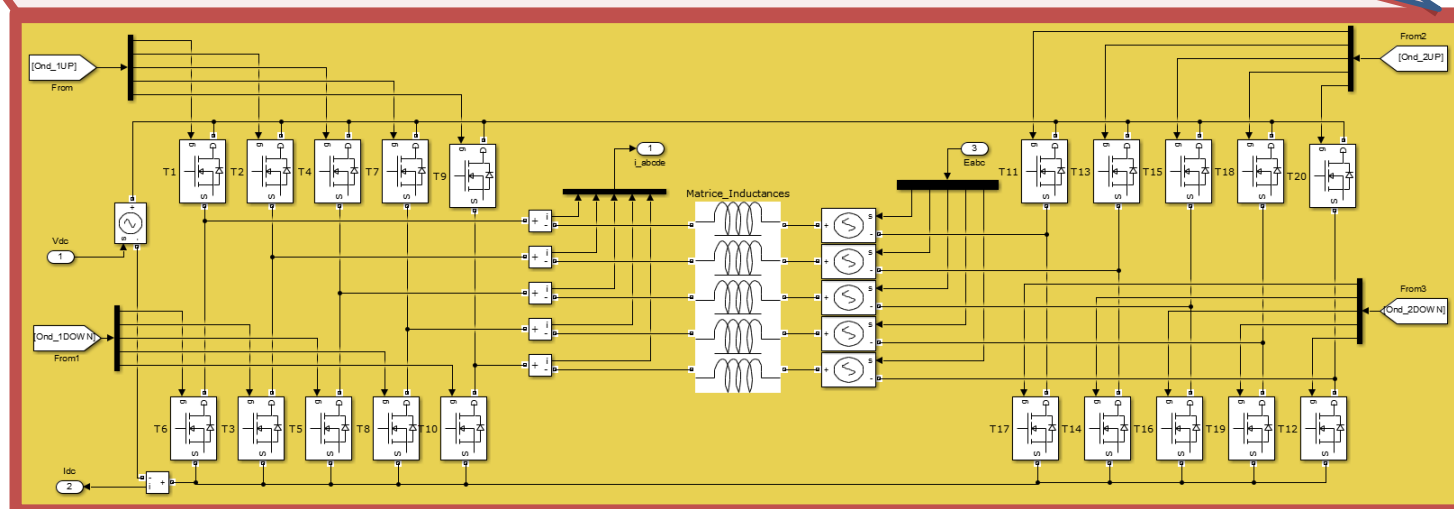


Modèle en MatLab SimuLink

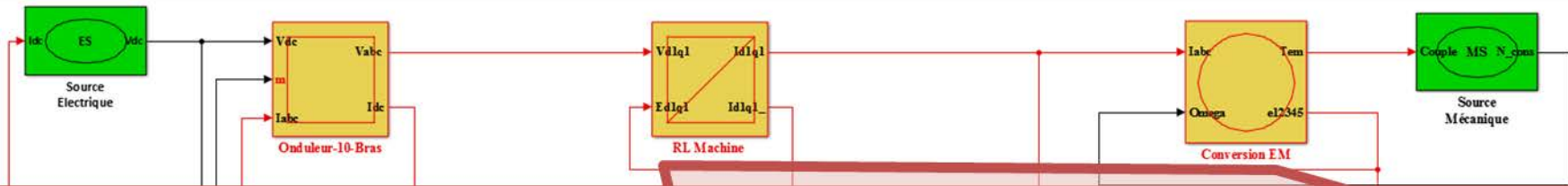
MODELE



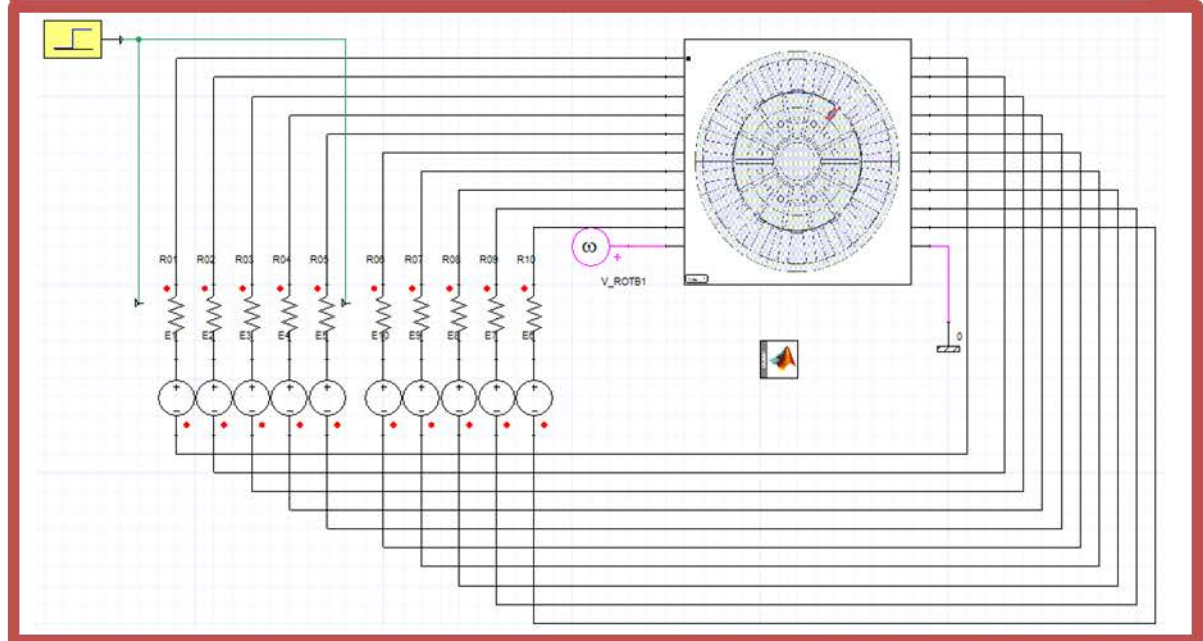
- Onduleur:
 - Modèle SIMSCAPE;
 - Commutation des transistors;
- Circuit électrique de la machine:
 - Modèle des inductance et ses mutuelles par représentation d'états;
- Conversion électromécanique:
 - Calcul analytique



Modèle en Co-simulation MatLab SimuLink X Ansys Maxwell **MODELE**



- Onduleur:
 - Linéaire;
- Circuit électrique de la machine et Conversion électromécanique:
 - Modèle en éléments finis;

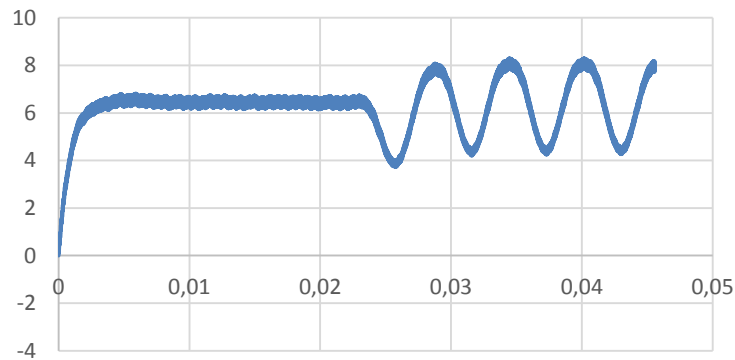


MatLab SimuLink X Ansys Maxwell

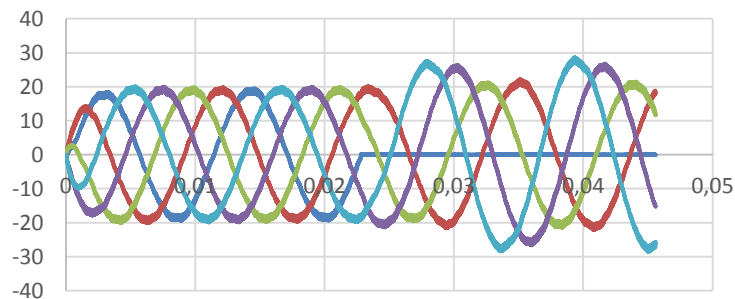
- Résultats électrique et mécanique:

MatLab SimuLink

TORQUE (Nm) x Temps (s)



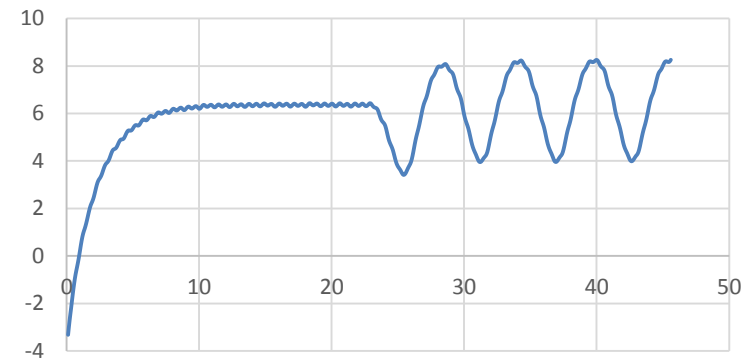
Courants (A) x Temps (ms)



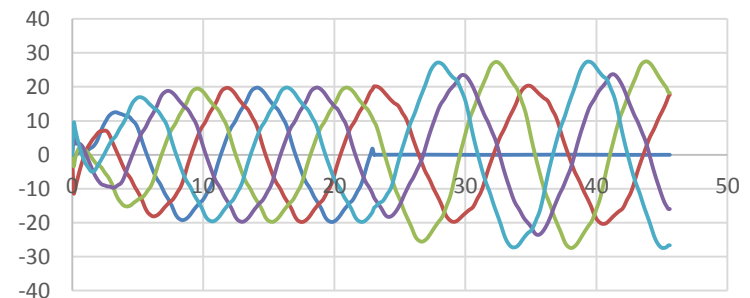
— i1 — i2 — i3 — i4 — i5

Co-Simulation

TORQUE (Nm) x Temps (ms)



Courants (A) x Temps (ms)



— Ia (A) — Ib (A) — Ic (A) — Id (A) — Ie (A)

MatLab SimuLink X Eléments Finis

	MatLab	Ansys Maxwell	Co-simulation
Temps	Rapide (<1 min)	Très lent (2-3 heures)	Très lent (2-3 heures)
Comportement non-linéaire du transistor (Commutation)		(Possible, mais trop long)	(Possible, mais trop long)
Comportement non linéaire de la machine (Géométrie de la machine et saturation électromagnétique)			
Densité de flux magnétique (B) et Champs magnétique (A)			
Contrôle de couple ou vitesse			
Mode dégradé			
Contrôle tolérant aux pannes			

Démagnétisation locale?

- **Causes:**
 - Température;
 - Surintensité:
- **Réversible**
- **Irréversible**

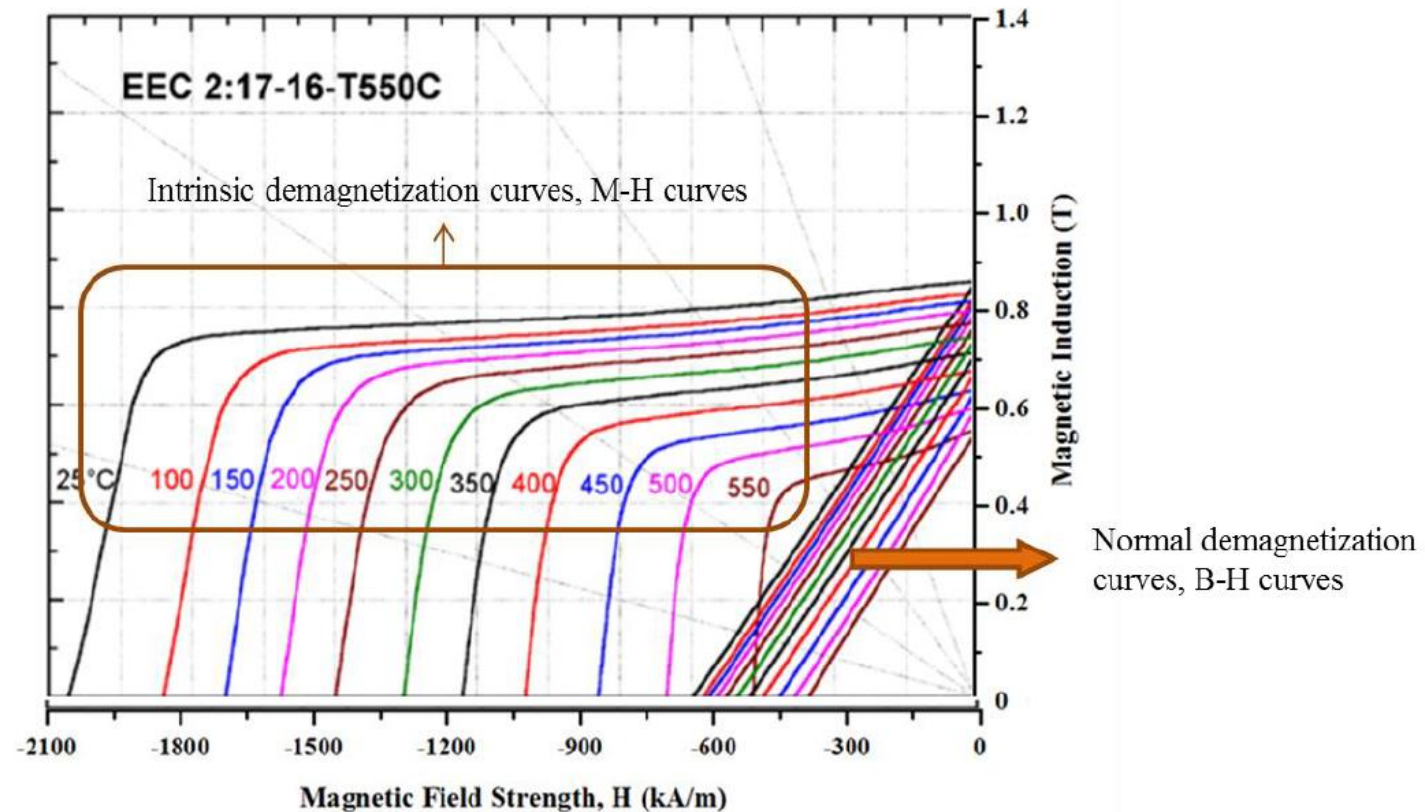


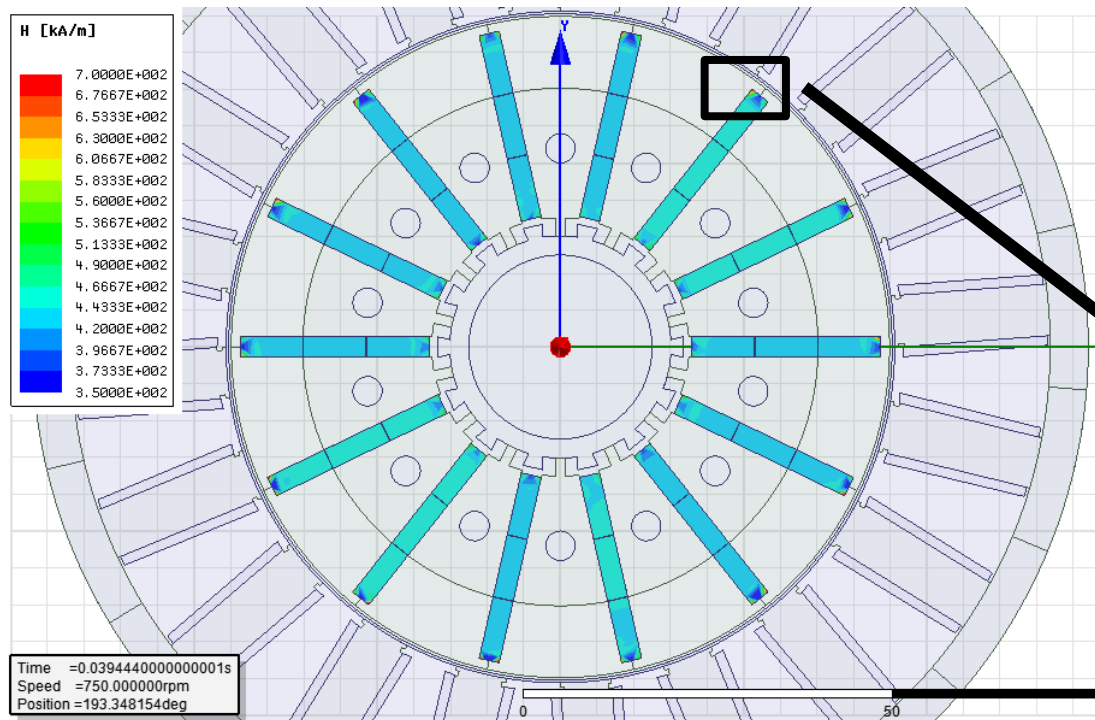
Fig. 2.9. Typical demagnetization curves at different temperatures of EEC 16-T550 high temperature magnets [38]

Démagnétisation

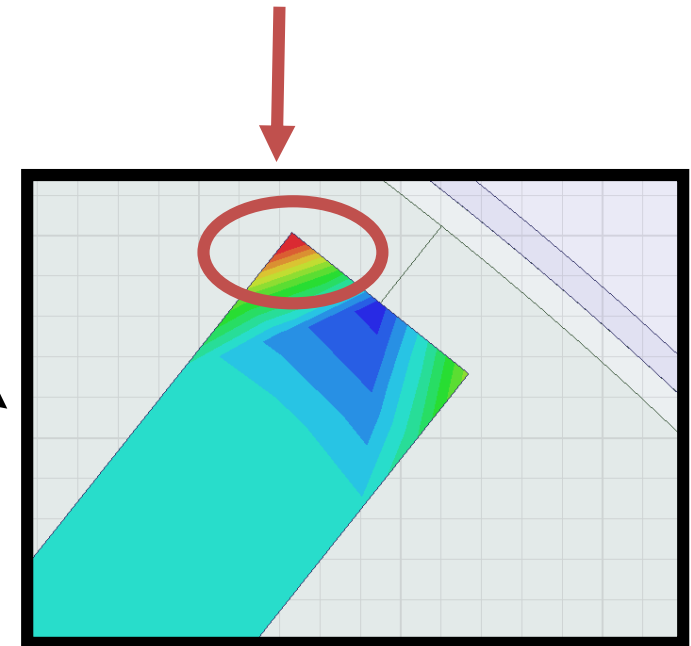
	Sm2Co17	NdFeBo	
Température de Curie	800°C	330°C	
Température Limite d' utilisation	350°C	130°C	
BHmax	220-240 kJ/m3	287 – 326 kJ/m3	
Br (20°C)	1,08 – 1,10 T	1,22 – 1,30 T	
Hc (20°C)	788 – 835 kA/m	907 – 987 kA/m	
Hci (20°C)	≥1990 kA/m	≥1592 kA/m	Sm2Co17 moins sensibles aux hautes température
Br - α	-0,035%/°C	-0,11%/°C	
Hc - β	-0,2%/°C	-0,53%/°C	
Prix	€€€€	€€€	Sm2Co17 plus cher

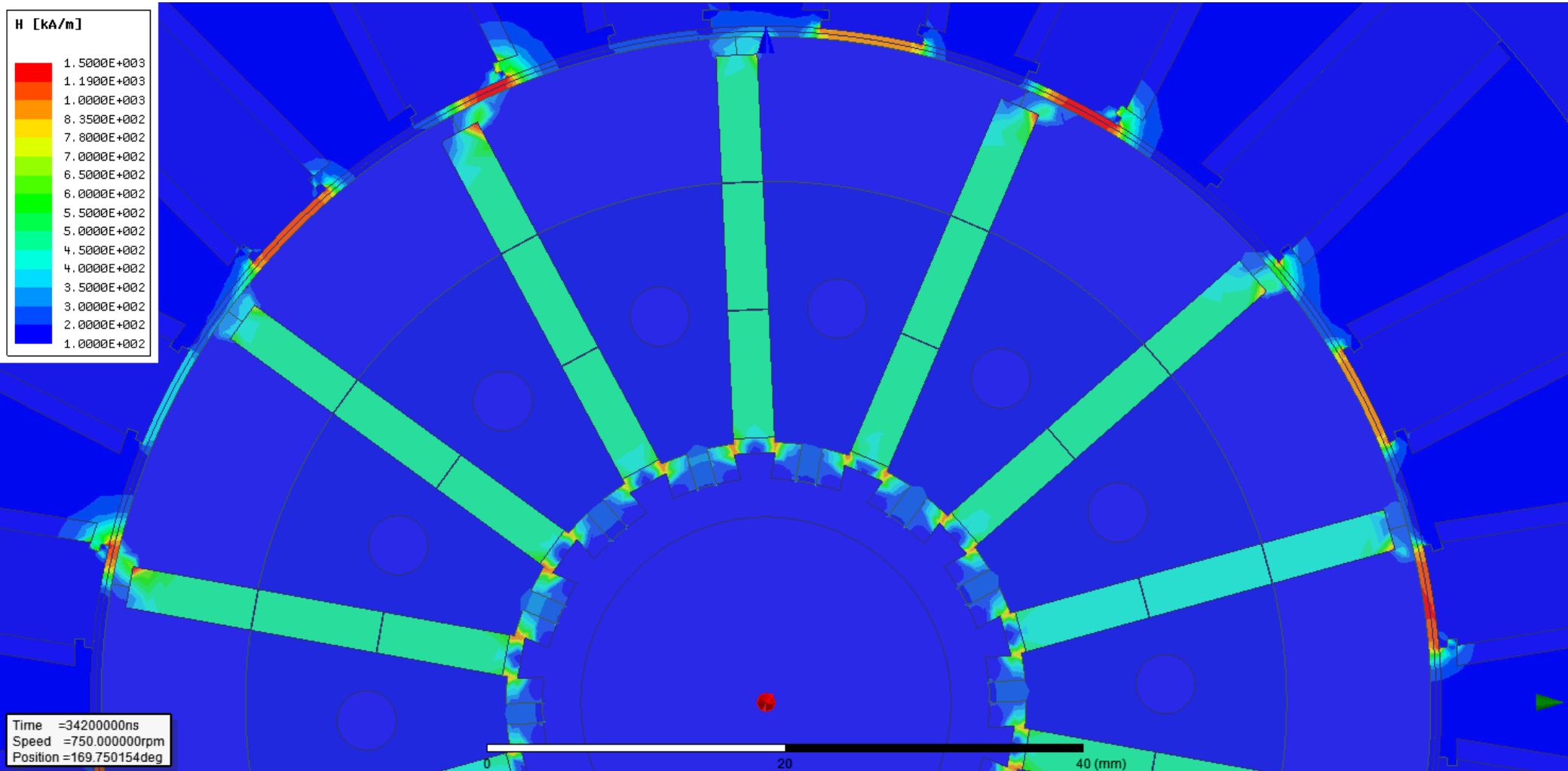
Résultats Eléments finis

- Cartographie du Champs Magnétique des aimants:



Zone plus susceptible à la
démagnétisation réversible ou
permanente





MatLab SimuLink X Eléments Finis

- **Contrainte de temps:**

- Durée moyenne du calcul d'un STEP $\approx 35s$
- Simulation avec 3 périodes électriques et 100 points acquis par période:
 - Durée totale ≈ 3 heures
- Simulation avec commutation de transistor à une fréquence de 10kHz...pertes supplémentaires...augmentation de la température:
 - Durée totale ≈ 30 heures

Questions?

3. Les objectifs de la programmation 2018

Liste des objectifs

- Test du prototype MHYGALE avec onduleur intégré V0
- Test du prototype MI1-CE2I avec onduleur intégré V1
- Amélioration du prototype virtuel:
Commande/Electromagnétique/Thermique