Modèles « analytiques »

Quelques axes de recherche
passés et actuels ...

Christian Chillet

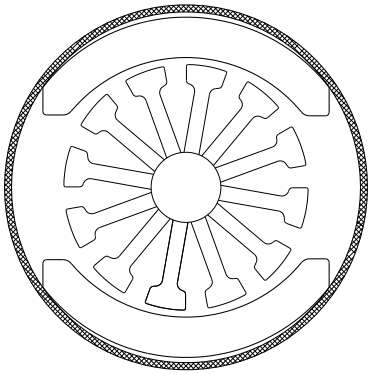
Calcul analytique de la désaimantation des aimants des moteurs brushless

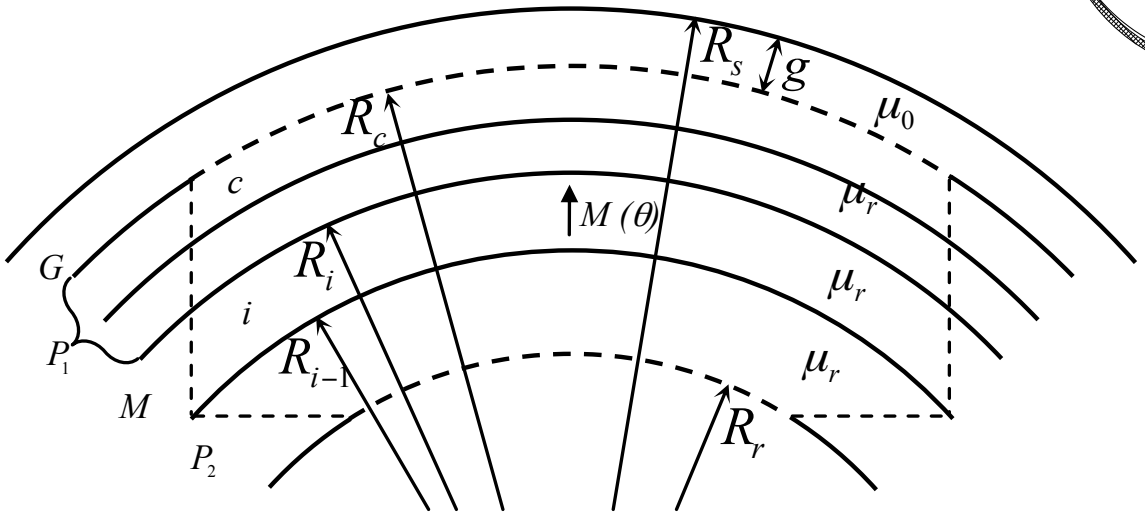
thèse de Manuela Mateos Bugati

Calcul analytique de la désaimantation

Principe

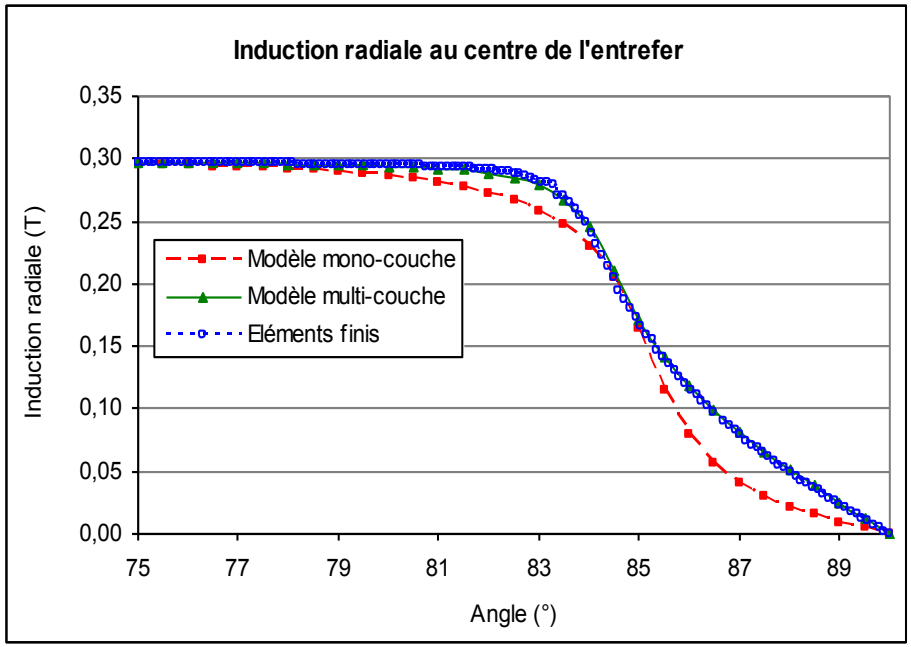
- Calcul de l'induction magnétique dans la partie utile de la machine à partir des équations de Maxwell et des conditions de continuité

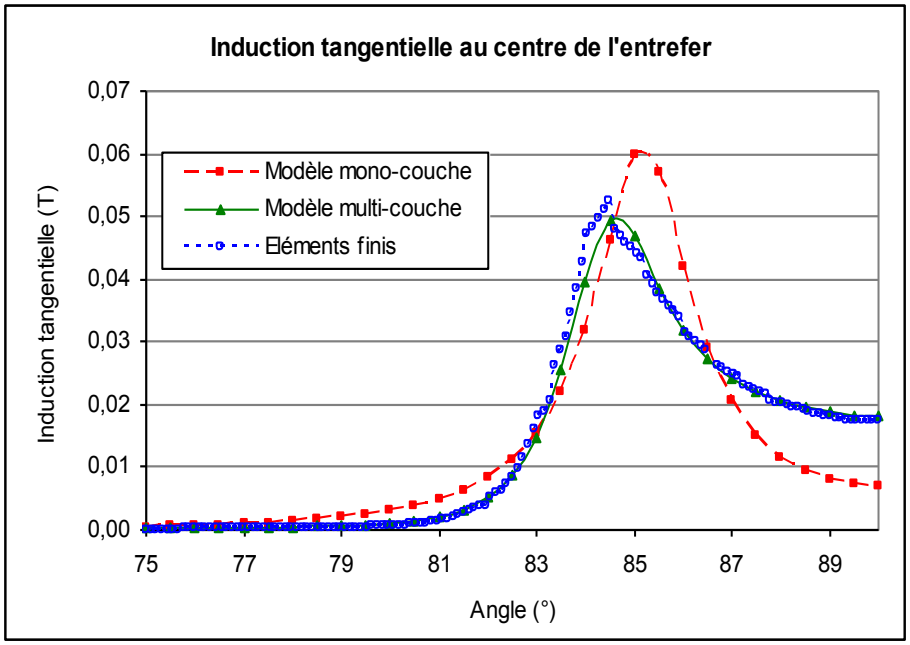


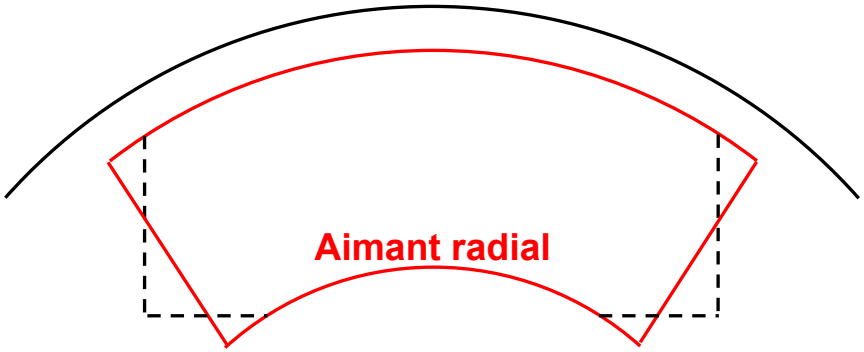


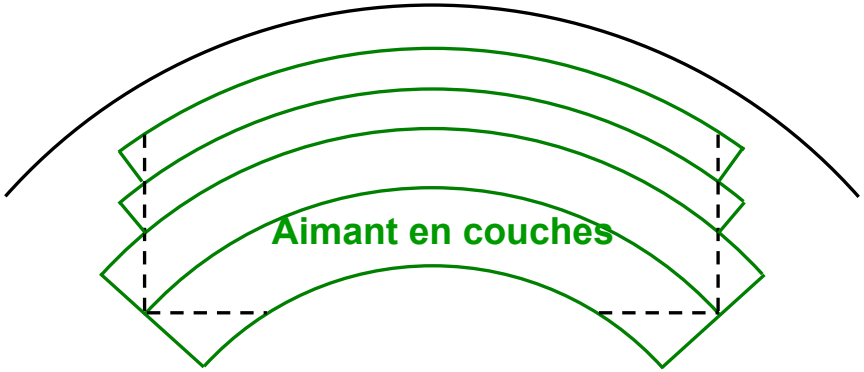
Calcul analytique de la désaimantation

Décomposition des aimants en couches







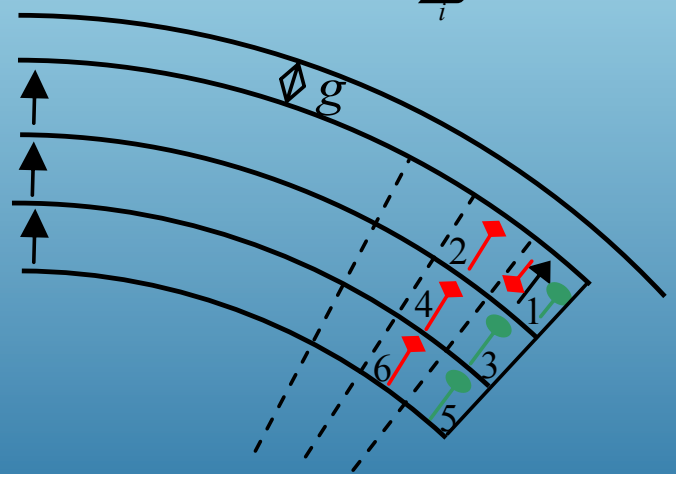


Calcul analytique de la désaimantation

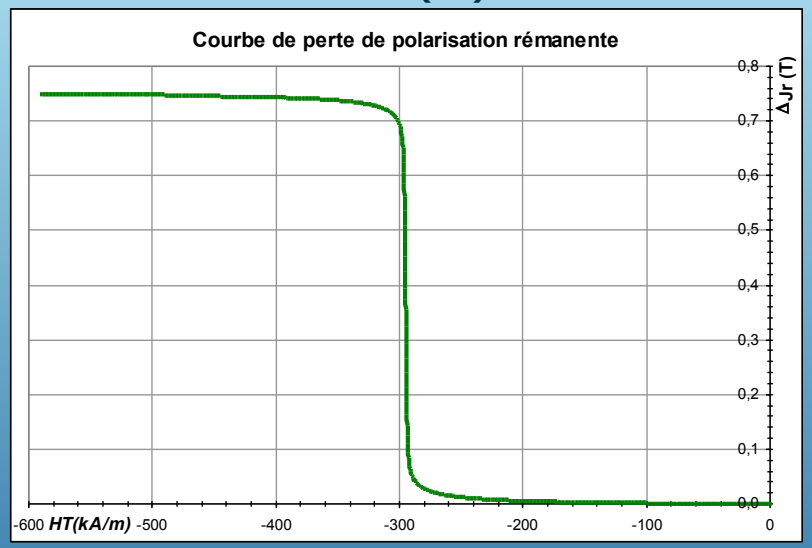
Principe du calcul de désaimantation

Calcul du champ dans l'aimant

$$HT_{\mathrm{i}}\left(Jr_1,\ldots,Jr_{\mathrm{n}}\right)=H_{\mathrm{Bobinage}}+\sum_i H_i\left(Jr_1,\ldots,Jr_{\mathrm{n}}\right)$$



Courbe ΔJr (H) nuance

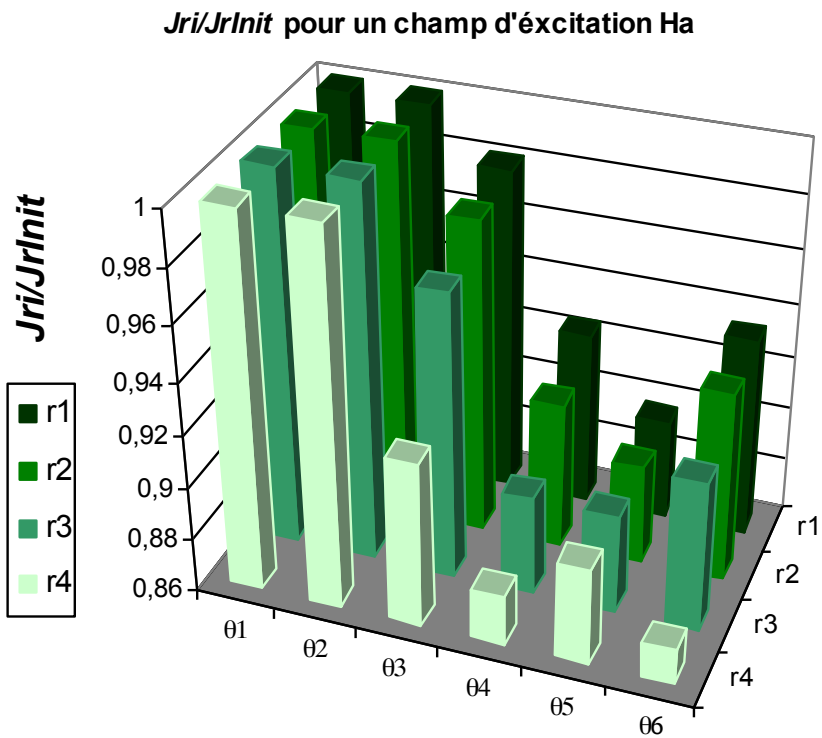


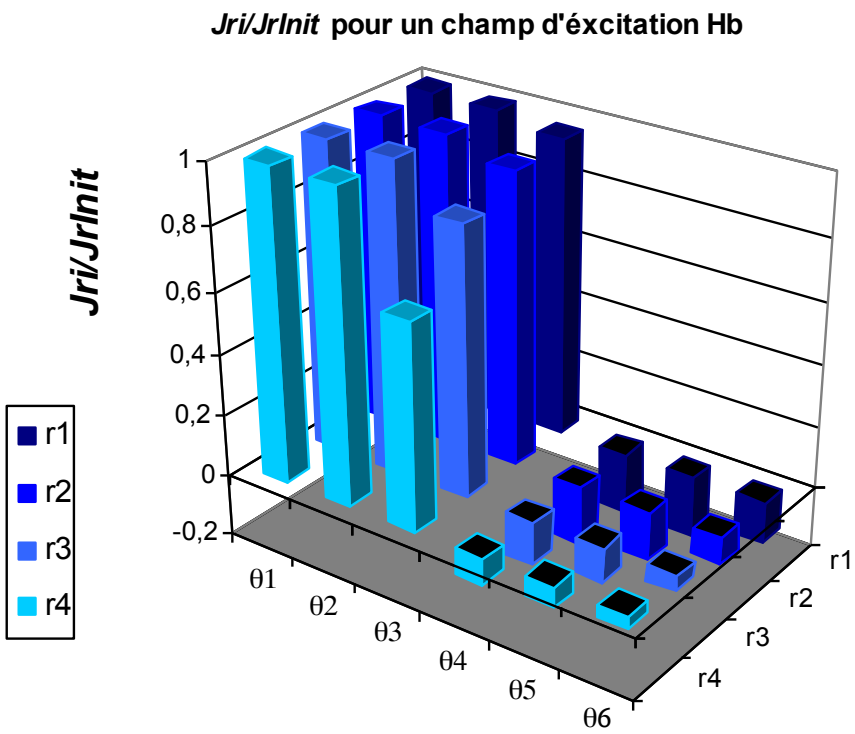
Jri de chaque éléments

$$Jr_i = Jr_{Init} - \Delta Jr\left[HT_{\mathrm{i}}\left(Jr_1,\ldots,Jr_{\mathrm{n}}\right)\right]$$

Exemple de résultats

Champ bobinage : Ha<Hb



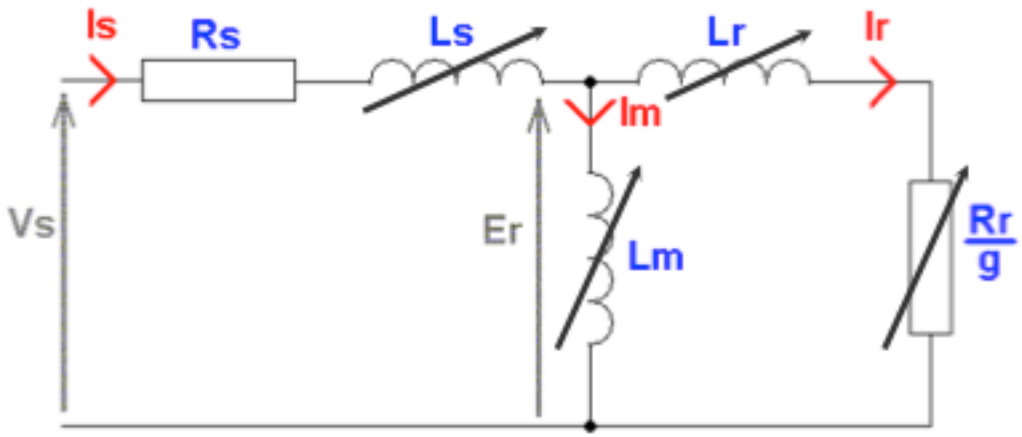


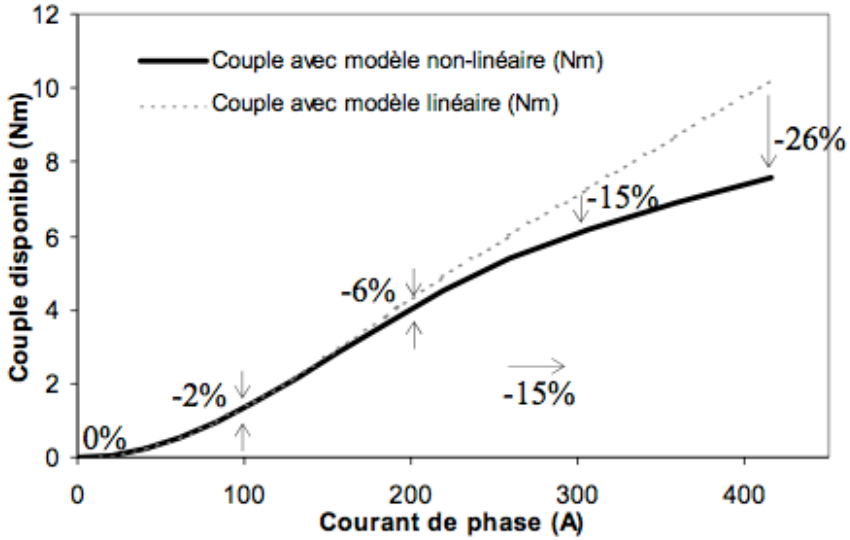
Modélisation paramétrique non linéaire d'une machine asynchrone
+
Démarche d'optimisation associée

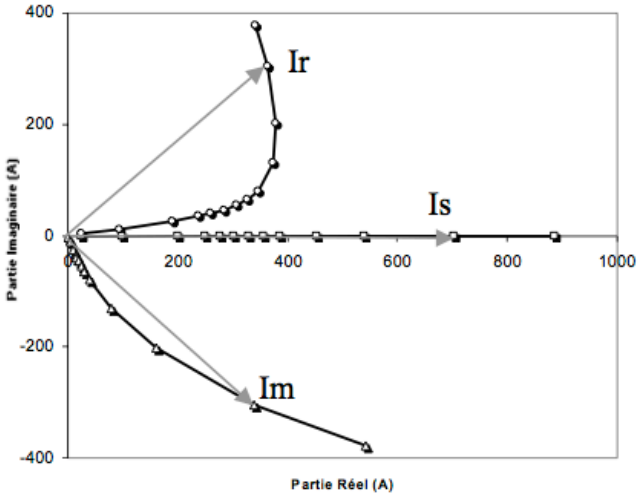
thèse de Gareth PUGSLEY

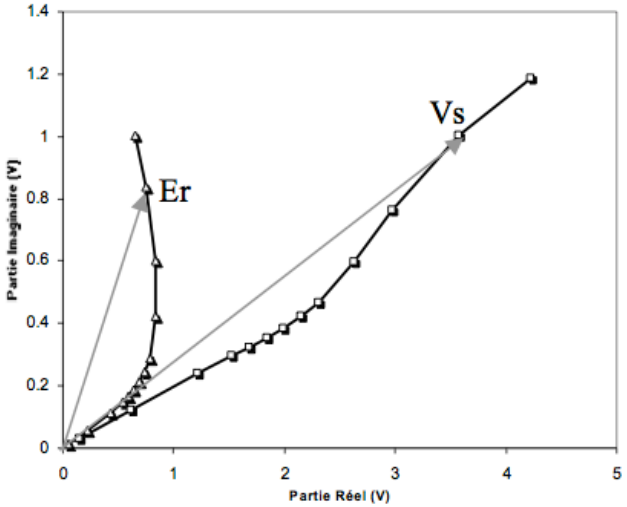
Modélisation non linéaire mach. asynch.

Modèle utilisé

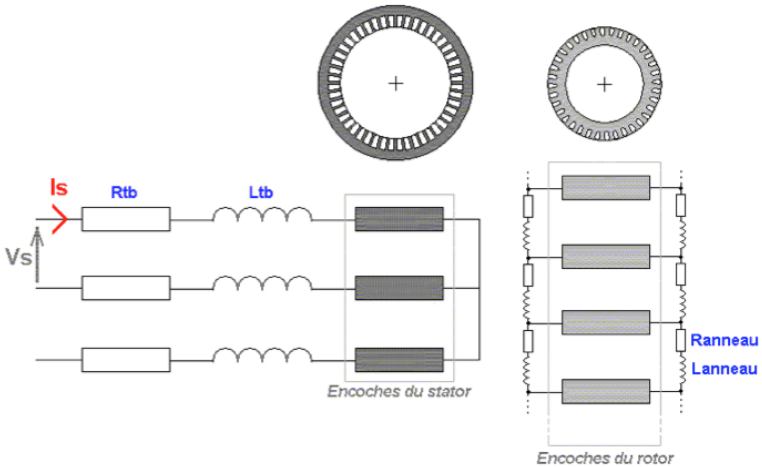


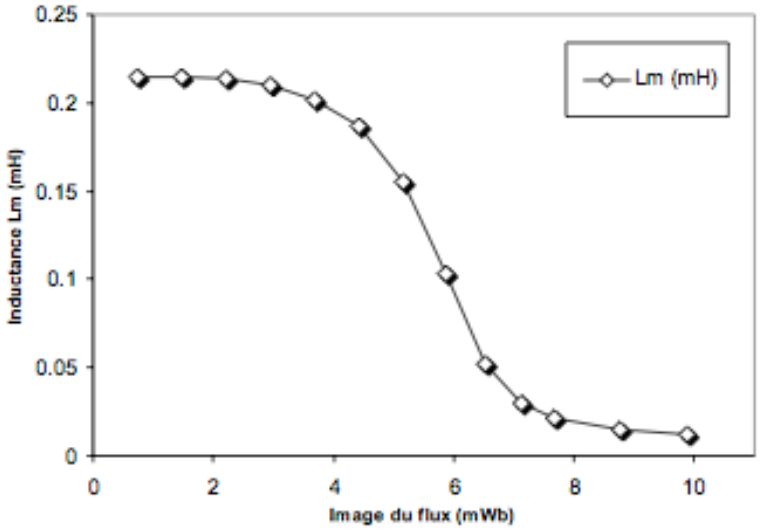


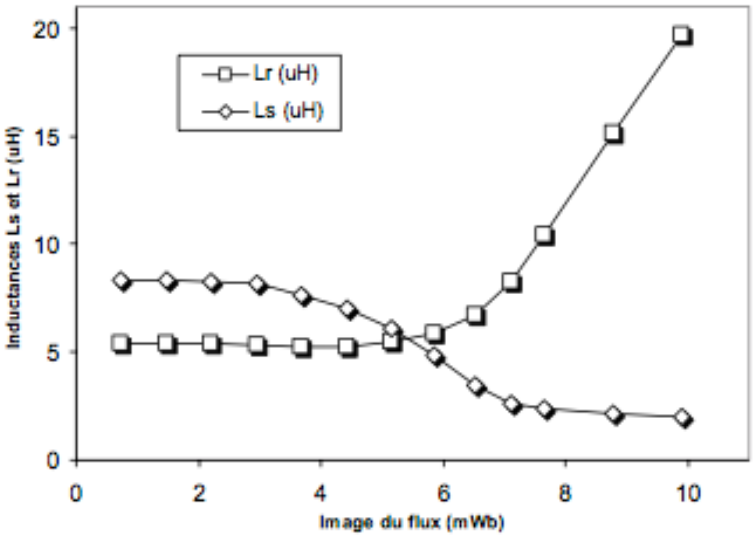




Identification par la méthode des éléments finis

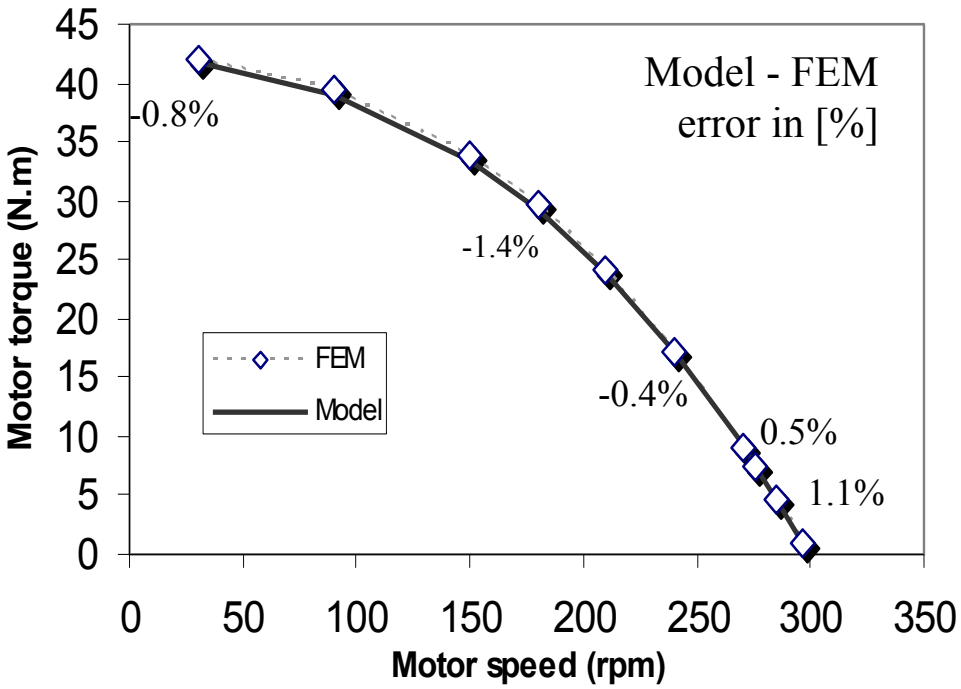


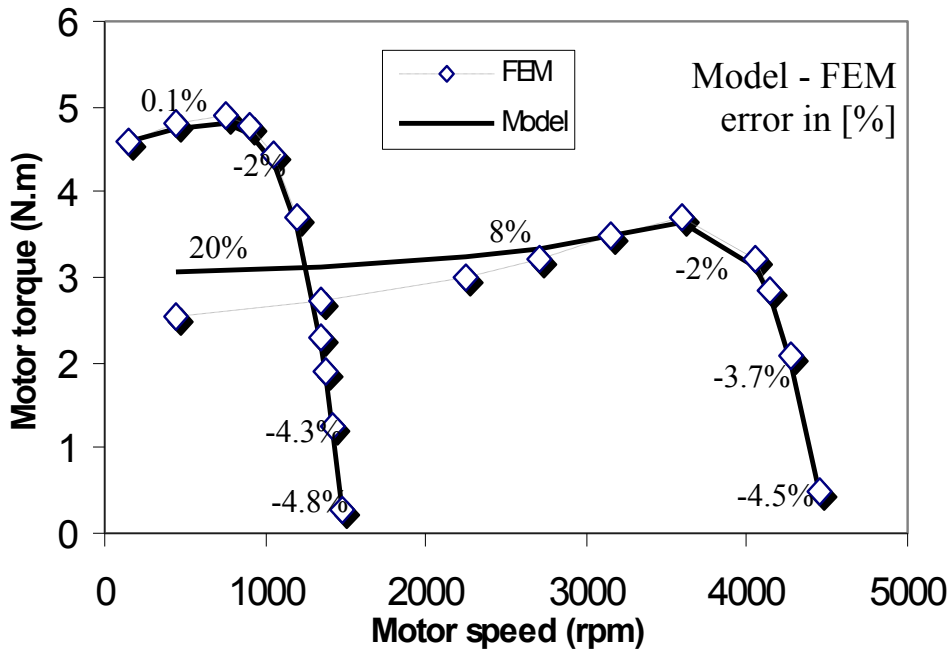




Modélisation non linéaire Mach. asynch.

Validité du modèle obtenu



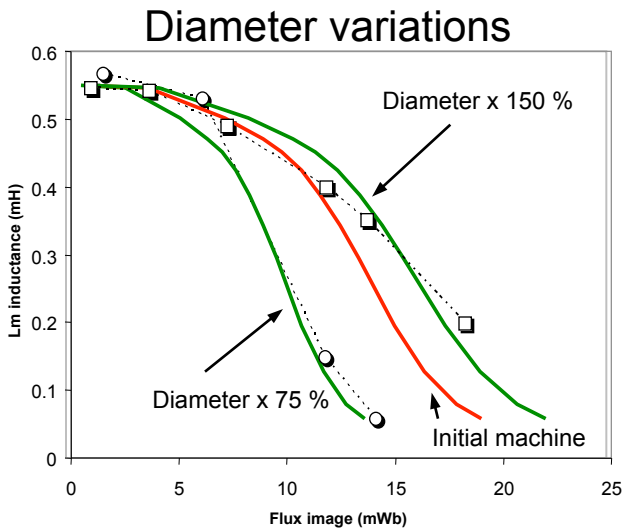


Tension et fréquence fixes, glissement variable

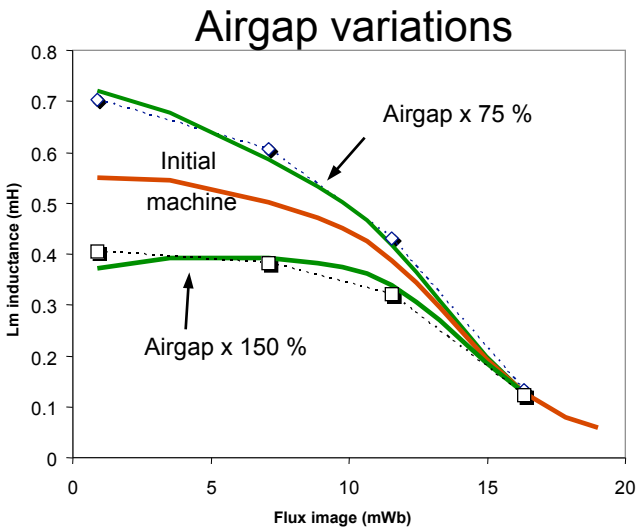
Modélisation non linéaire Mach. asynch.

- **Prise en compte des dimensions caractéristiques de la machine dans le modèle**
  - Longueur, diamètres, nombre de spires, entrefer…

Exemple du paramètre Lm



⇔ **to a B=Φ.S surface variation**

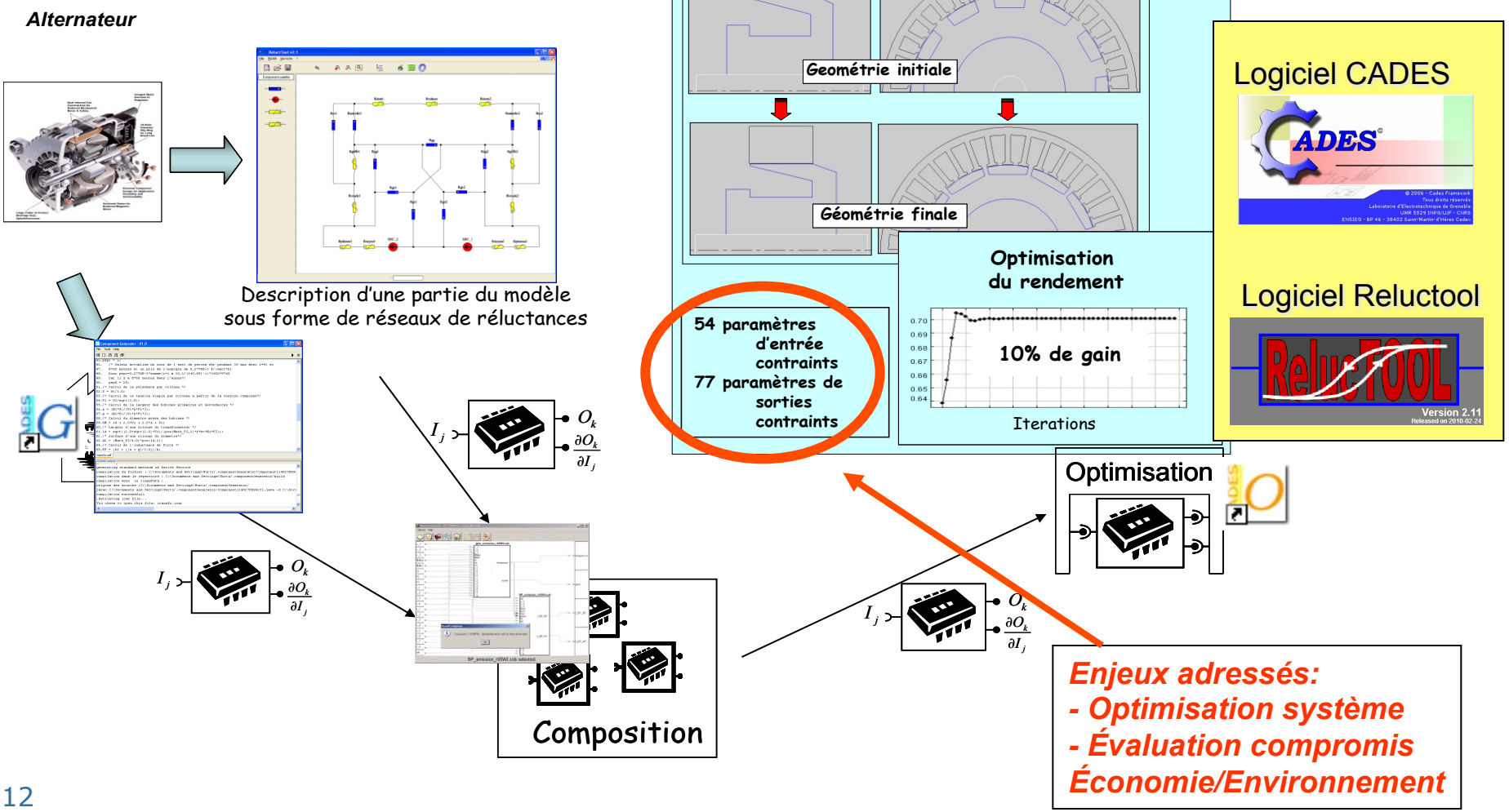


⇔ **to a reluctance length variation**

➡ Modèle comportemental validé

Modèles semi-analytiques : CADES et Reluctool

Exemple d'un alternateur à griffes



Optimisation système d'un groupe motopropulseur pour véhicule hydride

thèse de Vincent Reinbolt

Optimisation système d'un groupe motopropulseur pour véhicule hydride

Réduire les coûts de transport et les impacts environnementaux des VEH. La consommation de carburant d'un VEH dépend de:

- le cycle de conduite (fig.1),
- la gestion de l'énergie et les composants du groupe motopropulseur par exemple le moteur à combustion interne, le poids et capacité des batteries,…
- la machine électrique (EM) et des rapports de vitesse (fig.2).

Afin d'optimiser la machine électrique, le système hybride complet doit être prise en compte et une **optimisation conjointe** de la machine électrique et de la gestion de l'énergie doit être réalisée.

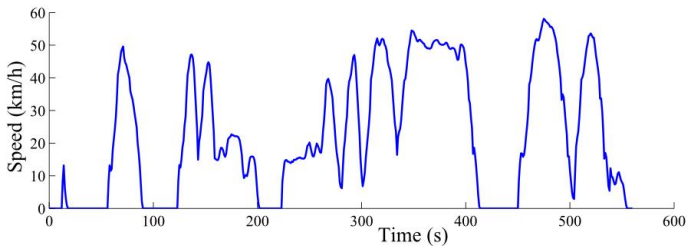


Figure 1 : Urban driving cycle

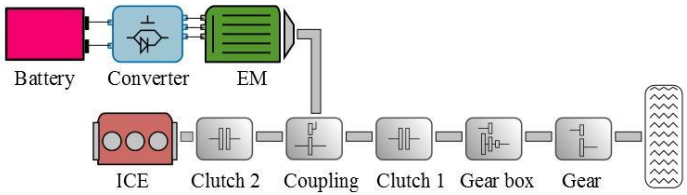


Figure 2 : Parallel hybrid electric architecture

Reluctool & Cades

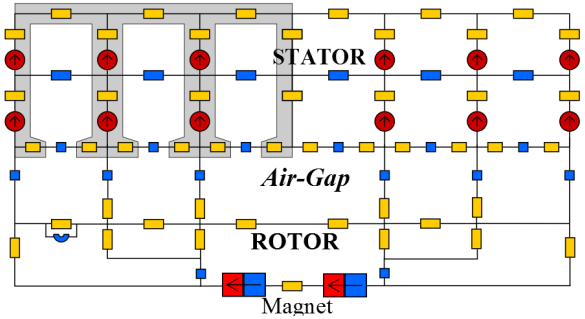


Figure 3 : Magnetic circuit model of the electrical machine

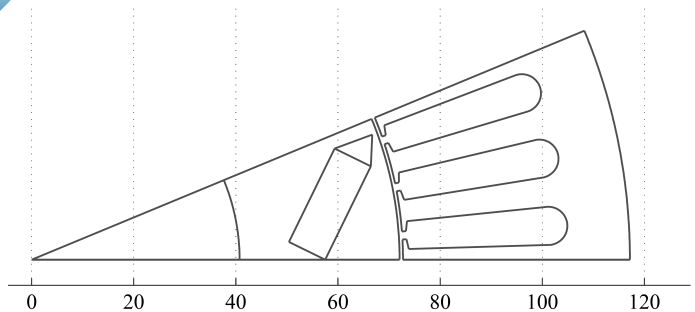


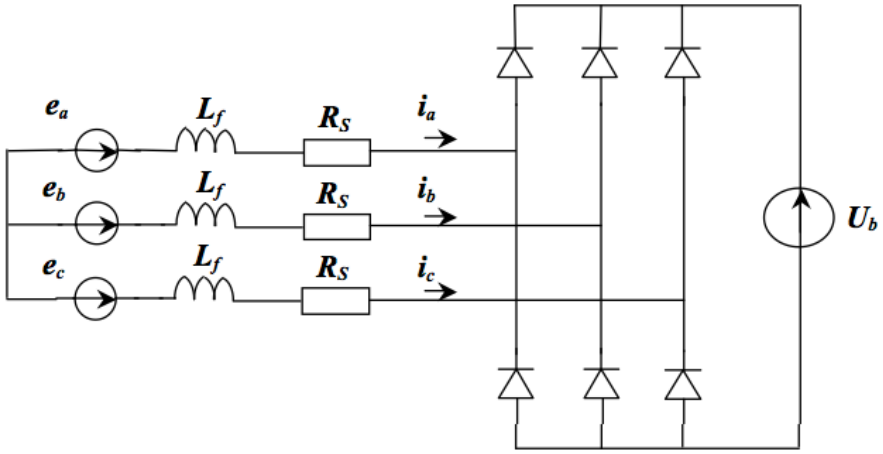
Figure 4 : Optimal geometry of the EM for the urban driving cycle and a battery pack of 30 kW

Modélisation électromagnétique et optimisation d'un alternateur à griffe avec son redresseur

thèse de Laurent ALBERT

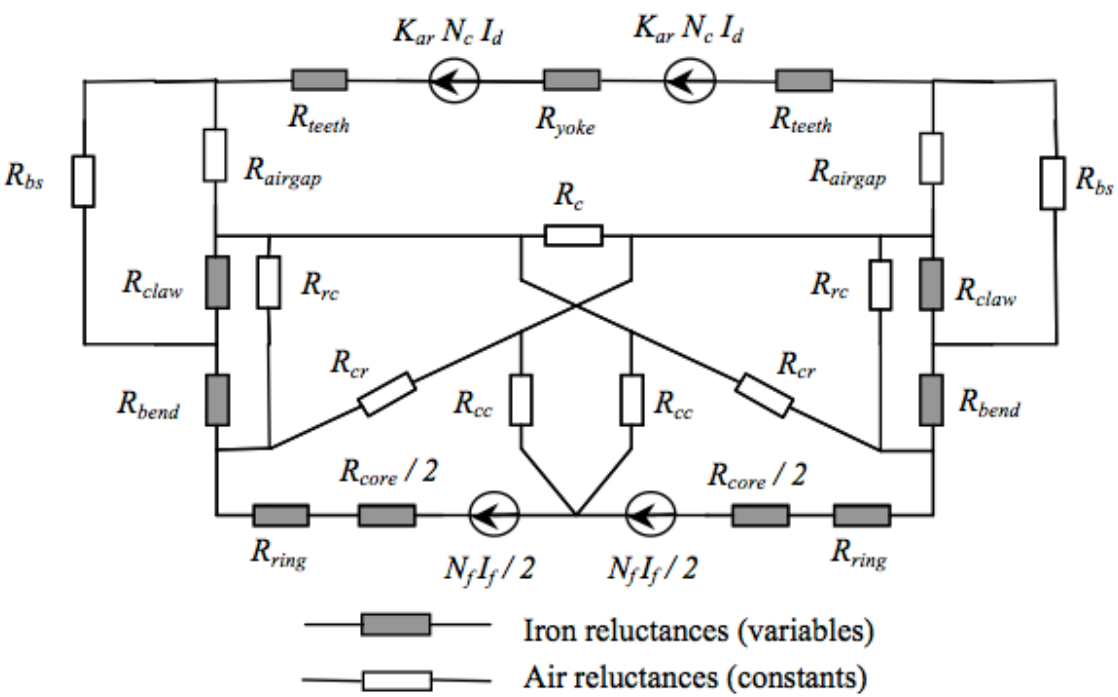
Alternateurs à griffes

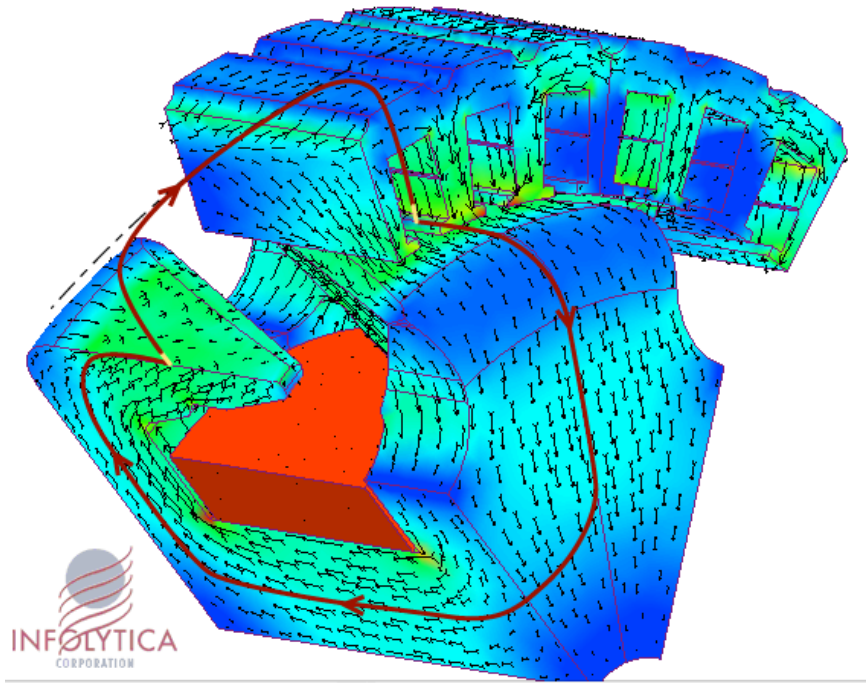
- **Modèles développés**
  - Modèle électromagnétique de la machine sous forme de réseau de réluctances
  - Modèle électrique explicite des modes de conduction du pont de diodes



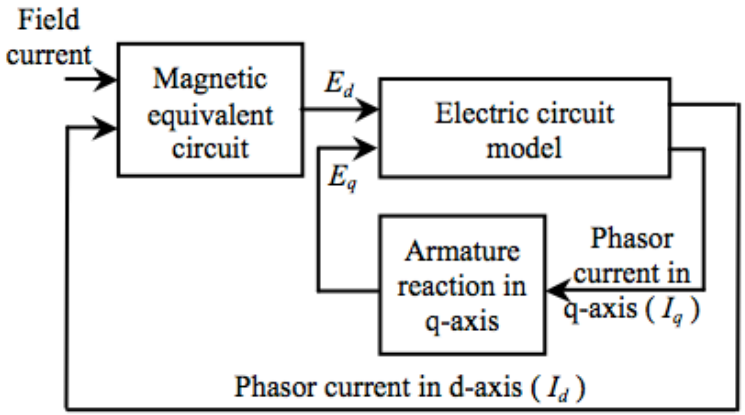
Alternateurs à griffes

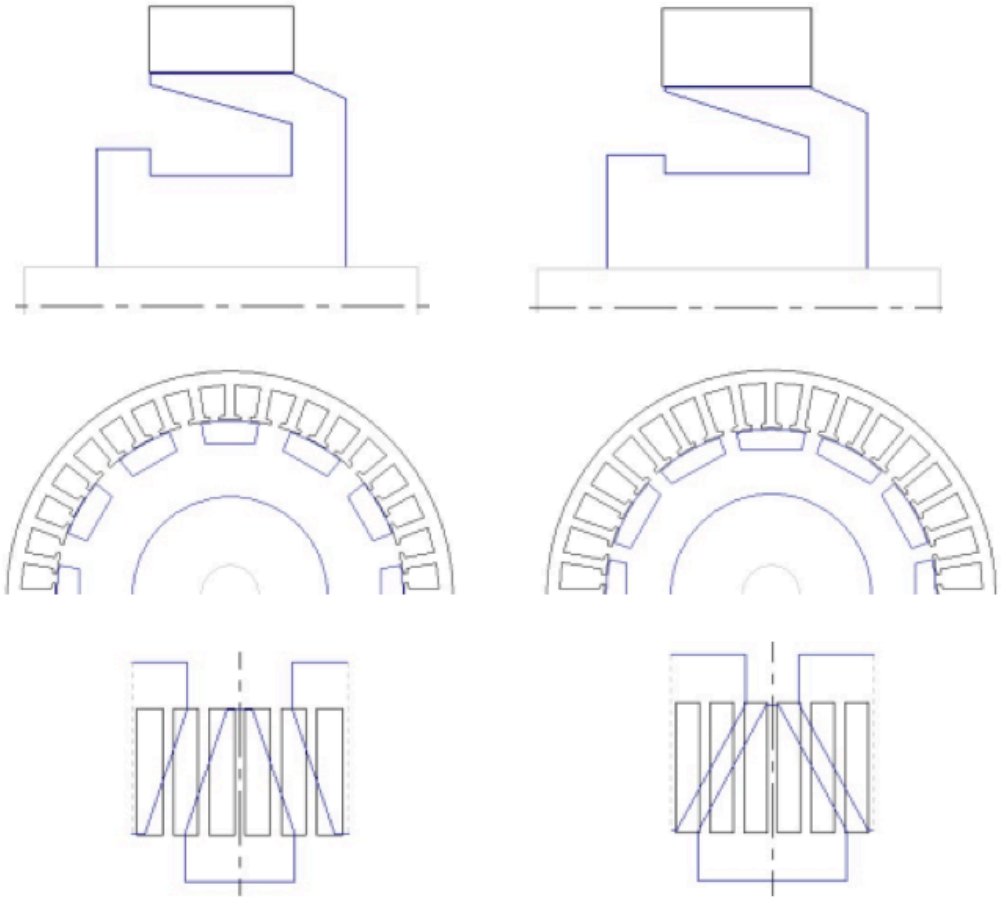
Modèle électromagnétique



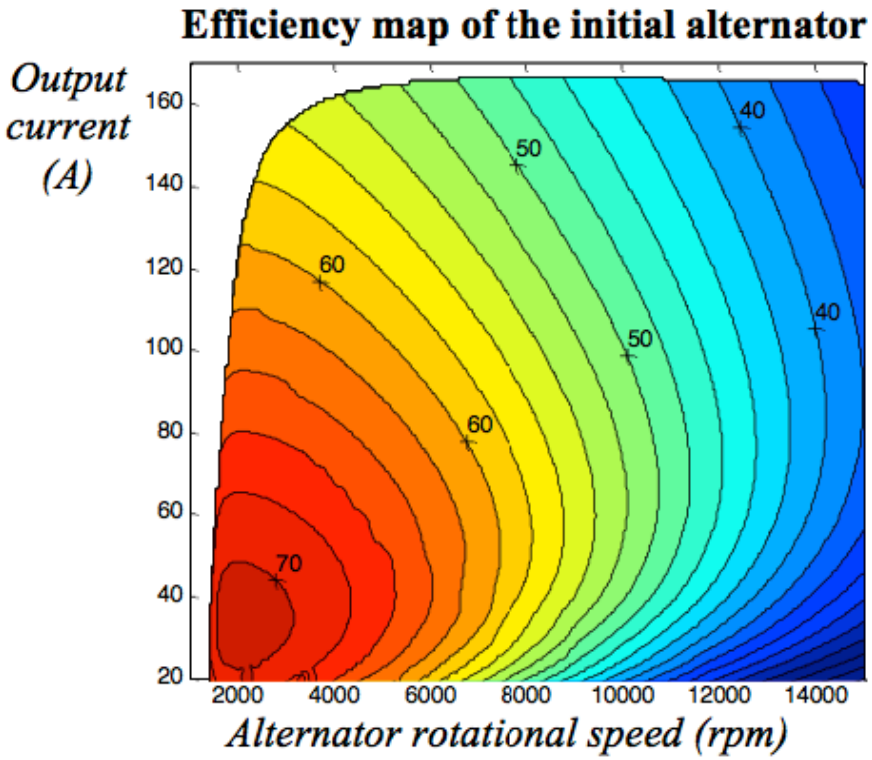


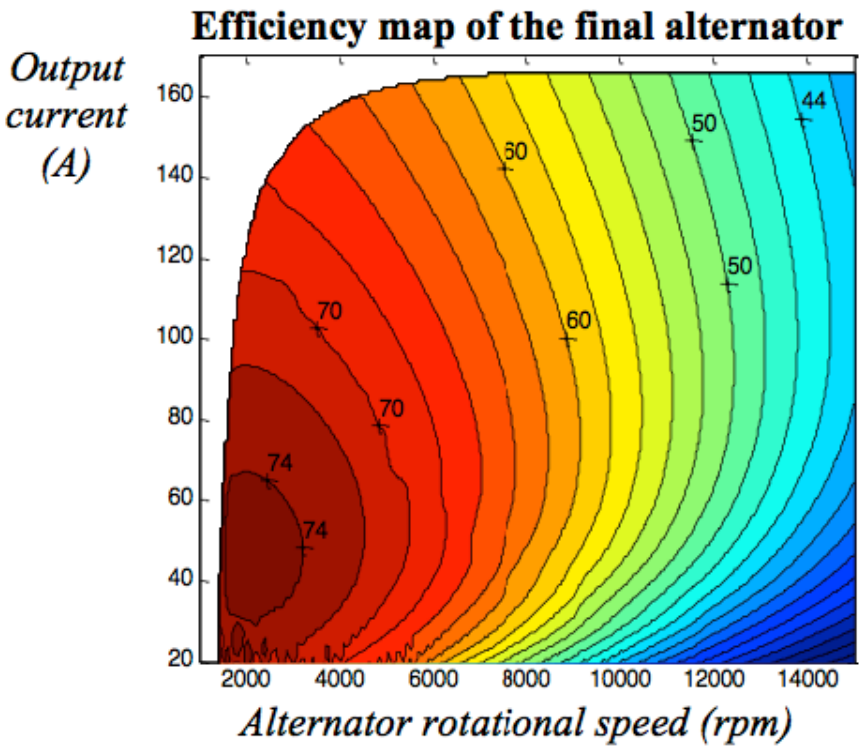
Couplage des deux modèles + résultats





Comparaison de performances après optimisation



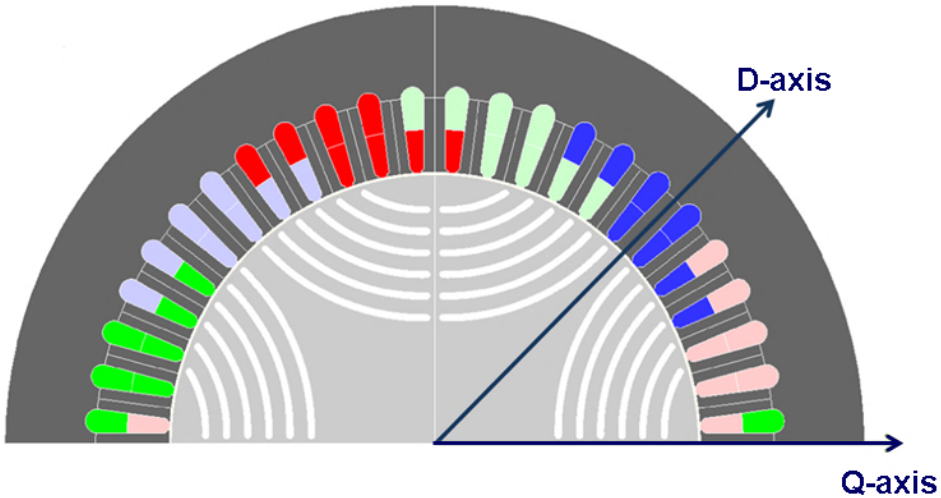


Machine synchrone à réluctance
-
Modèles équivalents à réseau de réluctances pour l'optimisation et l'optimisation

thèse de Guilherme Bueno Mariani

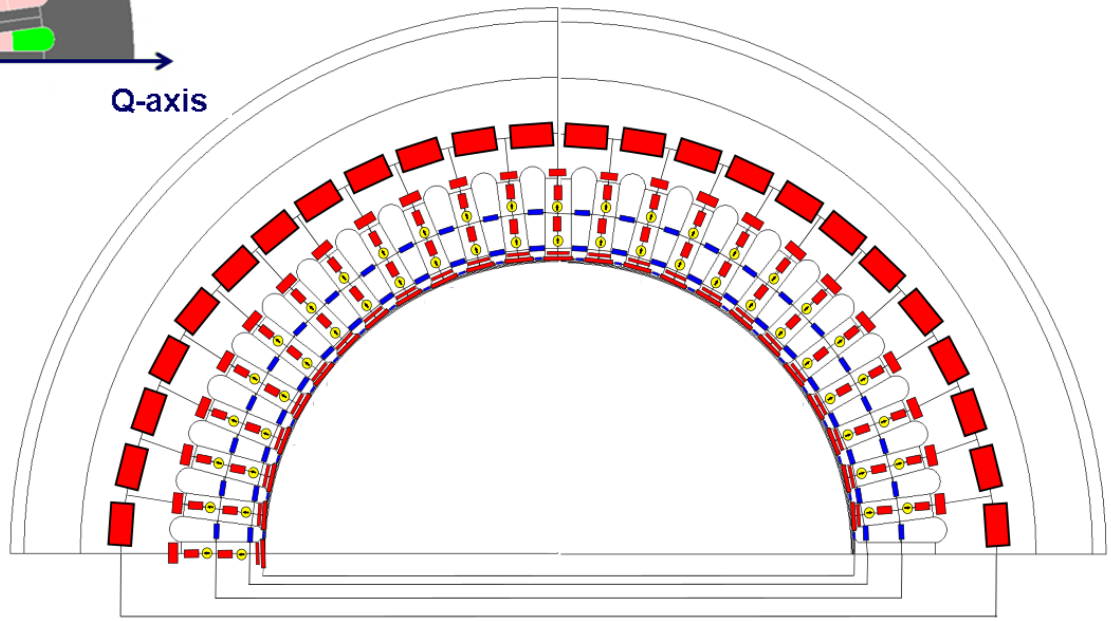
Machine synchrone à réluctance

Modélisation du stator par un réseau de réluctances



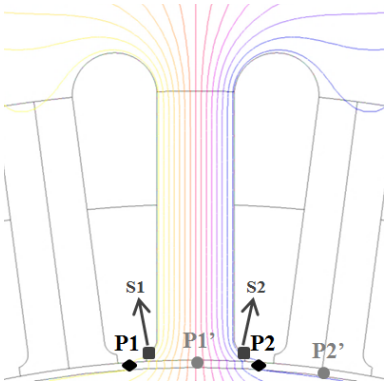
Étude éléments finis 2D
(ici avec rotor plein)

Modèle réluctant du stator



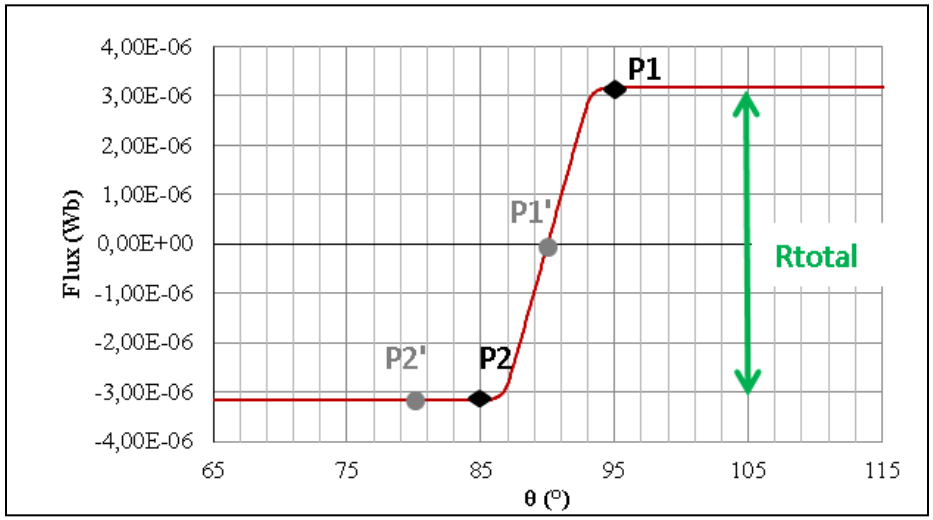
Machine synchrone à réluctance

Modélisation de l'entrefer (intégrale de Fermi-Dirac)



Étude éléments finis 2D
une dent alimentée

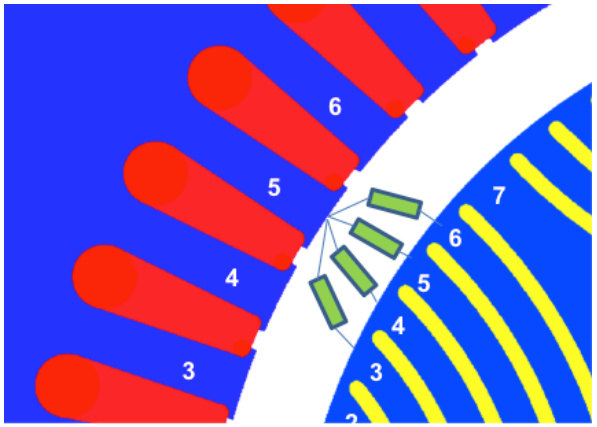
Potentiel vecteur sur le rotor



Fonction retenue

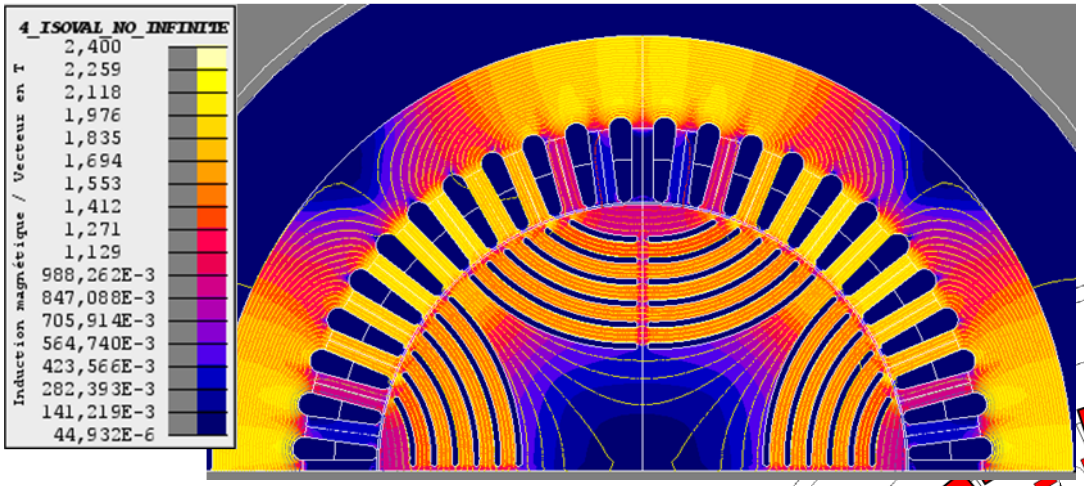
$$\varphi(\theta) = A \cdot \left(\theta + \frac{1}{\beta} \cdot ln\left(\frac{1 + e^{-\beta \cdot \theta_c}}{1 + e^{\beta(\theta - \theta_c)}} \right) \right)$$

Avantages :
- paramètres liés aux dimensions machines
- donc généralisable

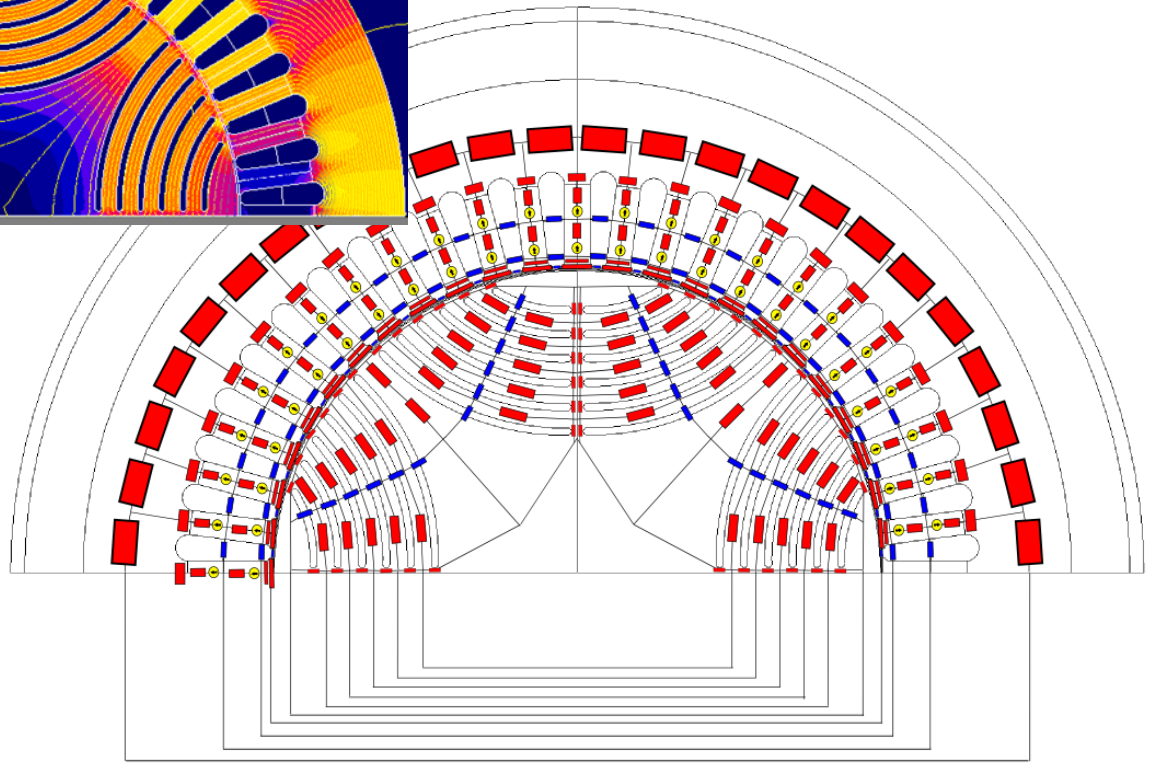


Machine synchrone à réluctance

Modélisation du rotor



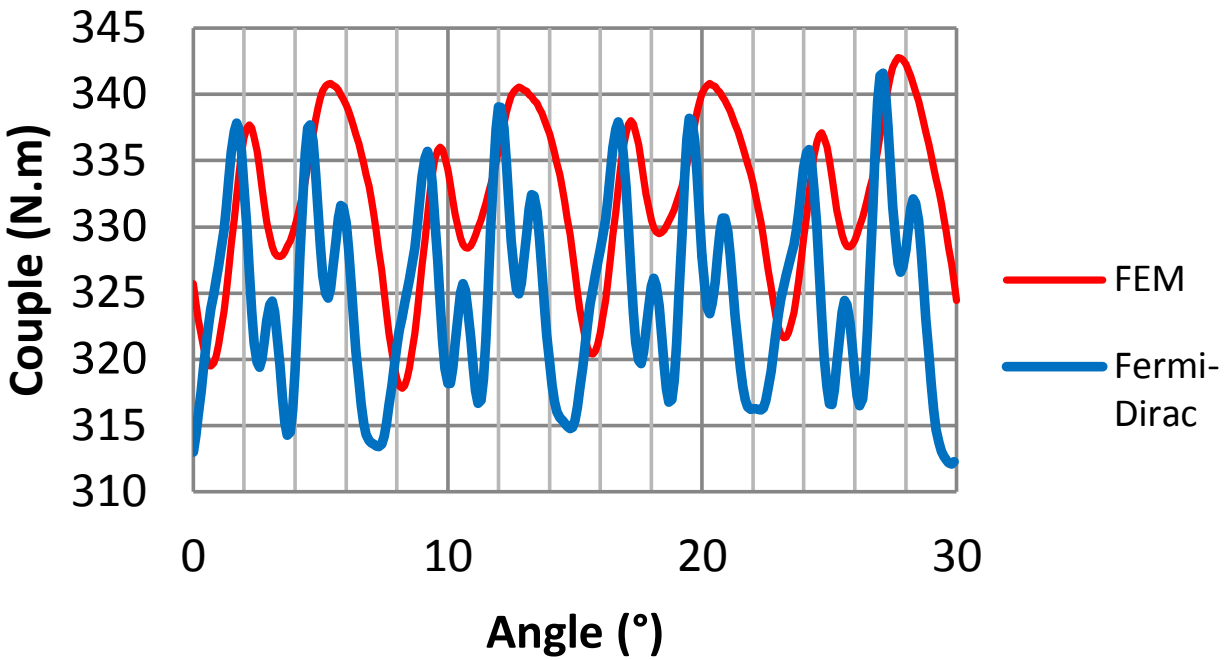
Étude éléments finis 2D
(ici excitation axe d)



Modèle réluctant du
moteur complet
(hors entrefer)

Machine synchrone à réluctance

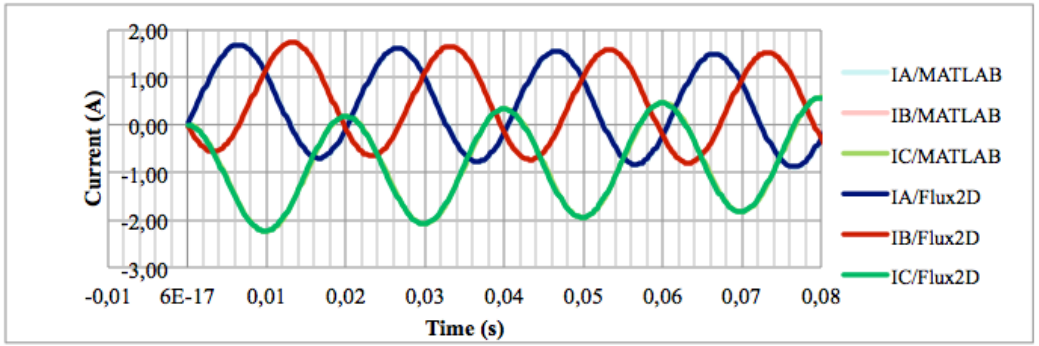
Ondulations sur le couple nominal



Machine synchrone à réluctance

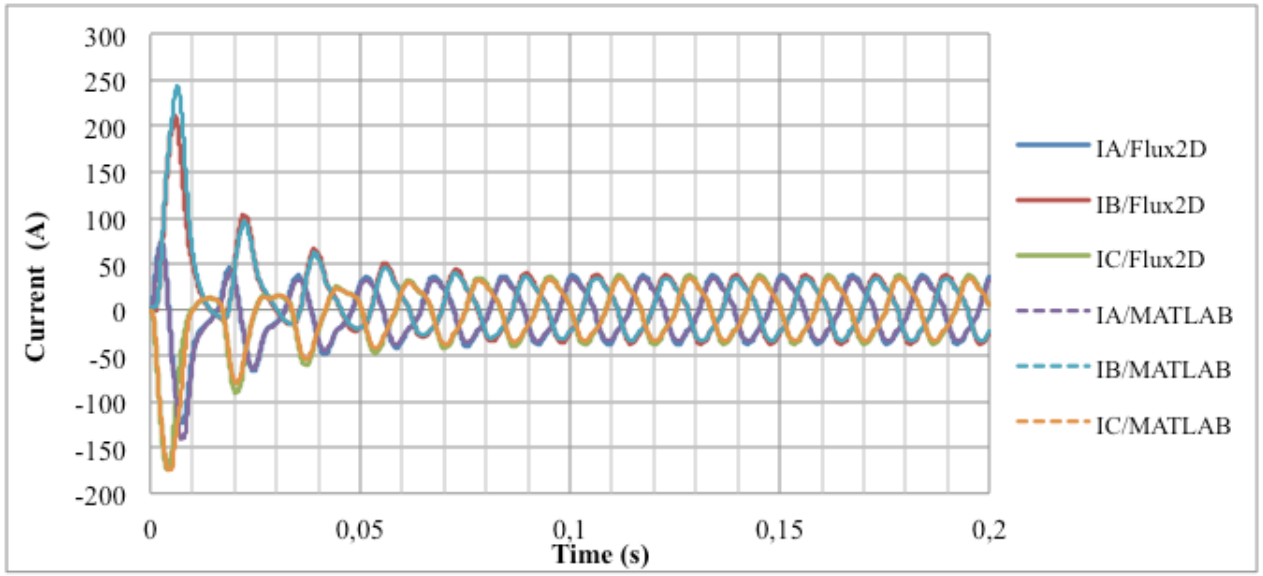
Couplage du modèle avec un circuit

Alimentation en tension du stator seul



Courbes confondues

Reconnexion du moteur sur réseau de tension



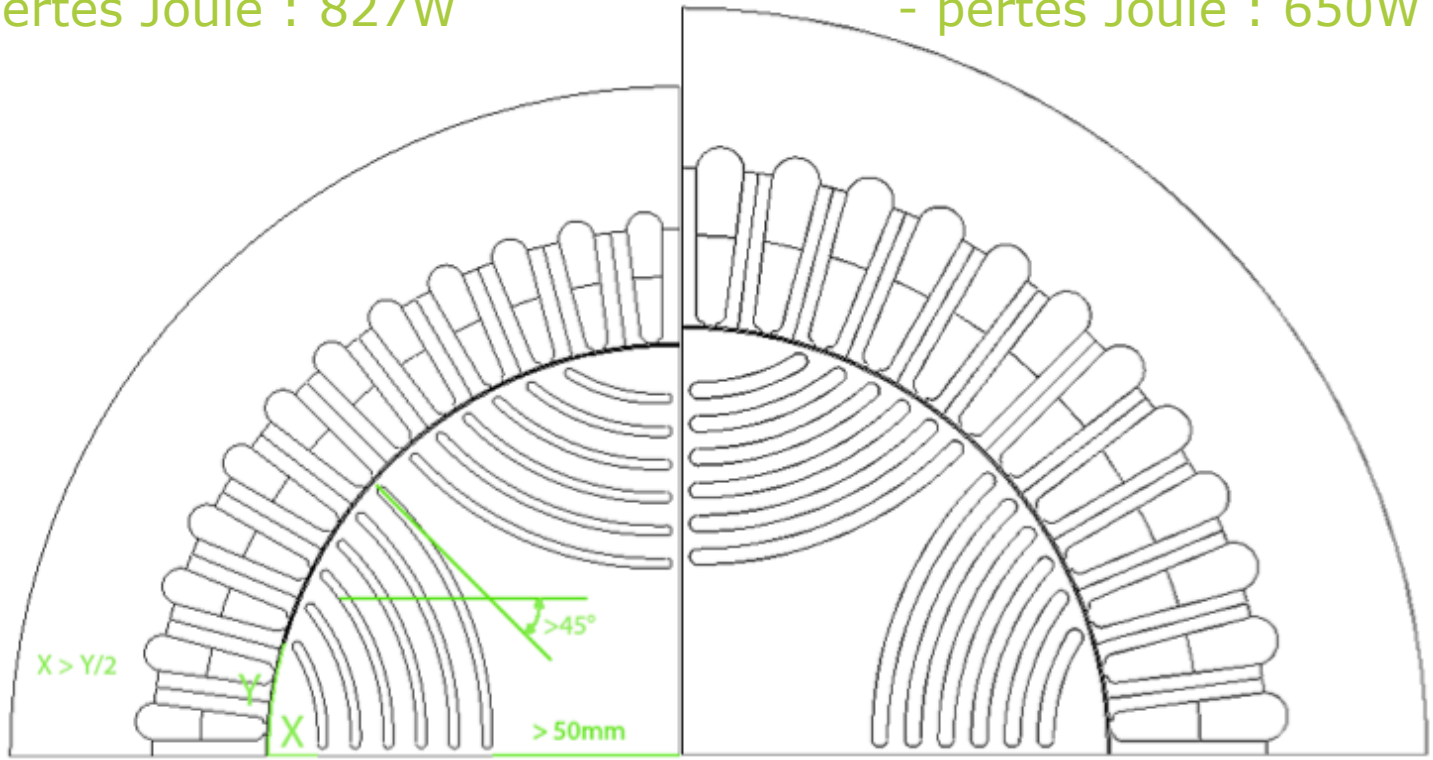
Bonne représentation du transitoire

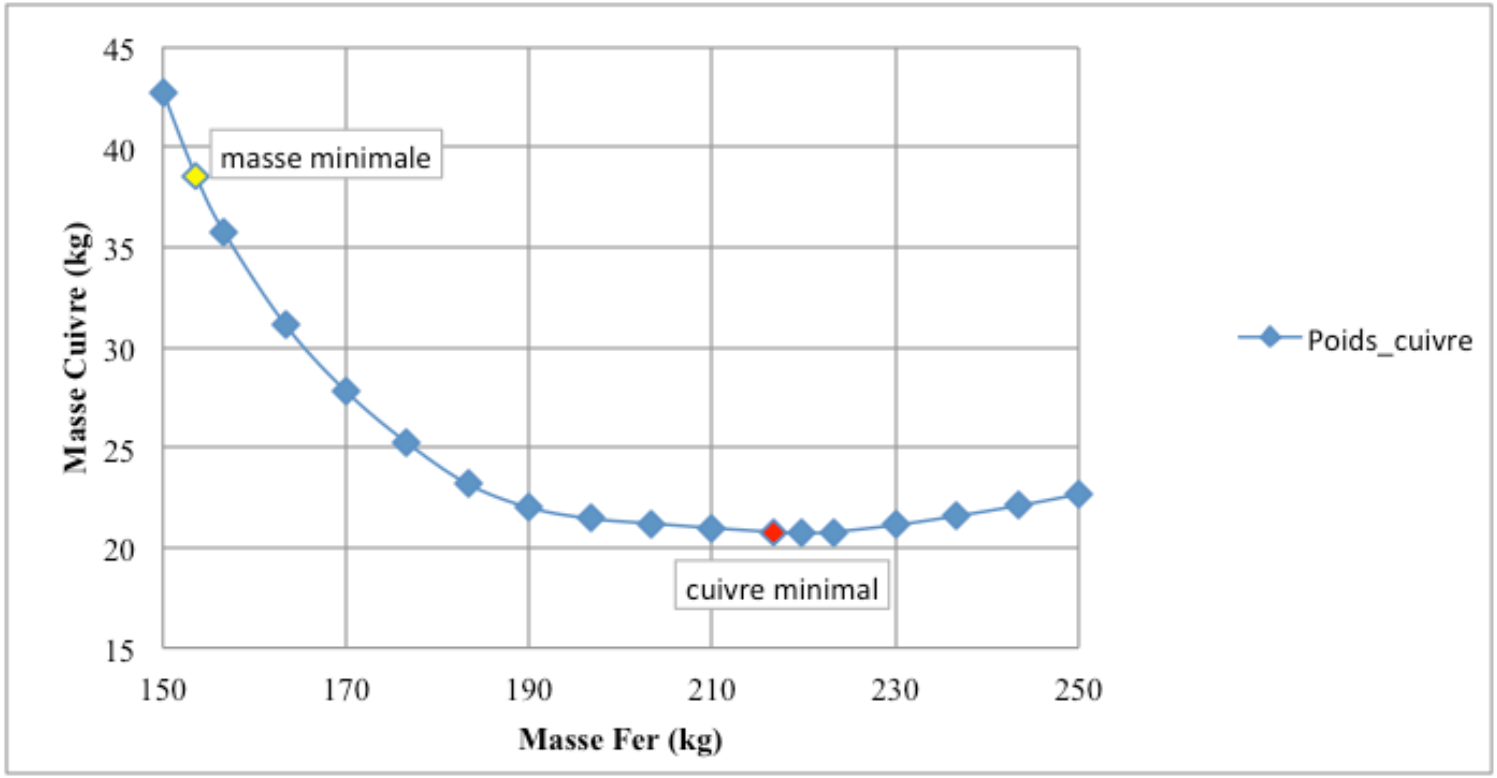
Machine synchrone à réluctance

Optimisation du couple massique (couple imposé)

Moteur initial
- 1.48Nm/kg
- longueur : 325mm
- pertes Joule : 827W

Moteur optimisé
- 1.7Nm/kg
- longueur : 228mm
- pertes Joule : 650W



Evolution de la masse de cuivre

Couple imposé, masse minimale de cuivre à masse de fer imposée