convertisseur d'énergie Intégré Intelligent

15 novembre 2022

Restitution finale du projet

Développement d'outils de modélisation
Vers le jumeau numérique

Yvonnick Le Menach

L2EP Laboratoire d'électrotechnique et d'électronique de puissance de Lille

Université de Lille

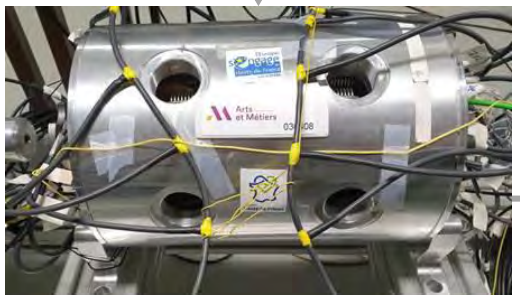
UNION EUROPEENNE

l'Europe s'engage en Hauts-de-France avec le FEDER

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Région Hauts-de-France

Objectifs scientifiques & Challenges



Machine C2EI

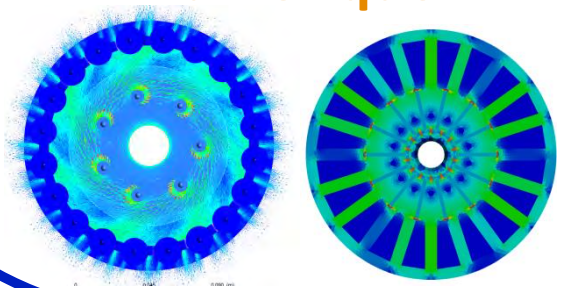
Historique de la maintenance

Données opérationnelles en temps réel

Données d'entrée

Modèles numériques
Multiphysiques
Multiéchelles

Jumeau numérique



Grandeurs d'intérêt

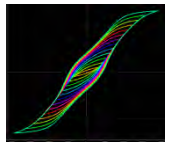
Diagnostic

Suivi de fonctionnement

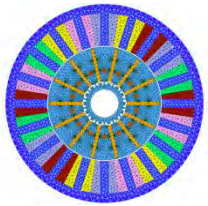
Modèle robuste, précis, rapide

UNION EUROPEENNE
l'Europe s'engage en Hauts-de-France avec le FEDER
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Région Hauts-de-France

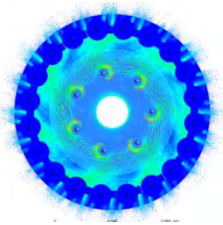
Organisation générale



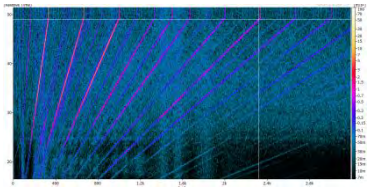
Caractérisation



Modélisation Electromagnétique



Modélisation Multi physique



$[Z] = [W]^{-1}[X]$

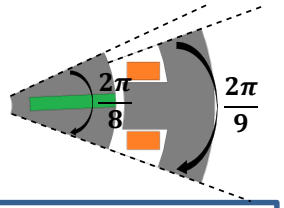


Schéma équivalent

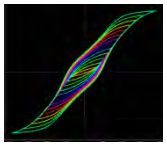
Réduction de modèle numérique

Pour les simulations systèmes (machine + convertisseurs)

Conception par optimisation

Organisation générale

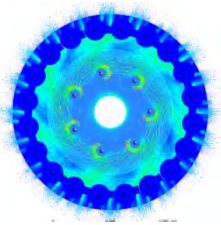
Bibliothèque matériaux



Caractérisation

LAMIH UMR CNRS 8201

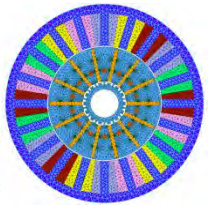
SAME



ANSYS

code_Carmel

L2EP Laboratoire d'électrotechnique et d'électronique de puissance de Lille

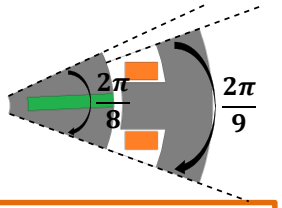


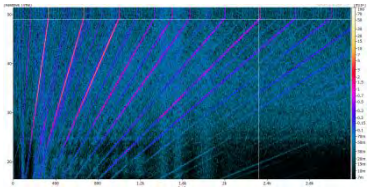
Modélisation Electromagnétique

Modélisation Multi physique

EDF

$$[Z] = [W]^{-1}[X]$$





VibraMag

L2EP Laboratoire d'électrotechnique et d'électronique de puissance de Lille

Schéma équivalent

Réduction de modèle numérique

SIMULINK

SIMULINK

Pour les simulations systèmes (machine + convertisseurs)

Conception par optimisation

Sophemis

L2EP Laboratoire d'électrotechnique et d'électronique de puissance de Lille

UNION EUROPÉENNE

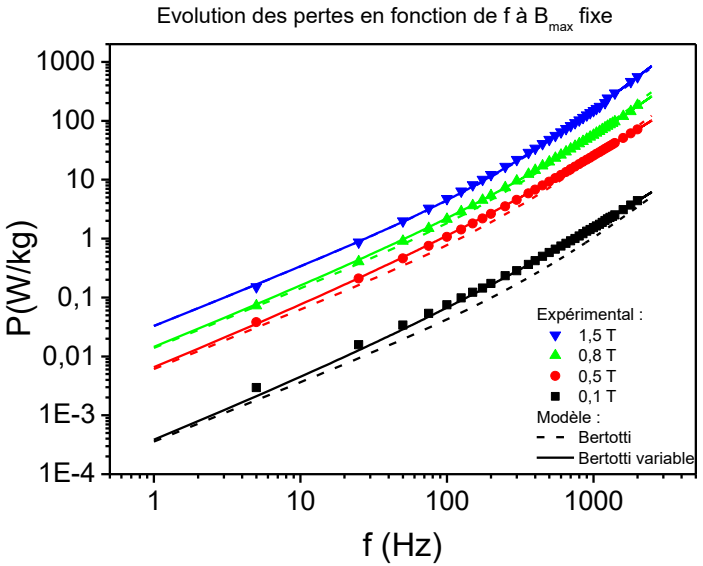
L'Europe s'engage en Hauts-de-France avec le FEDER

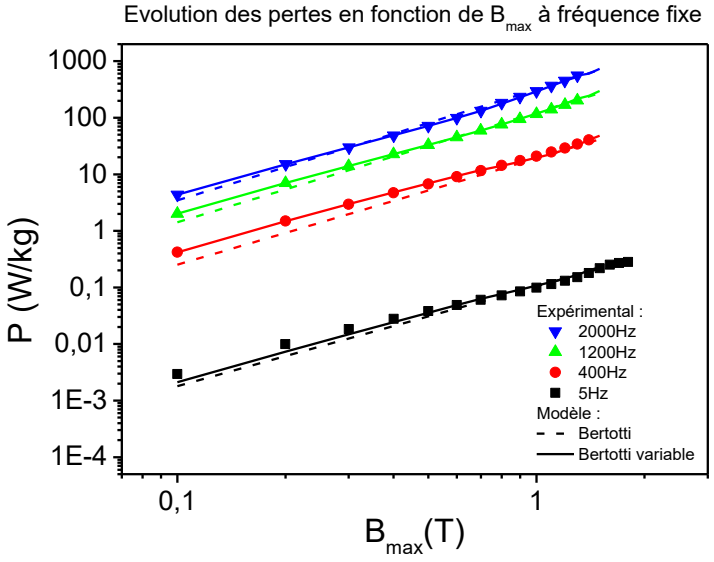
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Région Hauts-de-France

Principaux Résultats

- **Amélioration des modèles de matériaux et des pertes**
  - Modèle de Bertotti à coefficients non constants





Méthodes spectrales pour obtenir les régimes permanents

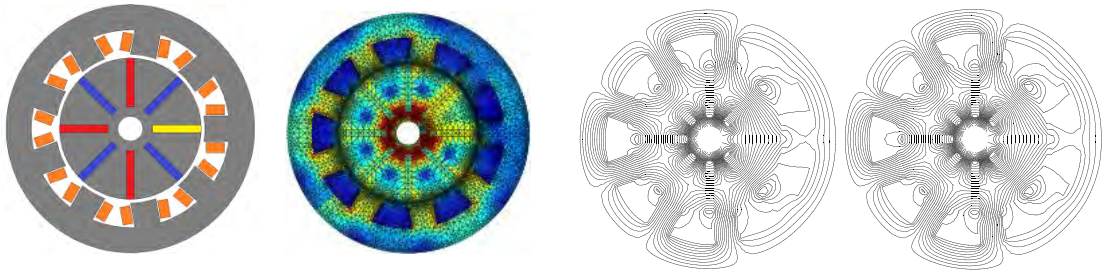
- Prise en compte de toutes les positions de la machine et de la non linéarité
- Très grands systèmes à résoudre
- Algorithme de prédiction d'harmoniques

$$M_L A(t) + M_{NL}(A(t)) + A(t) + S\frac{dA(t)}{dt} + M_\theta(t)A(t) = F(t) \qquad \forall t \in T$$

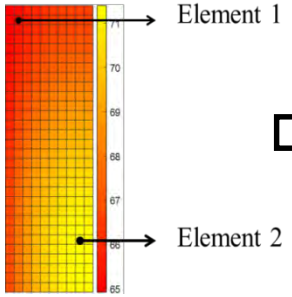
UNION EUROPEENNE
l'Europe s'engage en Hauts-de-France avec le FEDER
Liberté • Égalité • Fraternité RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Région Hauts-de-France

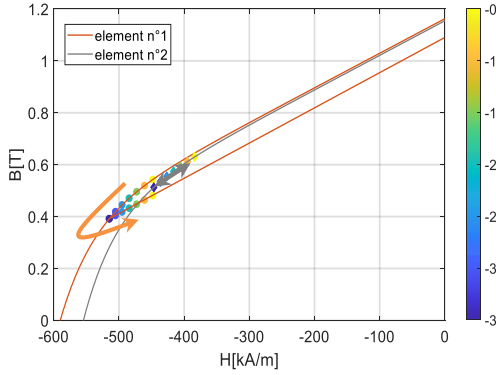
Principaux Résultats

- **Réduction de modèles**
  - Machine en défaut
  - 11 fois plus rapide
  - Précision de 2,5 %

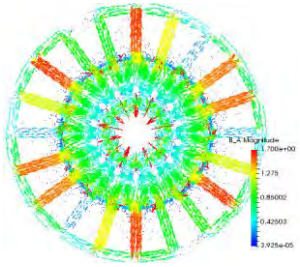


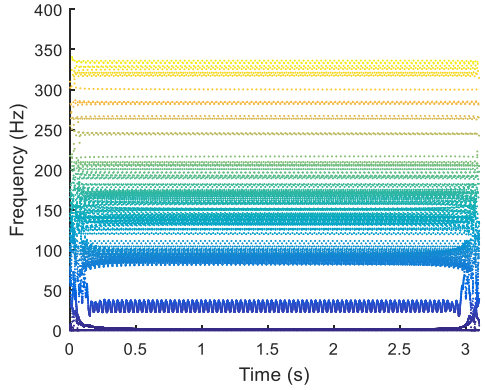
- **Couplage multi-physiques (thermique, Aéraulique , mécanique)**
  - Désaimantation en fonction de la température
  - Prise en compte des vibrations
  - Prise en compte de circulation d'air dans la machine





- **Détection de défaut**
  - Analyse des mesures issues d'un capteur de flux
  - Mise en œuvre de la transformation de Hilbert Huang

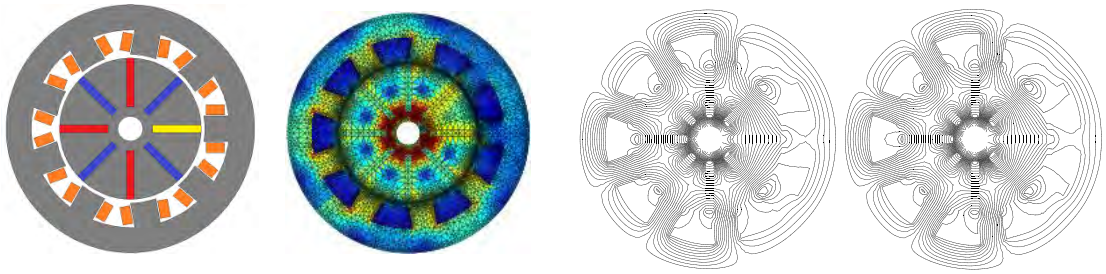




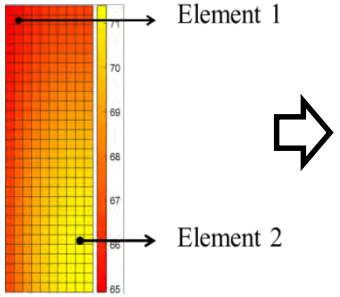
UNION EUROPEENNE
l'Europe s'engage en Hauts-de-France avec le FEDER
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Région Hauts-de-France

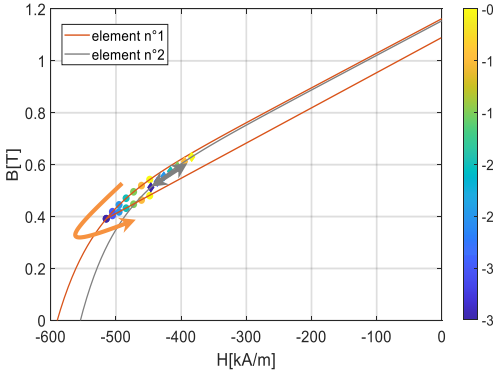
Principaux Résultats

- **Réduction de modèles**
  - Machine en défaut
  - 11 fois plus rapide
  - Précision de 2,5 %

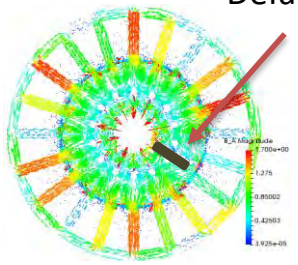


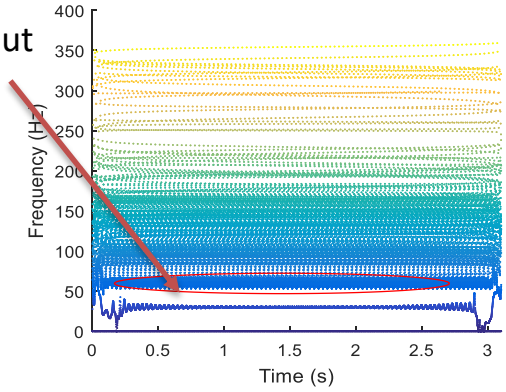
- **Couplage multi-physiques (thermique, Aéraulique , mécanique)**
  - Désaimantation en fonction de la température
  - Prise en compte des vibrations
  - Prise en compte de circulation d'air dans la machine





- **Détection de défaut**
  - Analyse des mesures issues d'un capteur de flux
  - Mise en œuvre de la transformation de Hilbert Huang



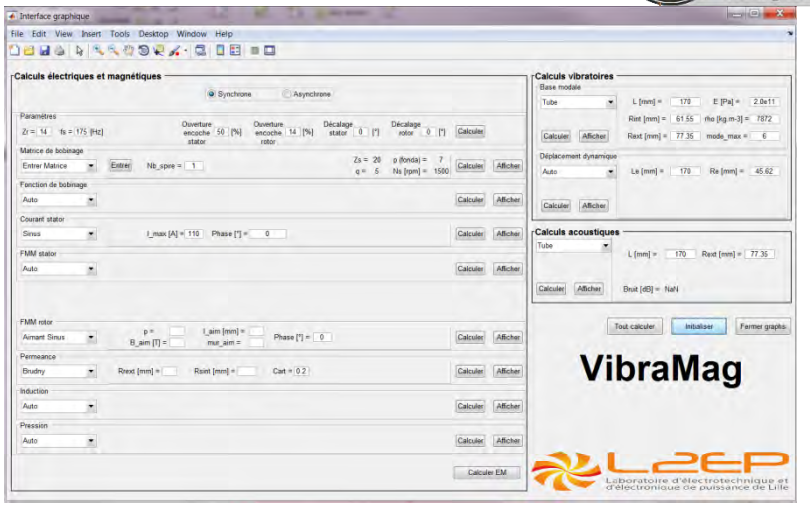


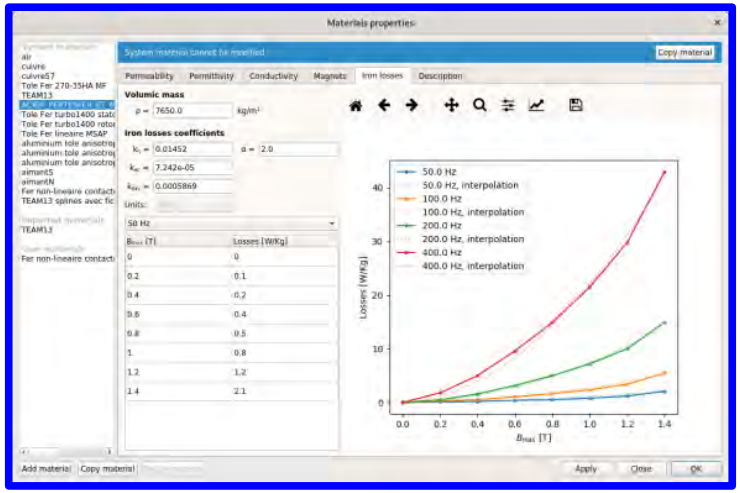
UNION EUROPEENNE
l'Europe s'engage en Hauts-de-France avec le FEDER
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Région Hauts-de-France

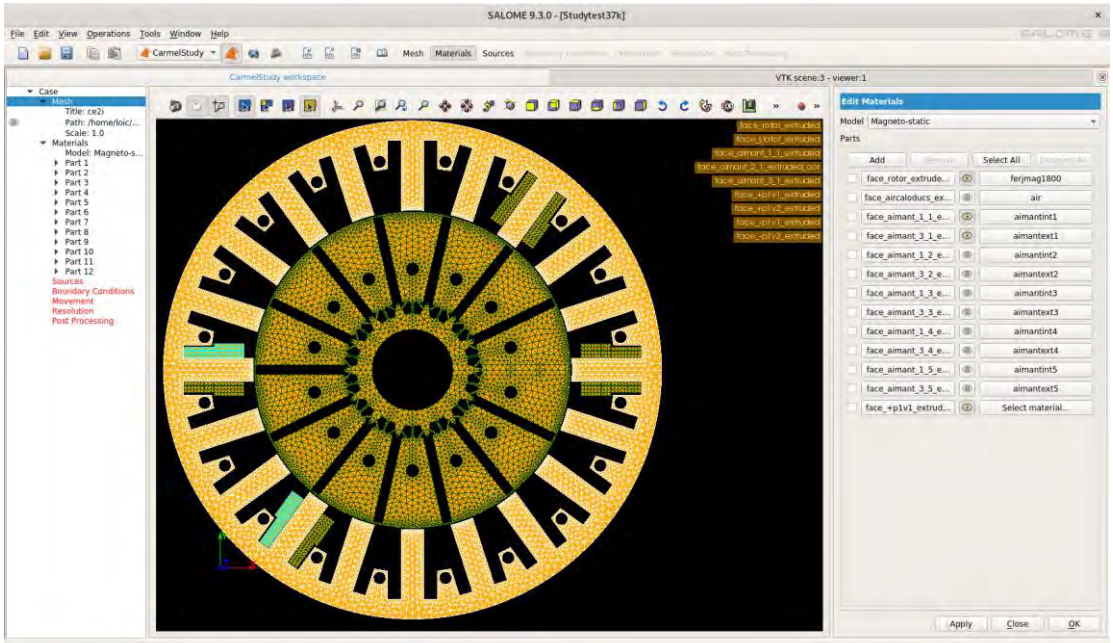
Principaux résultats

Développement d'outils numériques

- Mise en place d'une base de donnée matériaux
- Outil générique analytique réalisée (VibraMag)
- Développement de Sophemis Topo
- Interface Code_carmel / feuille de calcul de conception
- Couplage SAME Code carmel (en cours)







UNION EUROPEENNE

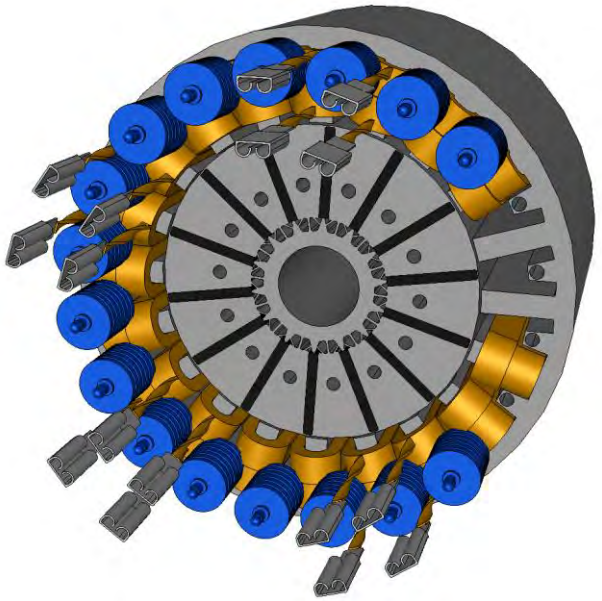
l'Europe s'engage en Hauts-de-France avec le FEDER

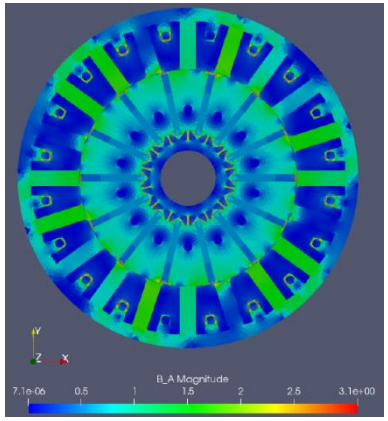
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Région Hauts-de-France

3. Perspectives

- **Simulation Temps réel**
  - Amélioration des solveurs
- **Co Simulation machine + convertisseurs**
  - Couplage entre logiciels
- **Prise en compte du vieillissement des matériaux**
  - Développement de modèles évolutifs
- **Rendre la machine encore plus intelligente**
  - Mise en œuvre de l'IA à l'aide des données des prototypes réels





UNION EUROPEENNE
l'Europe s'engage en Hauts-de-France avec le FEDER
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Région Hauts-de-France

convertisseur d'énergie Intégré Intelligent

15 novembre 2022

Vers le jumeau numérique

Remerciements : Amed ABOUTAJ, Nidhal BEN HASSINE, Wissem BEKIR, Guillaume CARON, Kévin DARQUES, Florent DELAYE, Ghislain DESPRET, Moustafa EL AIT , Reda EL BACHARI, Emna JAIEM, Nabil M'ZALI, Bilquis MOHAMODHOSEN, Sylvain SHIHAB, Nnaemeka UGWUANYI et Jiang ZHANG

Questions ?

L2EP Laboratoire d'électrotechnique et d'électronique de puissance de Lille

Université de Lille

UNION EUROPEENNE

l'Europe s'engage en Hauts-de-France avec le FEDER

Liberté • Égalité • Fraternité RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Région Hauts-de-France