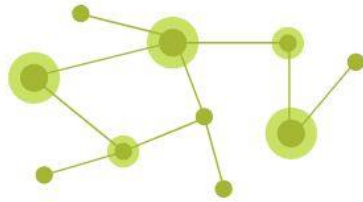


Caractérisation et Modélisation d'Aimants Permanents Fabriqués par Impression 3D

Wissem BEKIR, L2EP, Univ. Lille

ÉNERGIE
ÉLECTRIQUE 4.0



Comité de suivi EE4.0 – axe 1

15 février 2024



Fabrication additive des aimants permanents et contrôle de la qualité d'aimantation au travers du champ rayonné

Le projet dans sa globalité s'intitule « Diagnostic par **champ rayonné des composants** et dispositifs pour la conversion d'énergie électrique »

Les présents travaux s'inscrivent dans **l'axe 1 matériaux et composants du Génie Electrique**

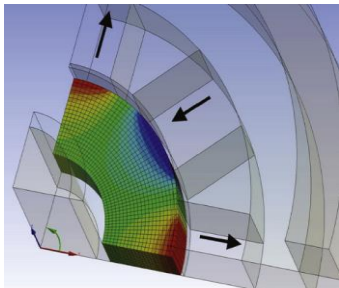
- Ouverture thématique vers:

- Les nouvelles technologies: Matériaux et Procédés



Les Aimants Permanents

- Des matériaux magnétiques « durs »
- Propriétés magnétiques sont déterminées par:
 - Les propriétés intrinsèques des composés qui les constituent
 - La microstructure du matériaux obtenu, liée au procédé de fabrication
- Principalement 4 familles : NdFeB, Alnicos, Ferrites durs, SmCo



Les Aimants Permanents et la Conversion d'Énergie

Fortement utilisés dans les machines électriques

- Besoins en termes de Caractérisation et Modélisation
- Prise en compte des contraintes d'utilisation (ex: $T^\circ \rightarrow$ perte d'aimantation)



Fabrication Additive des Aimants Permanents

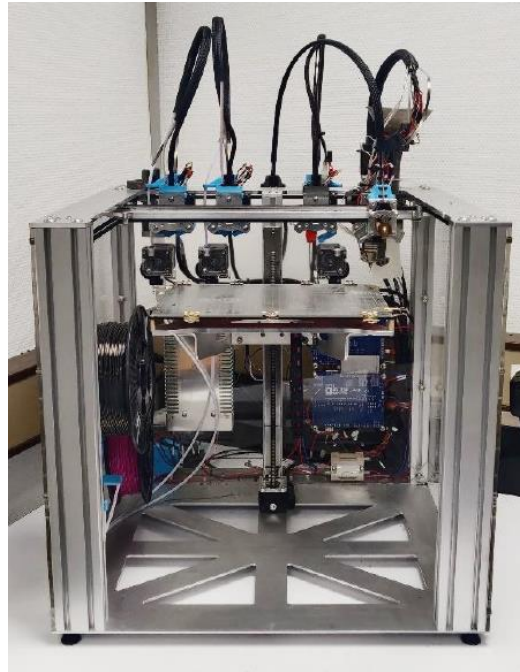
Degré de liberté sur la géométrie et prototypage rapide

- Maîtrise du procédé
- Caractérisation des performances des aimants obtenus
- Modélisation et résolution de problèmes inverses

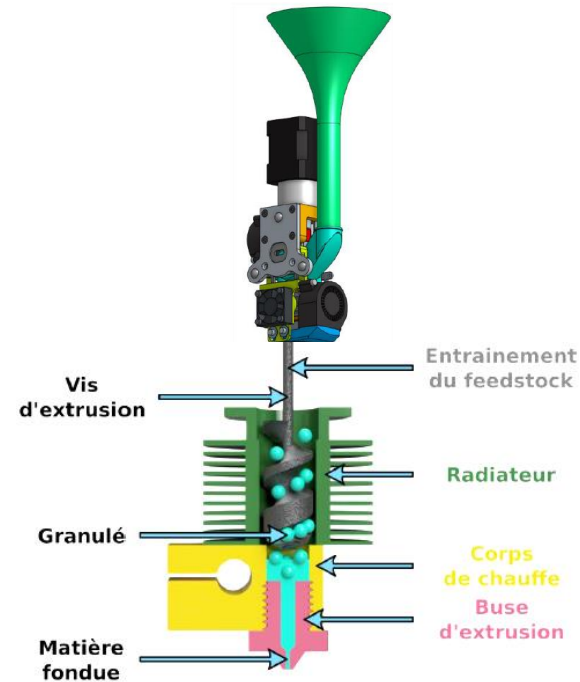
Dispositif de fabrication additive et matière première

Méthode d'impression: Fused Granular Fabrication (FGF)

Imprimante E3D Tool changer



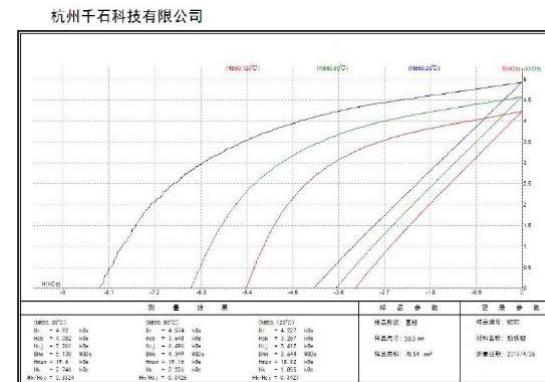
Extrudeuse Mahor XYZ



Feedstock granulés de polymère chargés de poudre de NdFeB



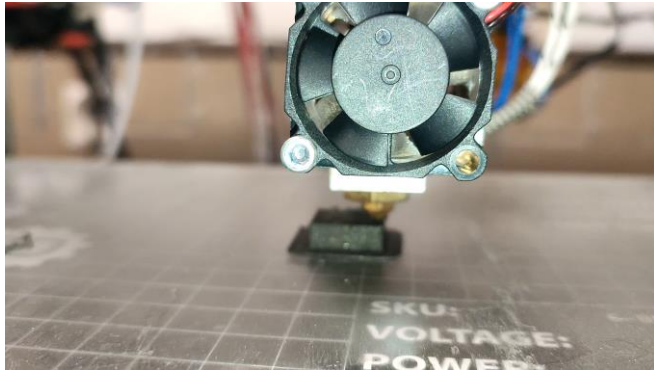
Datasheet granulés



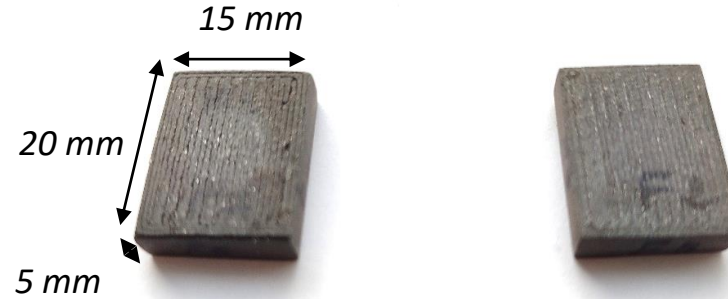
- Br = 0,49 T ~ 0,54 T
- Hcb >= 278 kA/m
- HcJ >= 597 kA/m
- 65% en volume de NdFeB et 35% de polyamide (Nylon-12)

V. Martin (2023). FABRICATION ADDITIVE DE COMPOSANTS PASSIFS PAR OPTIMISATION TOPOLOGIQUE (Thèse de doctorat). Ecole centrale de Lille

Impression et Caractérisation



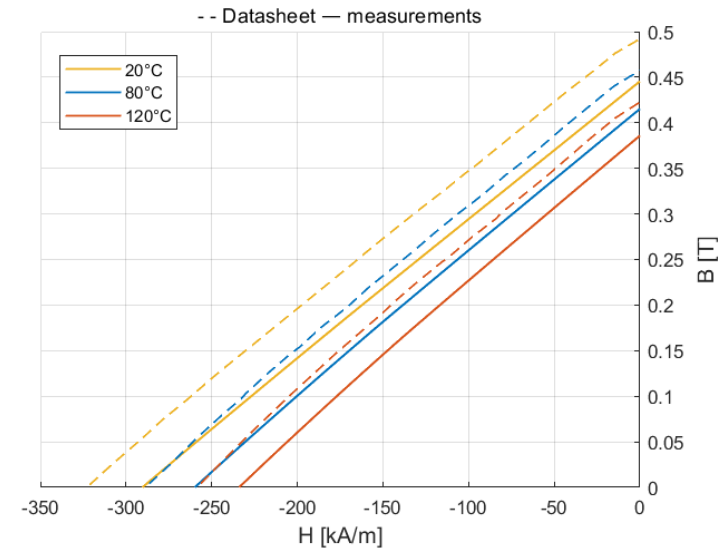
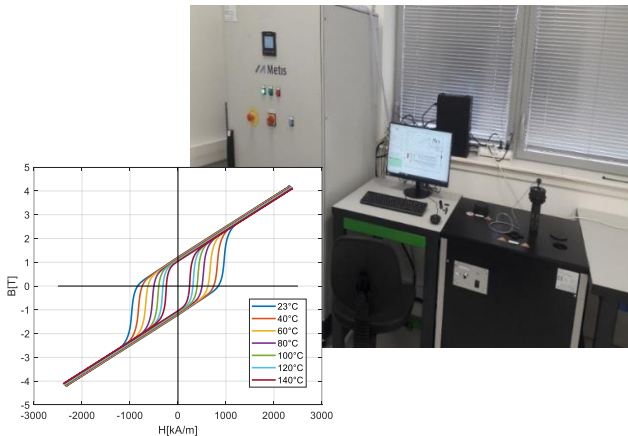
Aimants imprimés (après polissage)



Température d'impression: 235°C
Température de la chambre: 190°C
Température plateau: 90°C

Les aimants ont été aimantés et caractérisés après impression

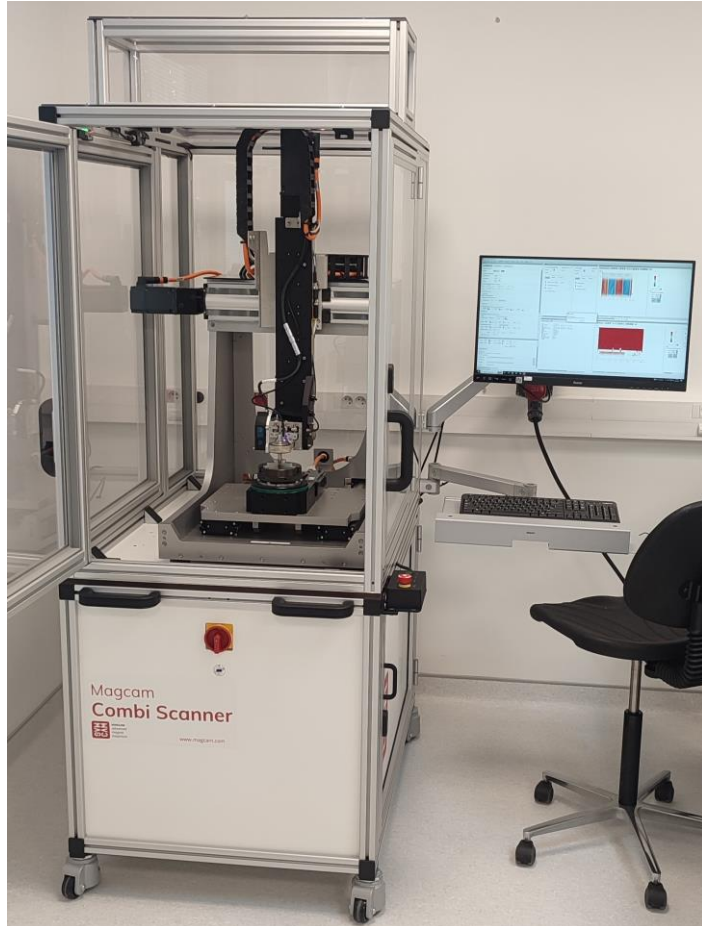
Equipement de caractérisation des aimants (CE2I)



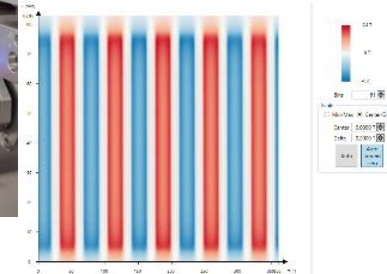
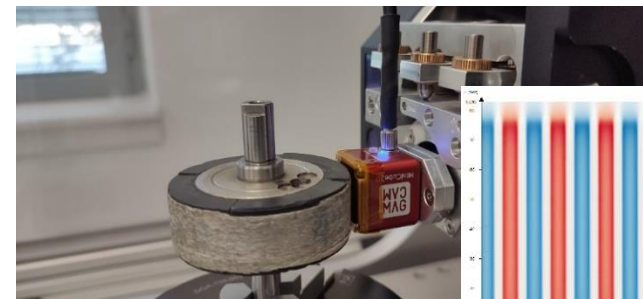
- $B_r = 0.445 \text{ T}$
- $H_{cb} = 290.5 \text{ kA/m}$
- $H_{cJ} = 660.7 \text{ kA/m}$

Cartographie de B dans l'Air

Dispositif de caractérisation (Équipement reçu en Mars 2023)

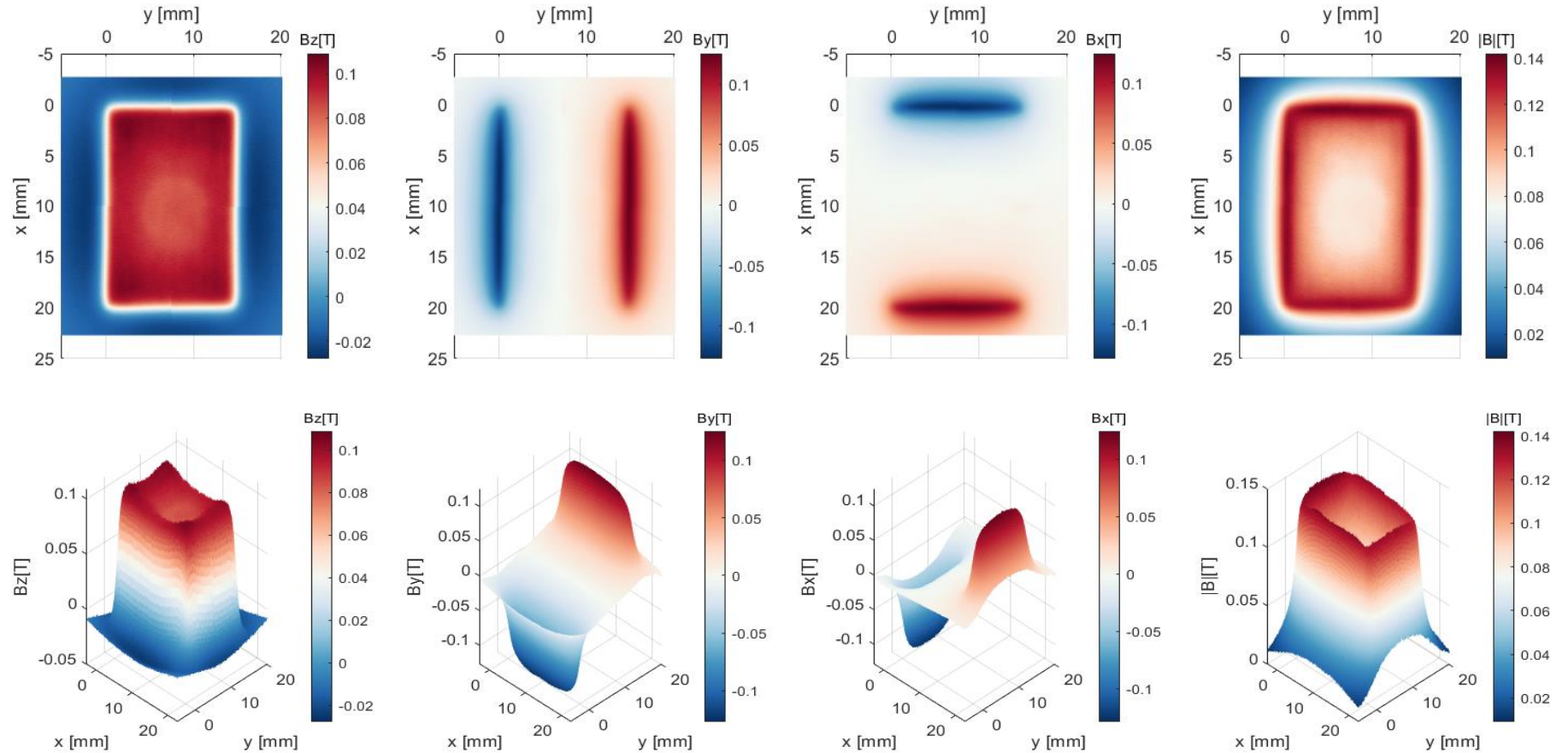
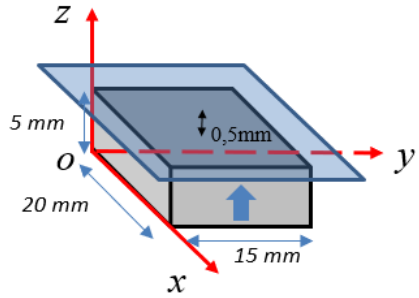


Matrices de 128x128
capteurs a effet hall
sur 12,7x12,7 mm

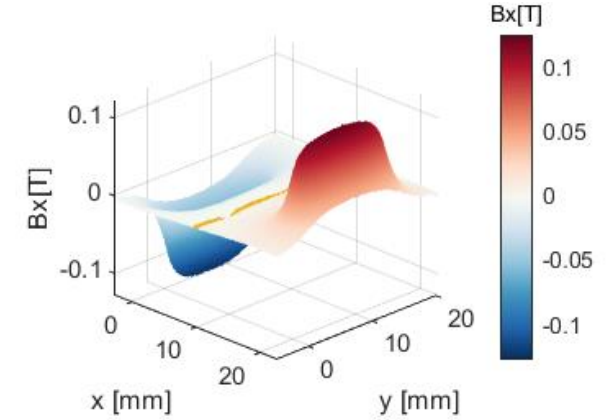
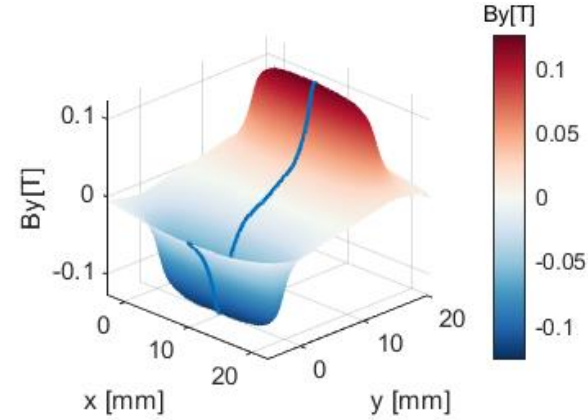
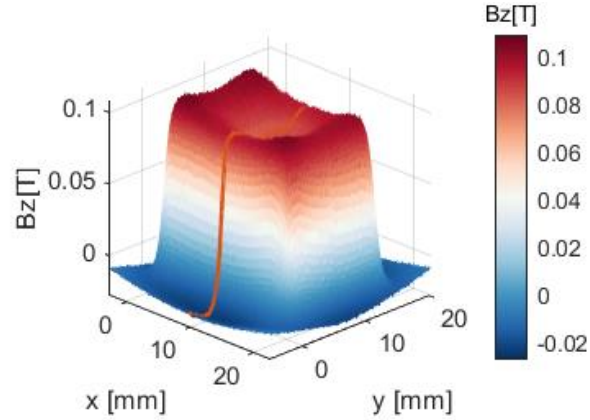
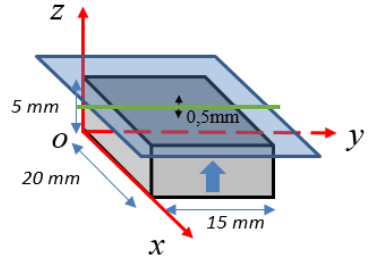


Cartographie de B dans l'Air

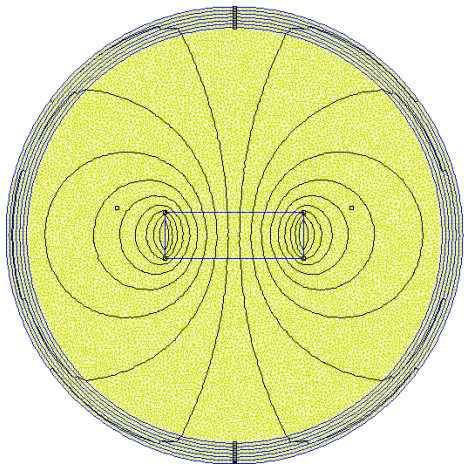
Cartographie du champ rayonné à 0,5 mm de la surface de l'aimant



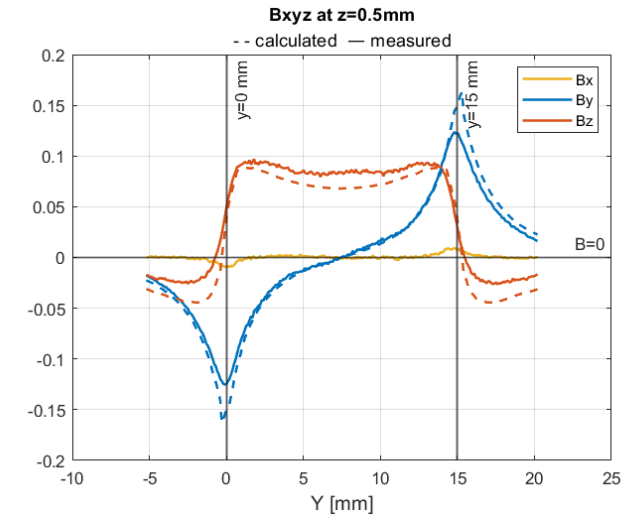
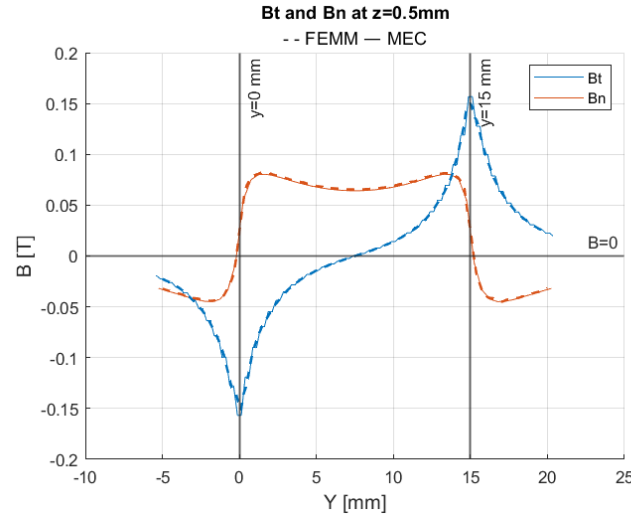
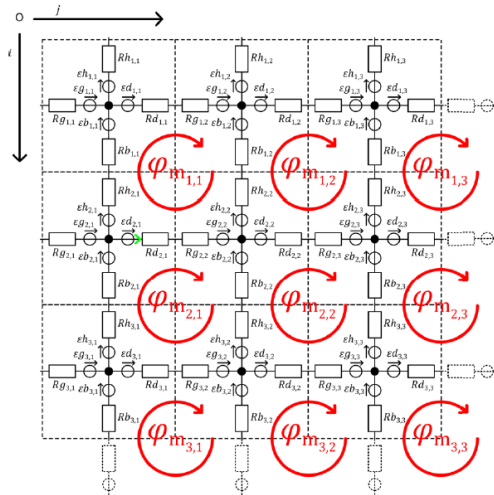
Modèles 2D



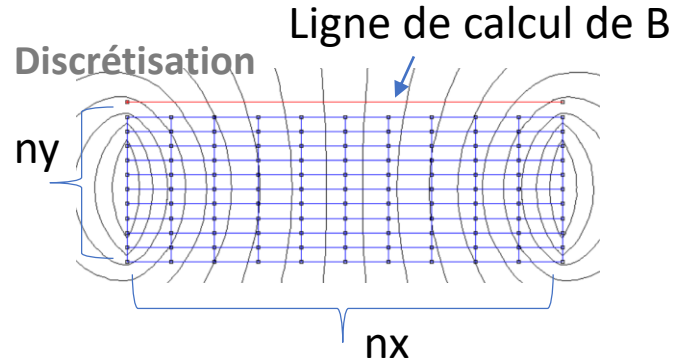
Modèle EF2D



Modèle MEC



Problème inverse en 2D



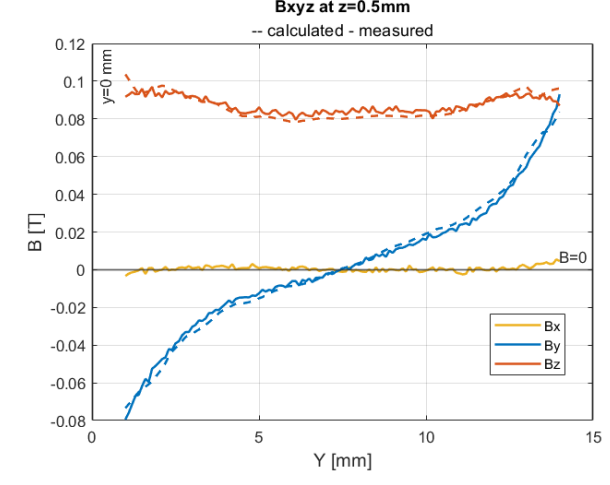
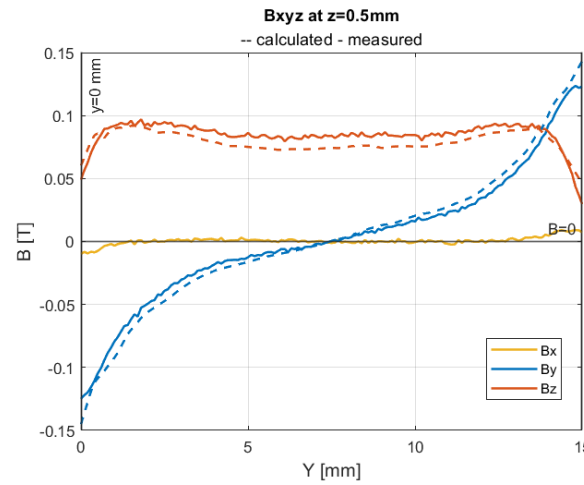
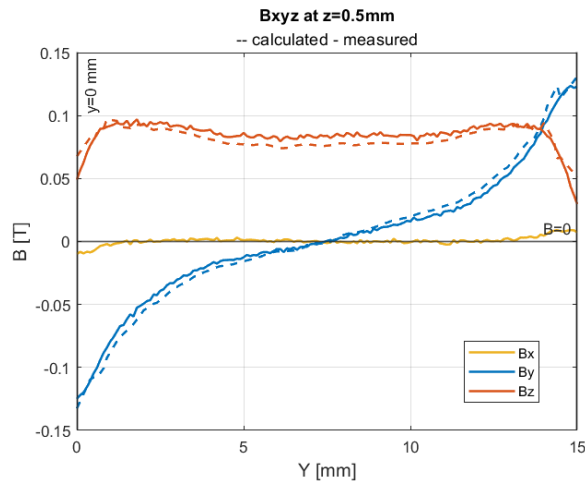
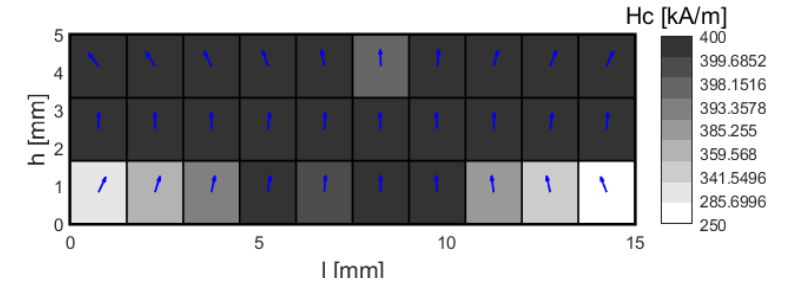
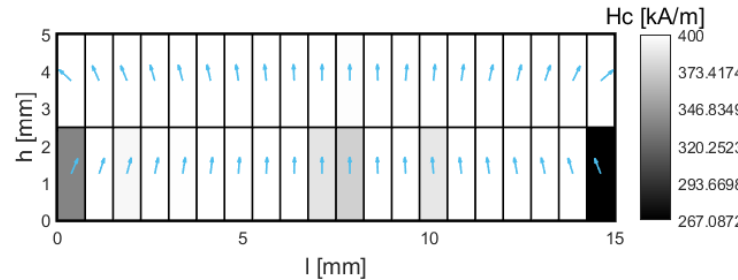
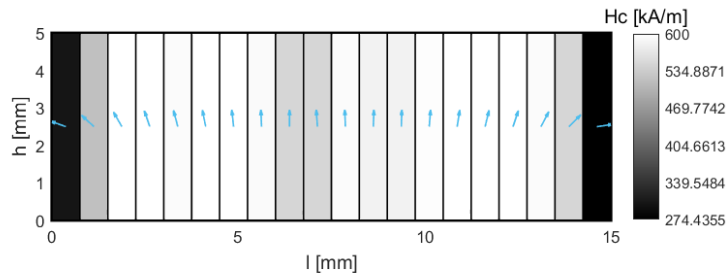
Problème d'optimisation

$$\min_{H_c, \theta_m, \mu_r} f(x) = (B_{z_measured} - B_{z_calculated})^2 + (B_{y_measured} - B_{y_calculated})^2$$

$$0 \leq \theta_m \leq 180$$

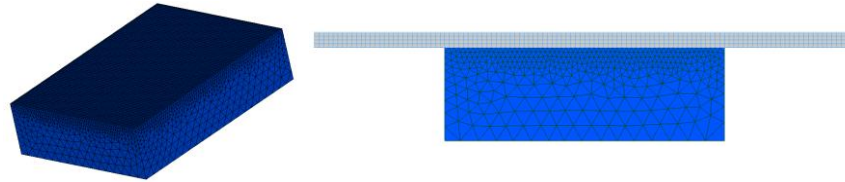
$$50 \leq H_c [\text{kA/m}] \leq 400$$

$$1 \leq \mu \leq 1.5$$

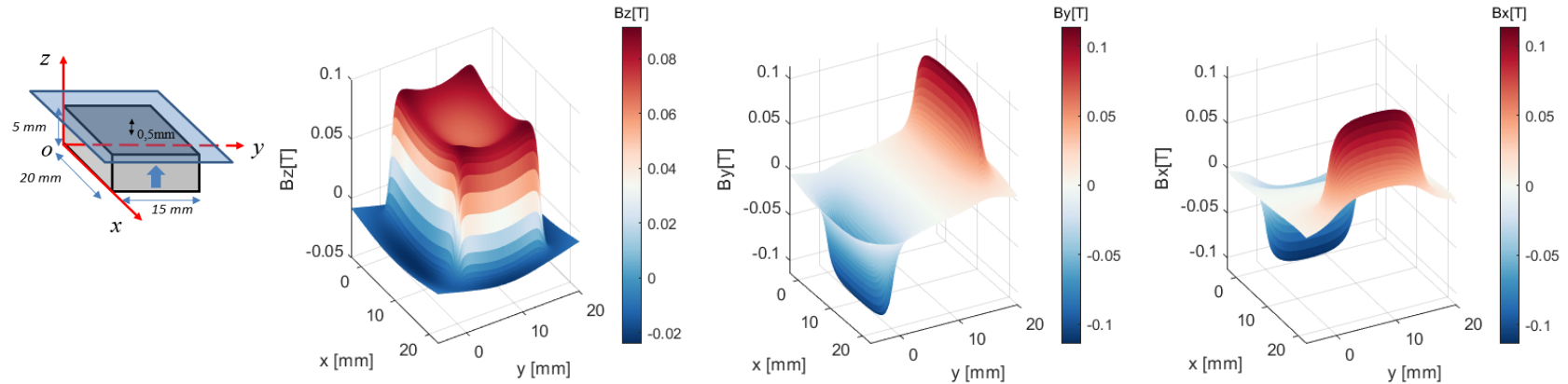


Modèles 3D

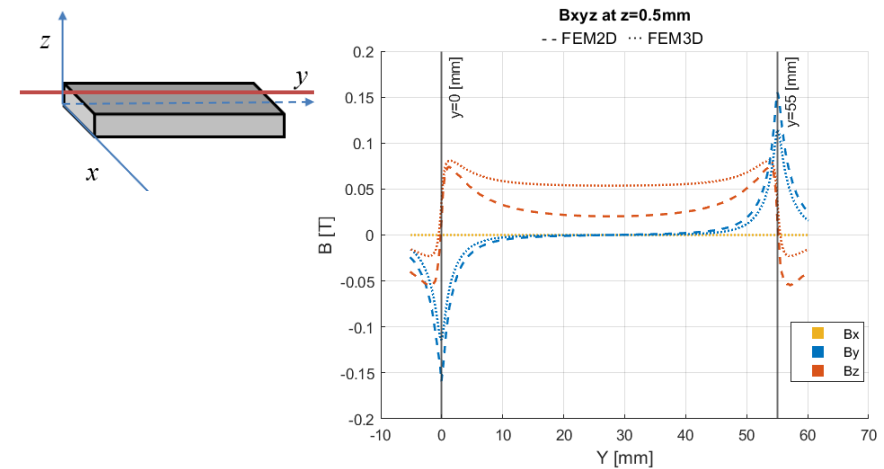
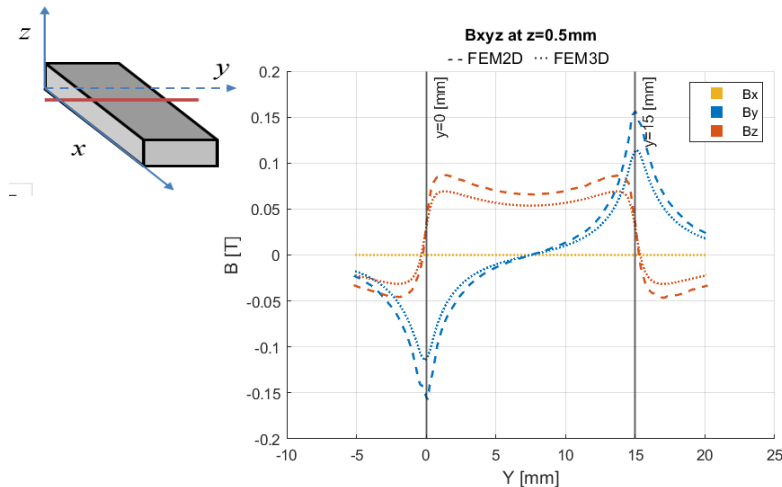
Modèle EF3D:



Résultats:



Comparaison:



- Exploiter des modèles analytiques 3D pour trouver un compromis entre précision et temps de calcul
- Implémentation des méthodes numériques pour le diagnostic basé sur le champ rayonné en 3D
- Mise en œuvre d'optimisation topologique des aimants permanents.

Merci !

QUESTIONS ?

Production scientifique :

Remerciements au projet CPER EE4.0 :

« This work has been achieved within the framework of EE4.0 (Energie Electrique 4.0) project. EE4.0 is co-financed by European Union with the financial support of the European Regional Development Fund (ERDF), French State and the French Region of Hauts-de-France. »

INDISPENSABLE

