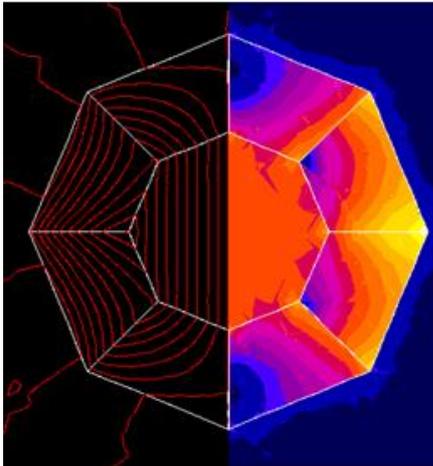


Trinity College Dublin, Irlande (1991-94) :

Responsable du programme *Sources de flux à Aimants / 5 brevets Européens*

Le **cylindre de Halbach** est une configuration particulière d'aimants permanents qui produit des champs magnétiques homogènes et uniformes, fixes ou variables sans apport d'énergie électrique (figures 1). A titre d'exemple, un cylindre «octogonal» de $\text{Ø}_{\text{ext}} 50 \times \text{Ø}_{\text{int}} 25 \times L 50 \text{ mm}^3$ en NdFeB (photo 2) produit 0,6 T en son centre, homogène à 10^{-2} dans un volume de $2 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3$.



Figures 1 : Lignes équiflux et dégradé de champ dans un cylindre de Halbach infiniment long. Les flux de fuite sont en théorie nuls



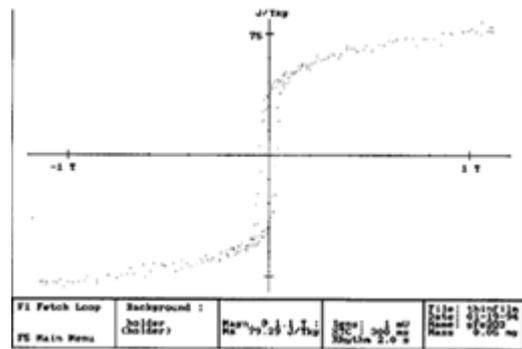
Photo 2 : Cylindres de Halbach en NdFeB massif 0,6 T (gauche) et composite 0,3 T (droite)

Autour de ces diverses configurations d'aimants permanents j'ai développé plusieurs instruments de mesures magnétiques innovants, de laboratoire ou portables, qui offrent par rapport à leurs prédécesseurs basés sur des électro-aimants conventionnels un gain considérable en poids et encombrement, puisqu'ils s'affranchissent des solénoïdes et noyaux, sources de courant et systèmes de refroidissement.

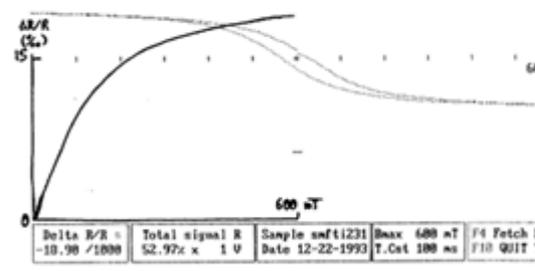
Le principal instrument développé est un **magnétomètre à échantillon vibrant VSM** jusqu'à $\pm 1,2 \text{ T}$ (brevet, photo 3). L'instrument ne pèse que 25 kg pour un volume interne de champ homogène de 8 cm^3 (volume utile de mesure entre bobines de détection : 10 mm^3). Entièrement automatisé, il mesure un cycle d'hystérésis complet en 4 minutes, avec une précision de $4 \cdot 10^{-4} \text{ uem}$ (figures 4). Il a remplacé l'ancien appareillage du laboratoire qui pesait 300 kg et mesurait un cycle en une 1/2 heure, sous surveillance humaine.



Photo 3 : Magnétomètre compact à échantillon vibrant
Champ variable 0 +/- 1,2 T, sensibilité 10^{-5} uem
Acquisition numérique automatisée



Figures 4a : courbe d'aimantation d'une couche mince d'hématite (50 µg), après soustraction numérique du signal diamagnétique du porte échantillon



Delta R/R = Total signal R Sample smft1231 Bmax 600 mT F4 Fetch
-10.90 /1000 52.97x x 1 V Date 12-22-1993 T.Cst 100 ms F10 QUIT

Création ab-initio d'un magnétomètre portable (1,2 kg) à champ fixe (0,3 T), basé sur un cylindre de Halbach (brevet, photo 5) pour une collaboration EMBRAPA/Brésil (J.D.Fabris, R.B.Filho). Instrument désormais utilisé in situ et en laboratoire par les pédologues Brésiliens pour l'étude et la caractérisation des sols magnétiques tropicaux (photo 6). Un instrument de ce type *aurait dû* être embarqué dans une mission vers la planète Mars pour l'étude des processus de genèse des sols martiens (finalement écarté, grosse déception...)

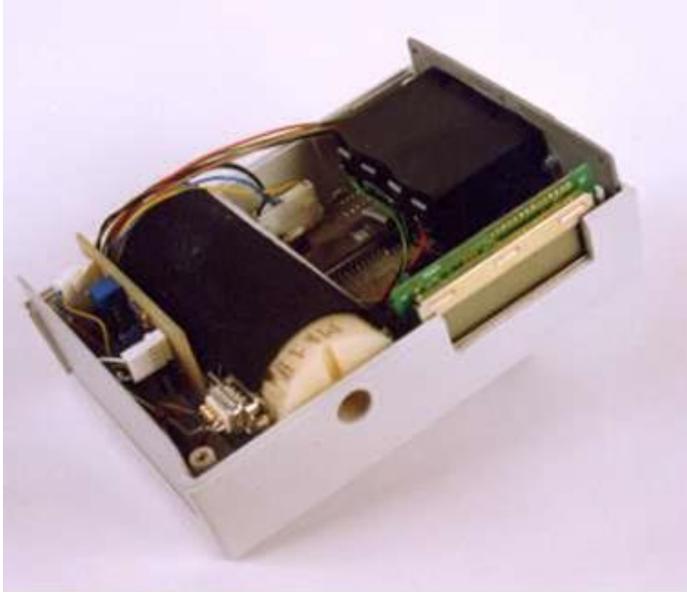


Photo 5 : Magnétomètre portable automatique - mesure des sols ferreux (brevet)

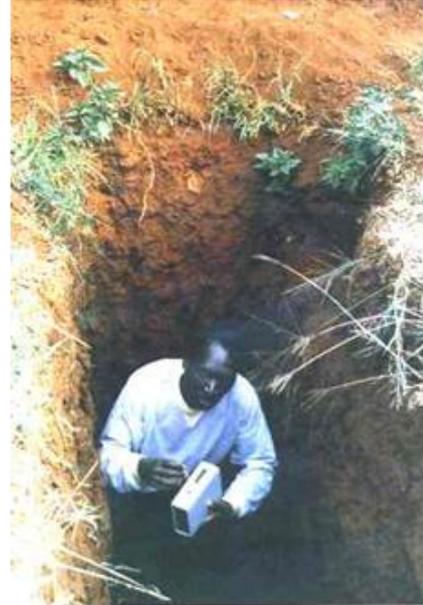


Photo 6 : Mesure de sol in-situ au Kenya

Sources à rouleaux tournants

La modélisation et la simulation de ces configurations m'ont amené à concevoir et réaliser plusieurs autres sources de flux ou gradient magnétique variables originales, à 4 et 6 cylindres tournants (brevet ; photo 7). Ces sources de flux, produisant jusqu'à $\pm 0,7$ T, permettent de garder un accès aisé au volume intérieur suivant plusieurs axes d'orientation (passage de laser, X ou Mössbauer, porte-échantillon, objectif, capteur...) tout en respectant une bonne compacité de l'instrument. La plus puissante de ces sources a été installée à Nijmegen.

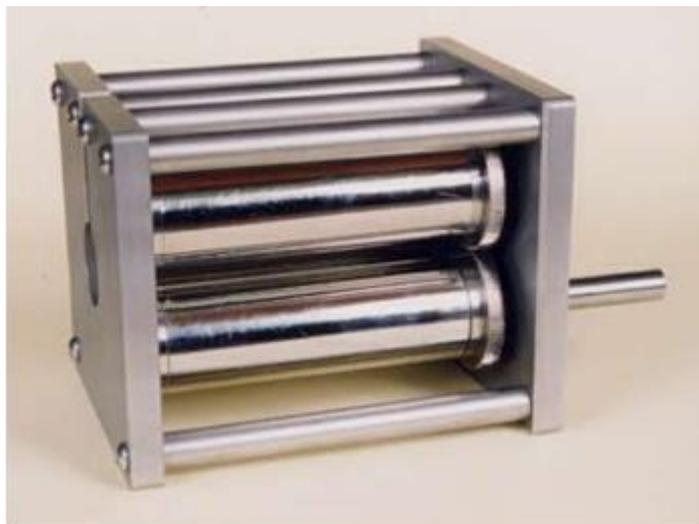
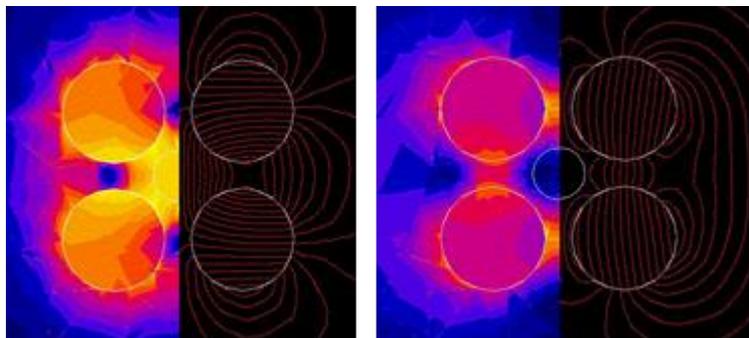


Photo 7: Source 0,7 T à rouleaux NdFeB (100x100x120 mm)



Photo 8: Produit vendu pour microscope optique équipé d'une source à 4 rouleaux ferrite (30 mT)

Plusieurs autres, plus modestes, ont été installées sur des microscopes optiques de laboratoire (photo 8) pour l'étude du magnétisme de surface, des ferrofluides, micro-organismes ferromagnétiques... Les figures 9 illustrent les résultats de simulation de champ et lignes de flux dans ces structures à champs maximum et nul.



Figures 9 : Simulations du champ et des lignes de flux d'une source à 4 rouleaux pour les positions de champ maximum et de champ nul

Autres réalisations de laboratoire:

- Mise au point d'un banc magnéto-optique automatisé à cylindres de Halbach
- Développement d'un pivot magnétique à compensation de poids (brevet).
- Automatisation d'instruments de laboratoire, dont un susceptomètre AC (4,2 à 300 K - 0,1 Hz à 100 kHz)

Magnetic Solutions est une "Campus Company" qui a été créée à Trinity College Dublin à partir des sources de flux que nous avons développées. Un contrat d'exclusivité a été passé en 1998 avec **Lakeshore-USA** pour 40 unités, pour être installées dans leur gamme de magnétomètres bas champ. J'ai été conseiller scientifique bénévole (...naïve jeunesse !) pendant qqs années, et mes idées originales sur la conception modulaire des cylindres ont permis à Magnetic Solutions de développer et commercialiser un aimant gigantesque pour le recuit sous champ de wafers de mémoires MRAM: **1 Tesla, Ø 1m40, 5 tonnes, 580 aimants hexagonaux, volume utile 12 pouces!** (photo 45).



Photo 10: Aimant modulaire 1 Tesla, Ø 1m40, 5 tonnes, 580 aimants hexagonaux pour recuit sous champ de wafers MRAM 12 pouces (Magnetic Solutions Dublin)