

Introduction

- Multiferroïsme \Rightarrow ordre magnétique et électrique simultanés [1]
- Intérêt : commander l'aimantation par un champ électrique, et la polarisation électrique par un champ magnétique \Rightarrow nouvelle génération de mémoires et dispositifs hyperfréquence [2]
- BiFeO₃ (BFO) \Rightarrow antiferromagnétique (AF) ($T_N = 640$ K) et ferroélectrique ($T_C = 1100$ K) à température ambiante

Objectif : étude en température du renversement de l'aimantation dans des bicouches de type ferromagnétique/multiferroïque (F/MF) couplées par échange.

Structure et Morphologie

- Dépôt par pulvérisation cathodique radiofréquence de BiFeO₃/Ni₈₀Fe₂₀ (BFO/Py), selon différentes épaisseurs t_{BFO} de BFO[3] : 0 nm, 29 nm et 177 nm.
- application d'un champ de 300 Oe dans le plan du film
- recuit sous air à 500 °C

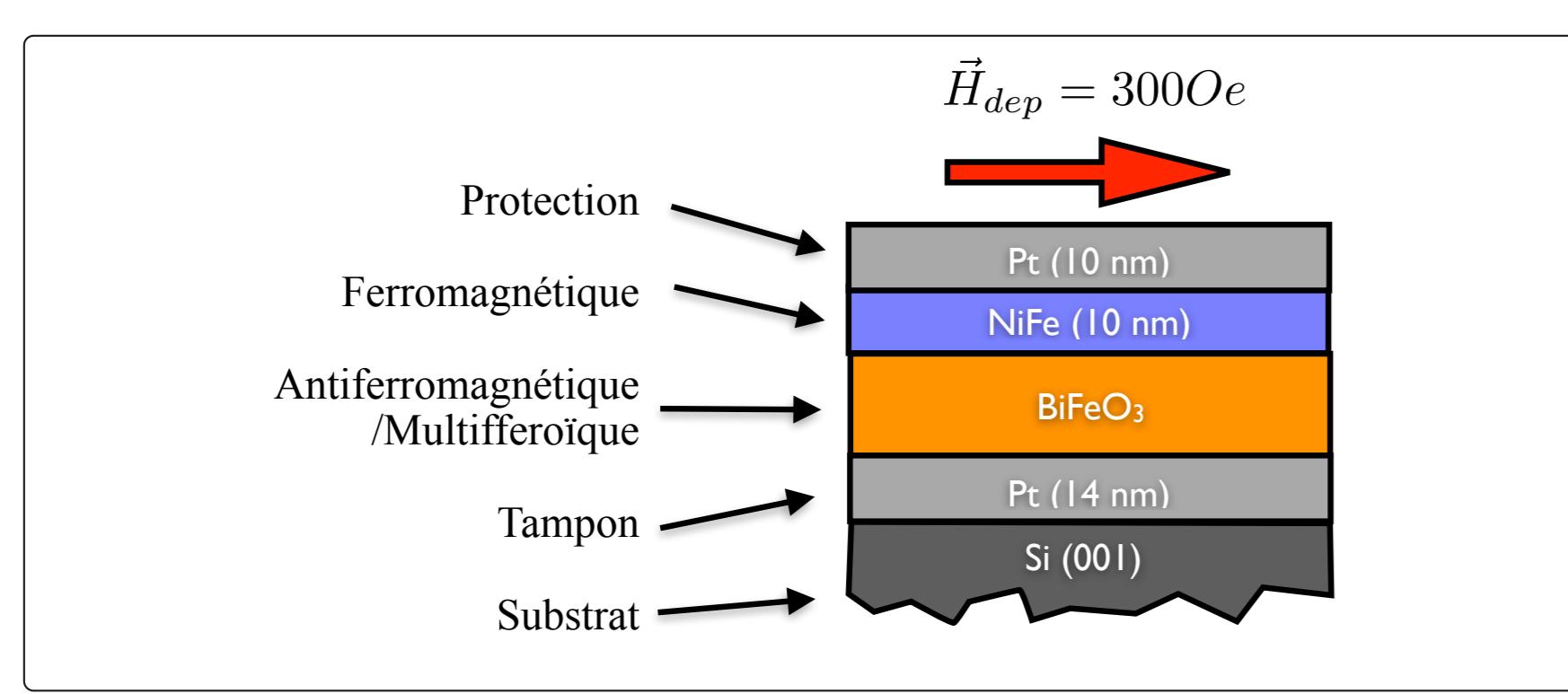


Figure: Structure des couches.

- Caractérisation AFM [4]:
 - pour $t_{\text{BFO}} < 23$ nm, $R_q \approx 1$ nm;
 - pour $t_{\text{BFO}} > 23$ nm, augmentation rapide de R_q avec saturation à 15 nm.
- Image TEM :
 - continuité des couches
 - mise en évidence du caractère polycristallin du BFO et Py

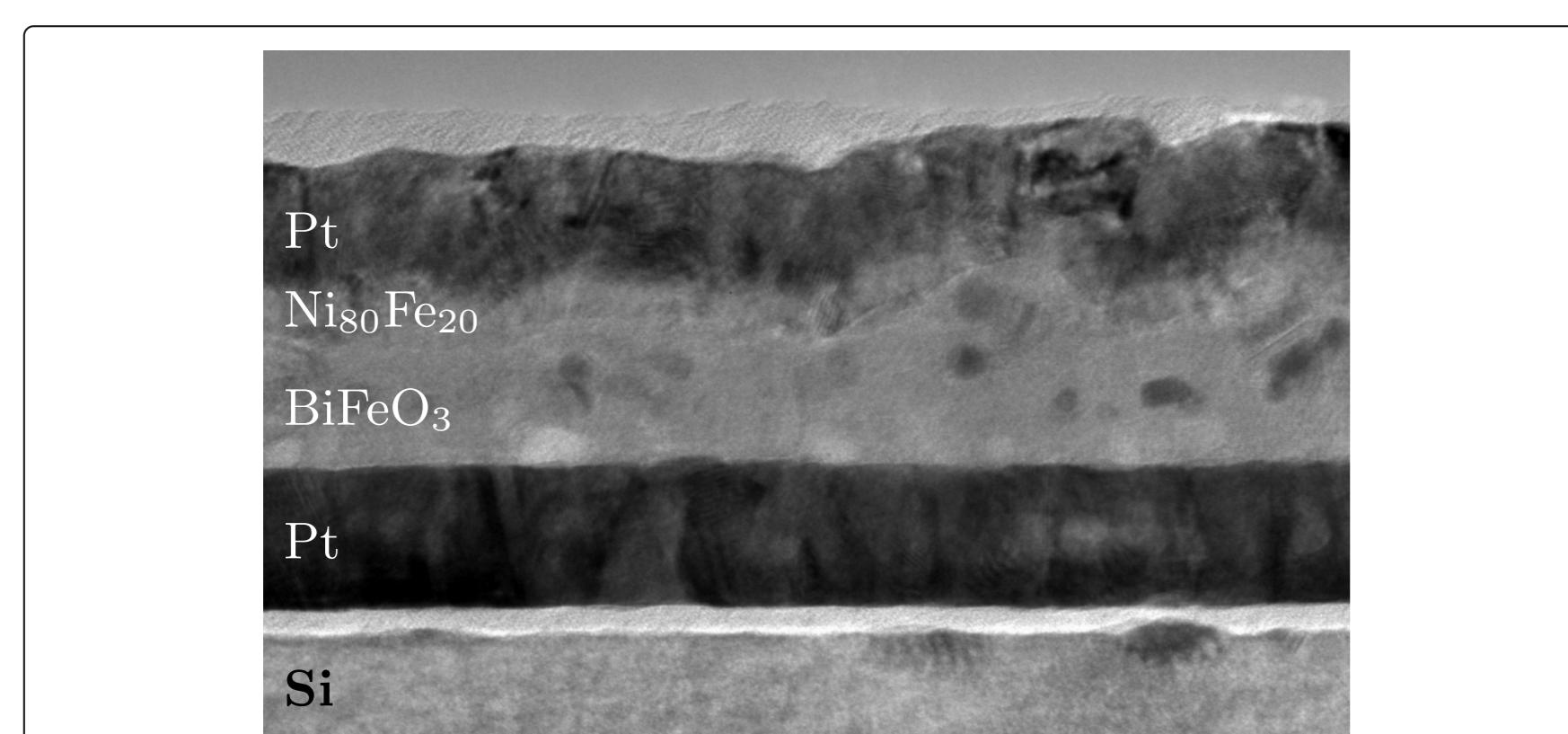


Figure: Coupe transversale au TEM pour $t_{\text{BFO}} = 29$ nm.*

- Diffraction aux rayons X
 - phase multiferroïque polycristalline et non texturée
 - stabilité de la phase en température
 - couche tampon de Pt texturé $\Delta\omega \approx 15^\circ$

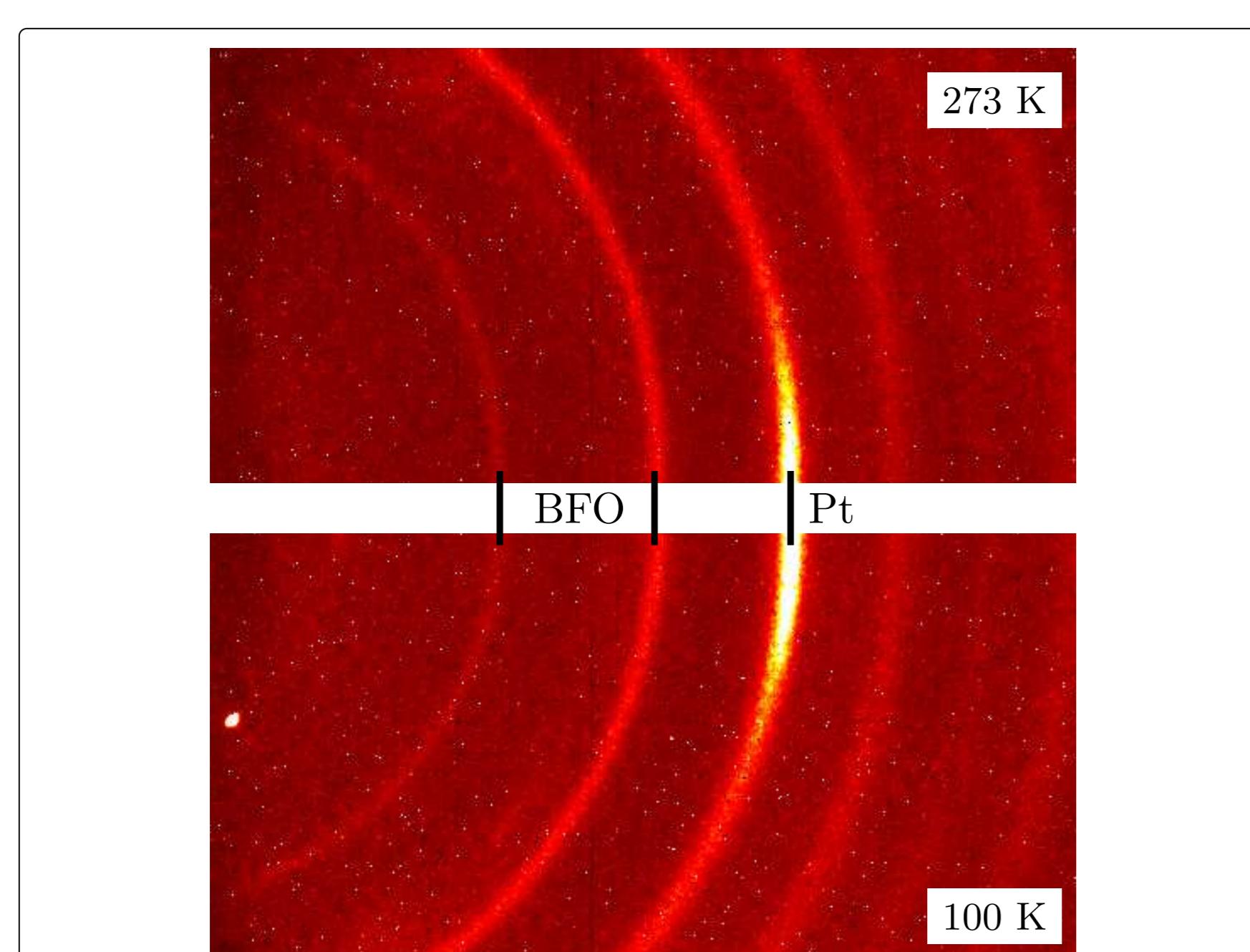


Figure: Image DRX 2D à 273 K et 100 K.

- [1] W. Eerenstein, N. D. Mathur, and J. F. Scott. *Nature*. **442**, 759 (2006).
[2] T. Zhao et al. *Nat. Mater.* **5**, 823 (2006).
[3] T. Hauguel et al. *J. Appl. Phys.* **110**, 073906 (2011).
[4] T. Hauguel et al. *J. Appl. Phys.* **112**, 093904 (2012).

Renversement en température

- Cycles à différents T après refroidissement sous champ

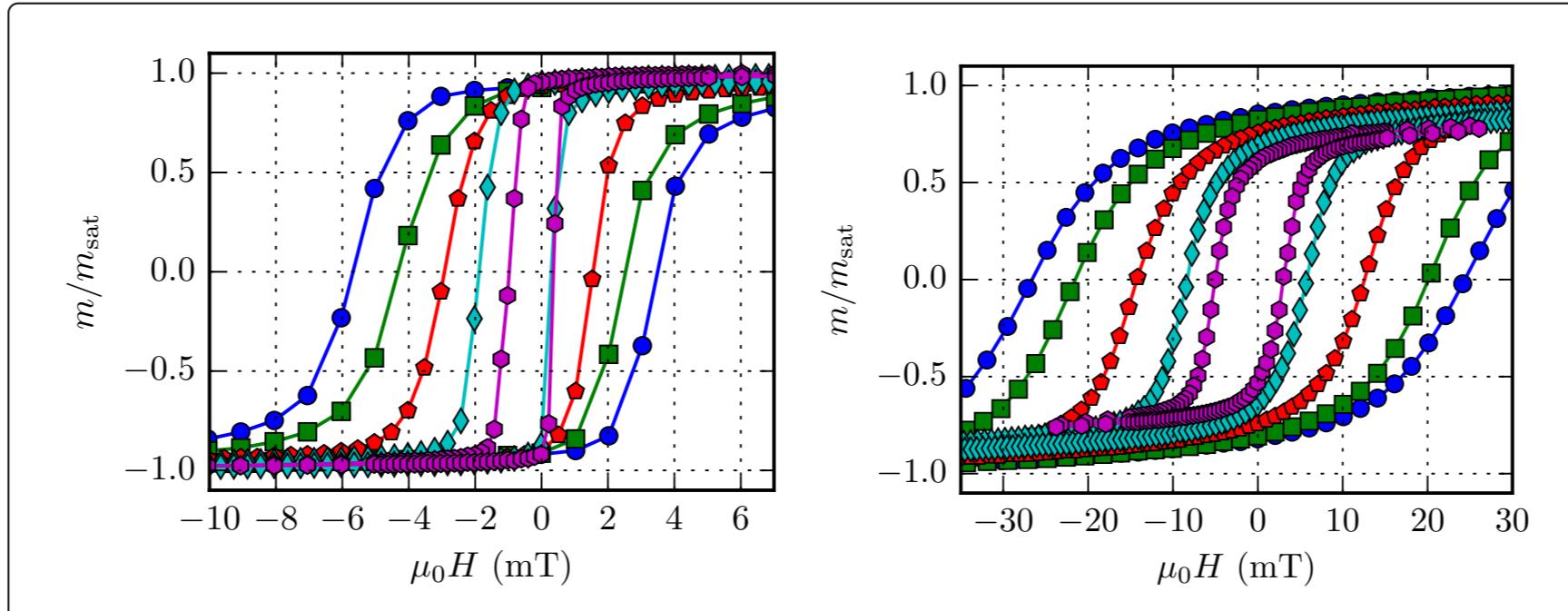


Figure: Cycles d'hystérésis pour $t_{\text{BFO}} = 29$ nm et 177 nm. $T = 10$ K (●), 25 K (■), 100 K (●), 200 K (◇), et 300 K (●).**

- Évolution de H_c et H_e en fonction de T

- décroissance attendue de H_c
- évolution non-monotone de H_e

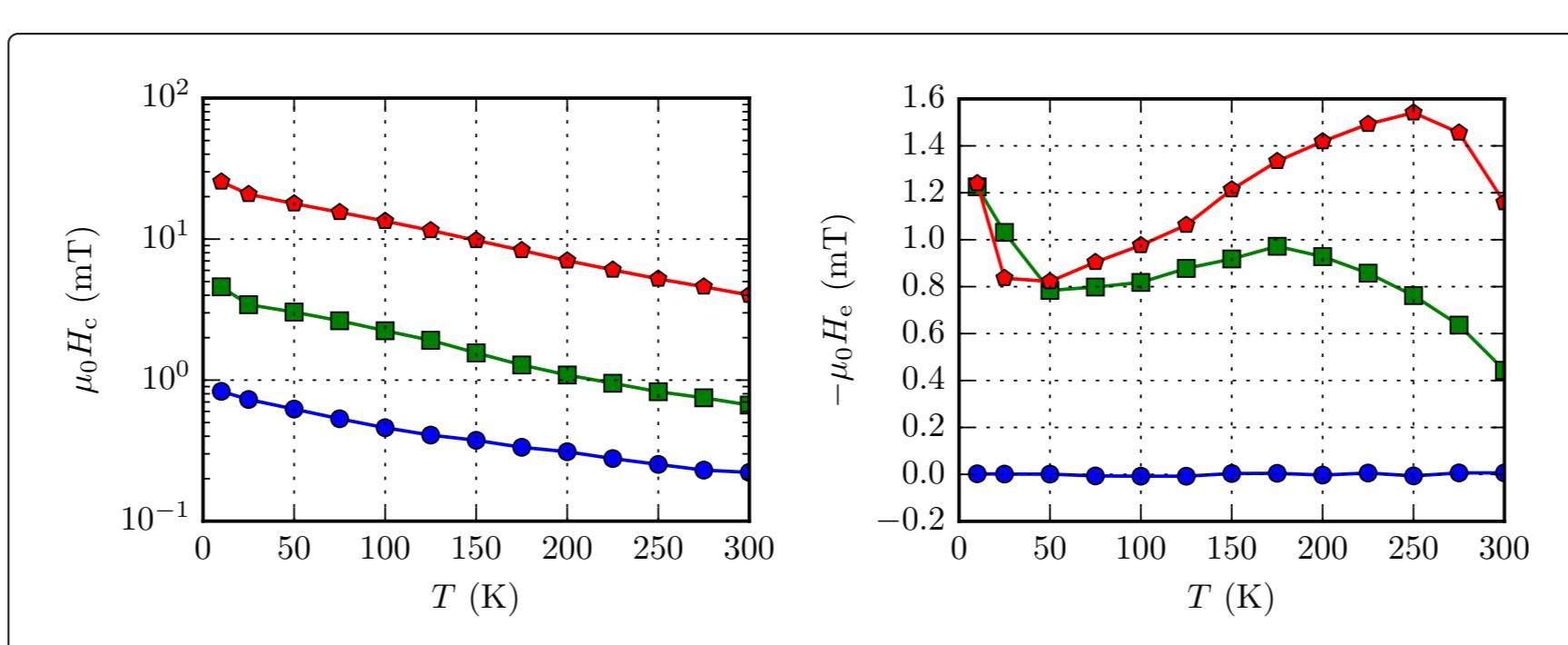


Figure: Évolution de H_c (gauche) et H_e (droite) en température pour $t_{\text{BFO}} = 0$ nm (●), 29 nm (■) et 177 nm (●).**

\Rightarrow Origine du comportement non-monotone du H_e pour un système polycristallin?

Dépendance azimutale du renversement

- Évolution azimutale de H_c à 300 K :

- caractère uniaxial du comportement
- désalignement de l'axe d'anisotropie ($\approx 30^\circ$) pour le Py seul
- réalignement de l'axe selon le champ avec le couplage du BFO
- perte de l'uniaxialité aux fortes épaisseurs de BFO
- anisotropie induite par le BFO

- Évolution azimutale de H_c à 77 K :

- développement de mesures VSM à 77 K (azote liquide)
- premières mesures azimutales sur BFO/F
- augmentation de la coercivité
- symétrie conservée à basse température

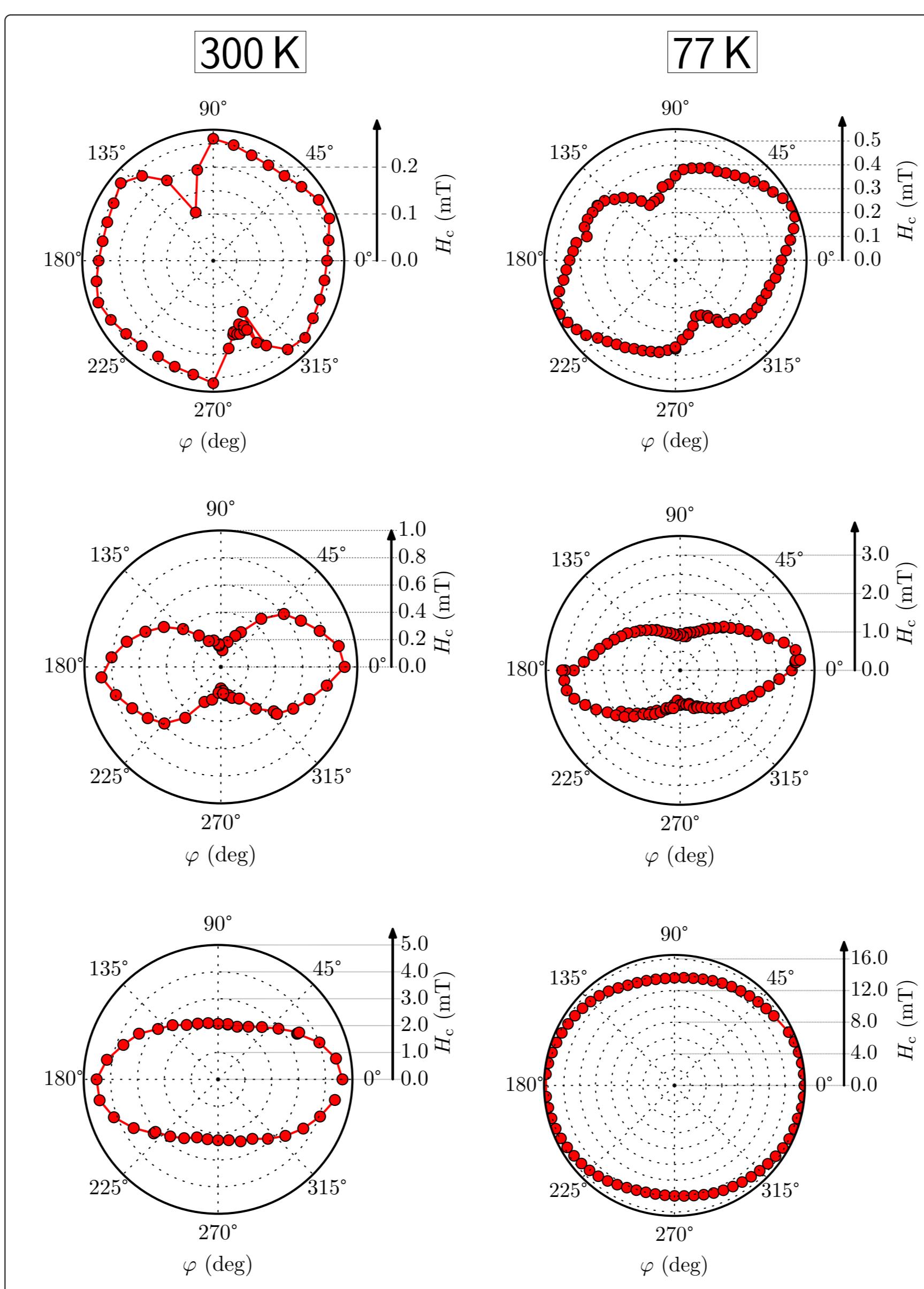


Figure: Évolution azimutale de H_c pour $t_{\text{BFO}} = 0$ nm, 29 nm et 177 nm (de haut en bas), à 300 K et 77 K.

- Évolution azimutale de H_e à 300 K :

- présence d'une anisotropie unidirectionnelle
- le rapport des anisotropies détermine la forme [5]

- Évolution azimutale de H_e à 77 K :

- pas de désalignement après refroidissement (29 nm)
- modification de la symétrie

\Rightarrow évolution du rapport/direction entre anisotropies?

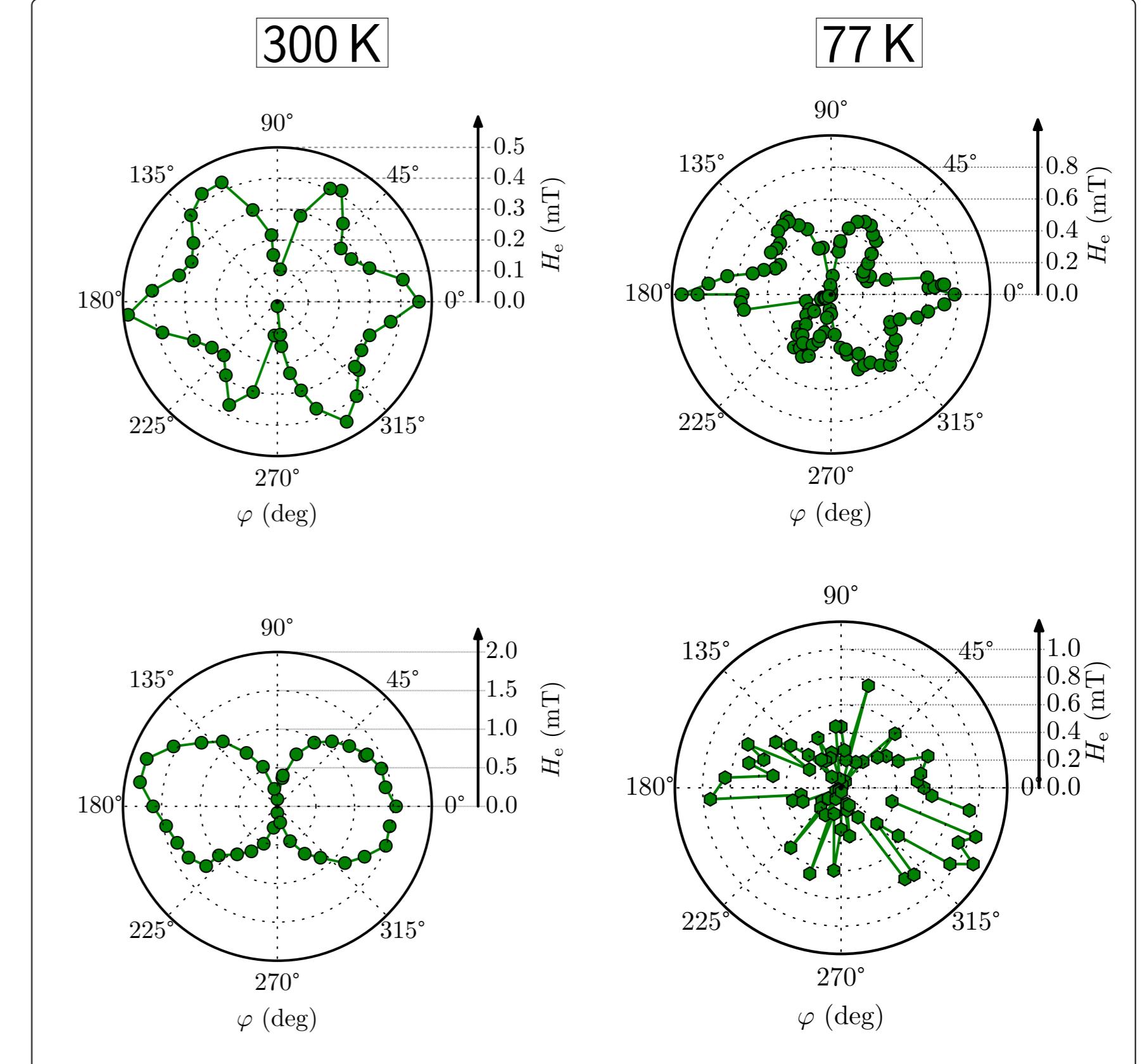


Figure: Évolution azimutale de H_e pour $t_{\text{BFO}} = 29$ nm (haut) et 177 nm (bas), à 300 K et 77 K.

Distribution de température de blocage

- Application du protocole de Soeya [6] :

- distribution bimodale [7]
 - \Rightarrow basse T : blocage graduel des spins interfaciaux
 - \Rightarrow haute T : grain AF thermiquement activé
- même comportement que pour des systèmes épitaxiés à base de BFO [8] : quid des grains?

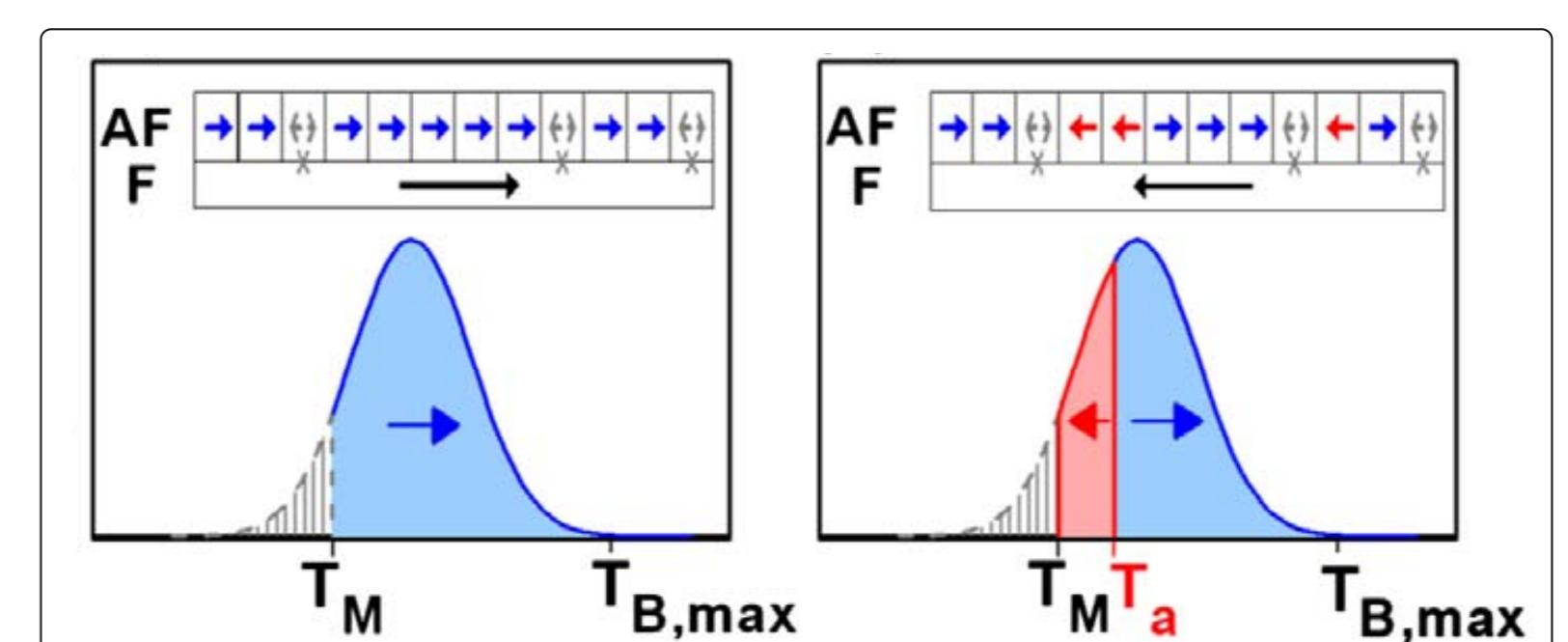


Figure: Principe du protocole de Soeya (extrait de [7]).

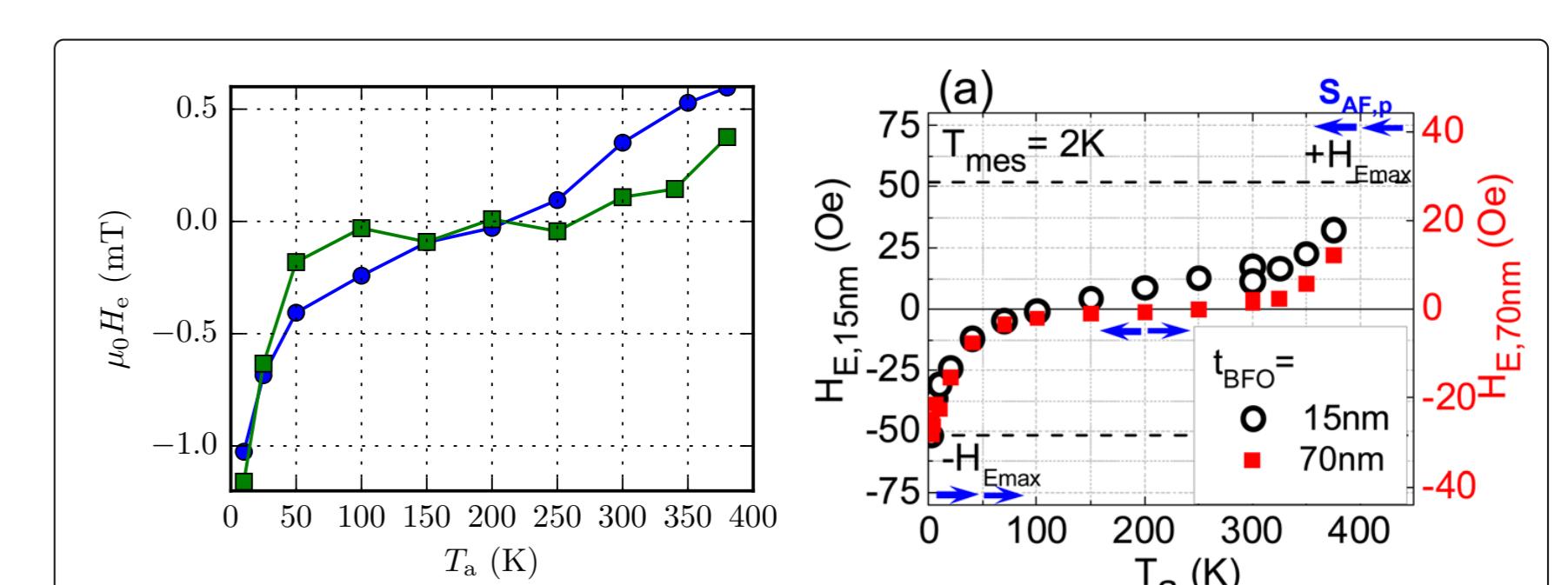


Figure: Évolution de H_e suivant le protocole de Soeya (●, 29 nm; ■, 177 nm).**

À droite, système BFO(t_{BFO})/CoFeB(4 nm) épitaxié [8].

Conclusion

- Comportement non monotone de H_e (T) pour un système polycristallin

- ne provient pas de désalignement de symétrie
- quelle origine?

- Perte du caractère uniaxial en épaisseur, quelque soit T

- Évolution des formes azimutales en épaisseur : rôle des rapports d'anisotropie

- Mesures azimutales à 77 K \Rightarrow modification de la symétrie, avec renforcement de H_e dans la direction de refroidissement

- Distribution de T_B identique au BFO système épitaxié

Perspectives :

- Simulation en température du comportement azimutal [9]

Remerciements : projet METSA*, projet Hubert Curien**