



CENTRE NATIONAL
DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



Orientation par un champ B d'un cristal liquide nématique et de colloïdes allongés (nano-bâtonnets de goethite) : vers l'obtention d'un véritable cristal liquide ferron matique

Christelle Vatry, Ali Abou Hassan, Vincent Dupuis
et Olivier Sandre

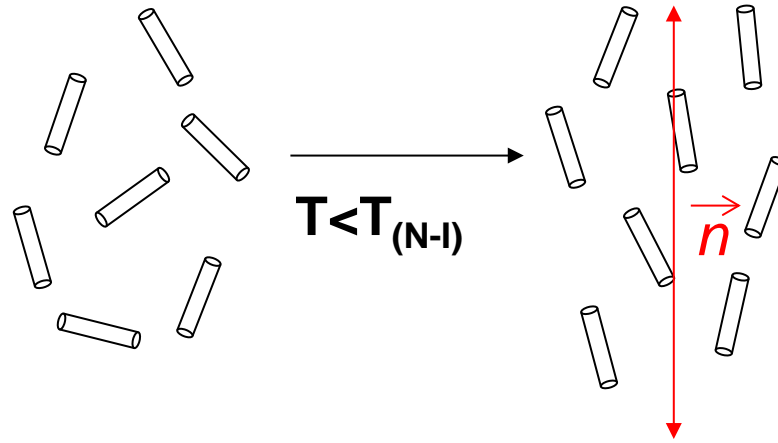
Lab. Physicochimie des Electrolytes, Colloïdes et Sciences Analytiques
UMR 7195 CNRS / Université Pierre et Marie Curie / ESPCI
4, place Jussieu - case 51
75252 Paris cedex 05 France

Plan de la présentation

- Motivation : les CL « ferronématiques » ou la quête du dopage d'un CL thermotrope par des nanoparticules inorganiques...
- Mesure de la biréfringence magnéto-optique pour étudier les propriétés d'orientation sous champ B
- Cas d'un ferrofluide : nanoparticules de maghémite
- Cas d'une suspension de nano-bâtonnets antiferromagnétiques (potentiellement CL nématique lyotrope) : la goethite
effet des paramètres de synthèse (choix de la base, de la température, du temps de réaction et du dopage par des cations paramagnétiques) sur la transition d'orientation en champ magnétique
- Cas d'un CL nématique thermotrope: effet du dopage par des nanoparticules de symétrie sphérique (maghémite) ou uniaxiale (goethite) sur le champ magnétique seuil de la transition de Fredericksz

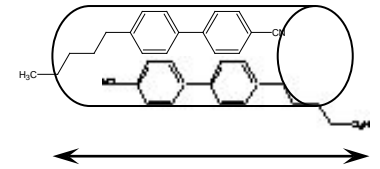
Nematic Liquid Crystals

Long-range order :



Isotropic phase

Nematic phase

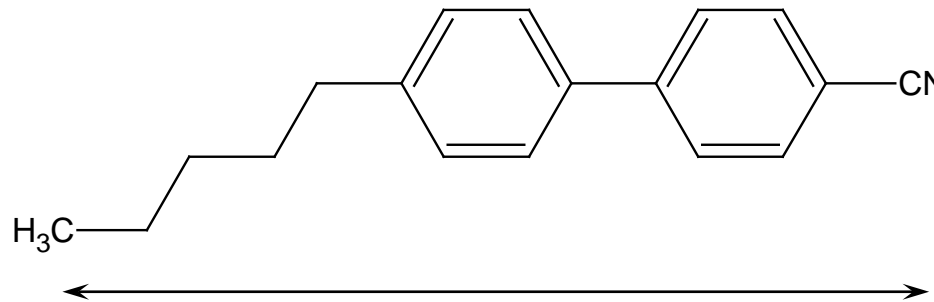


$L_{\text{eff}}=2.57 \text{ nm}$ (Π stacking)

↳ 3 elastic constants of coupling between LC molecules

↳ N phase is birefringent with uniaxial symmetry around director \vec{n}

4-pentyl-4'-cyano-biphenyl
(5CB)



$L=1.57 \text{ nm}$ (Chem 3D)

$T_{(N-I)}=35.3^\circ \text{ C}$

Fredericksz Transition: Elastic coupling (surface alignment) vs. Magnetic orientation (bulk energy)

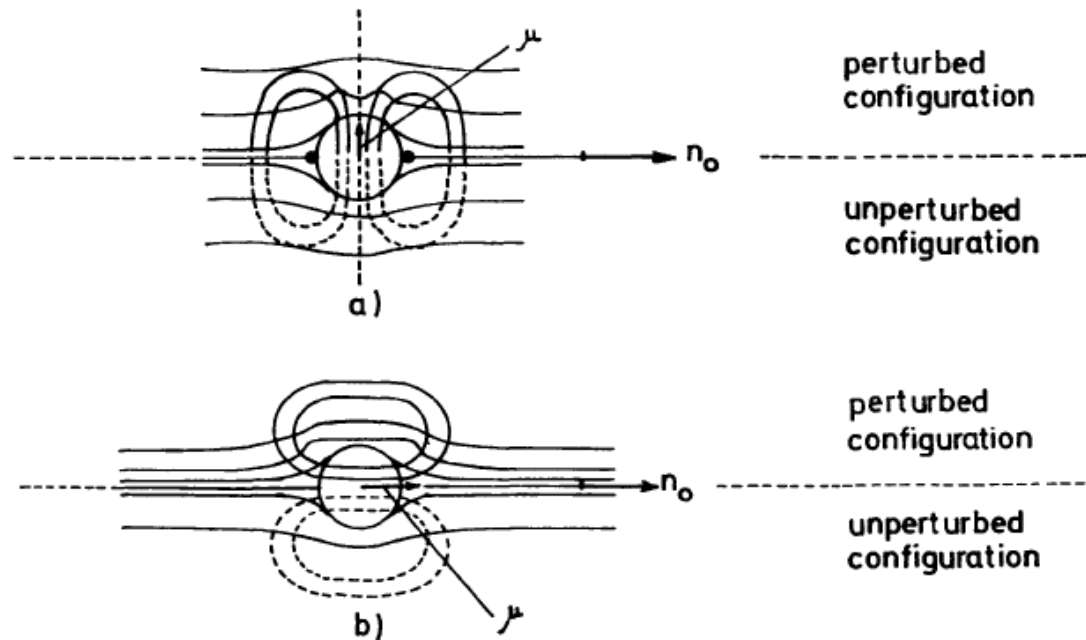
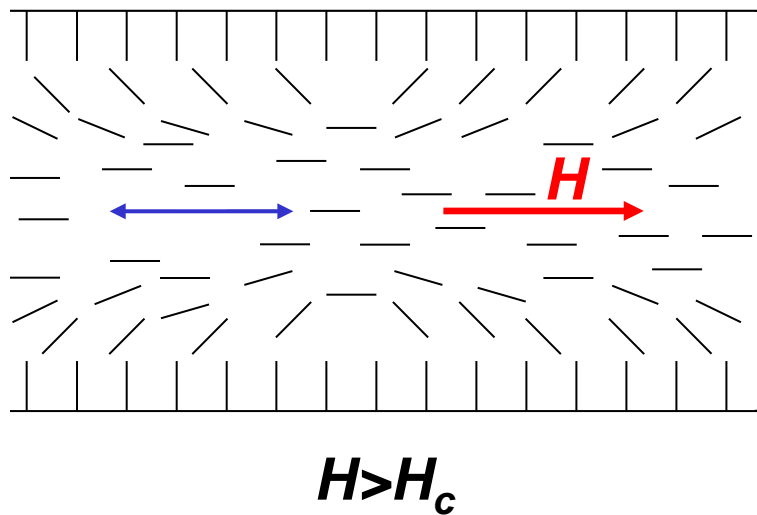


FIG. 1. — Effect of the grain magnetic field on the spatial configuration of the nematic molecules.

F. Brochard and P.-G. de Gennes :

“Theory of magnetic suspensions in liquid crystals” (J. Phys. 1970)

→ H_c should decrease with magnetic grains anchored strongly to the LC!

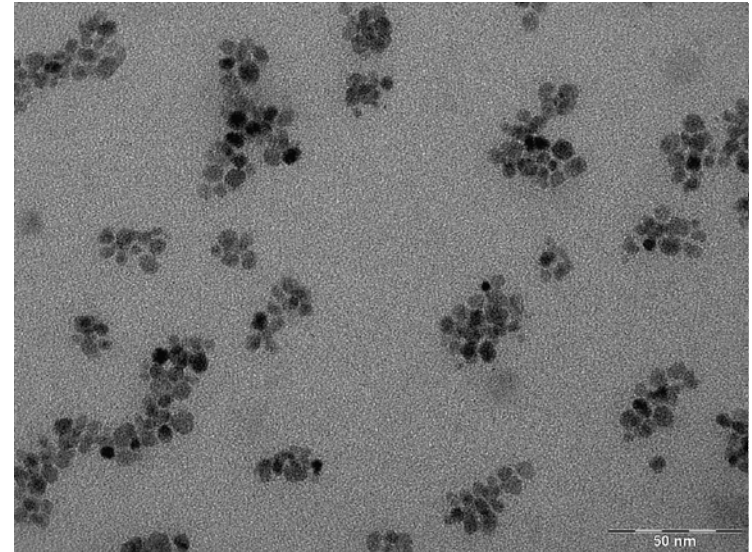
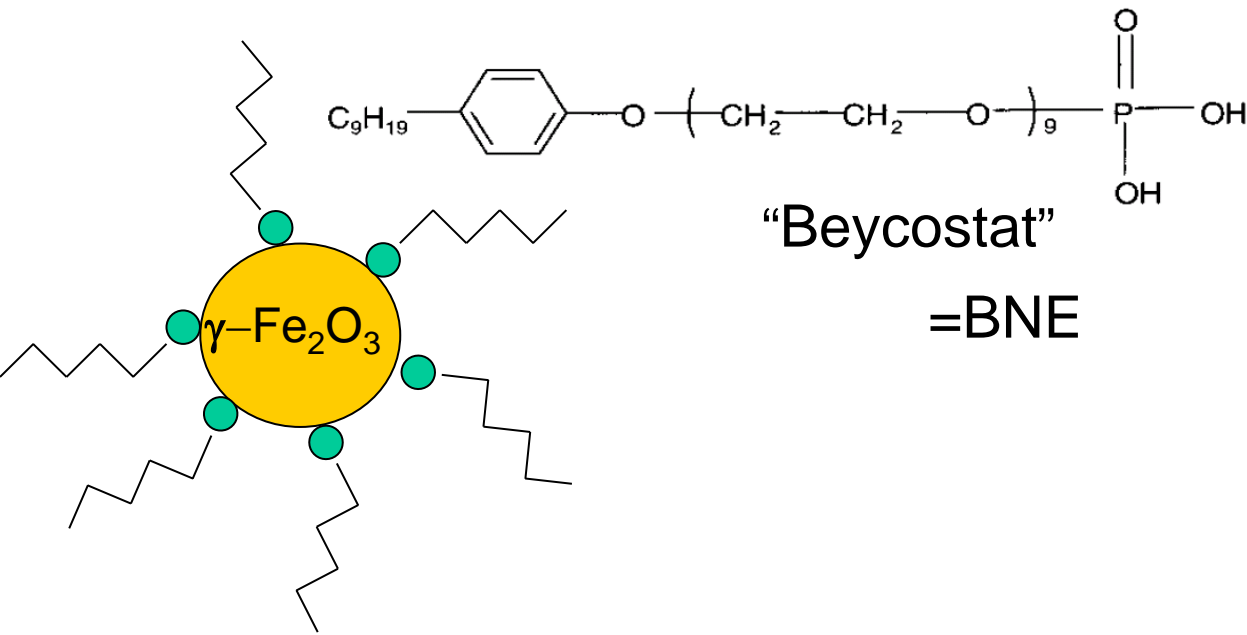
“incorporation of the grains in the (non-polar) liquid crystal: our hope is that this can be achieved with small grains coated by a suitable detergent”

- Lyotropic ferronematics: **M. Veyssier, C. Quillet, L. Ramos, V. Ponsinet, S. Berejnov (Paris), F.A. Tourinho, A.M. Figueiredo Neto (Brasilia)**

- Thermotropic ferronematics: **P. Popcansky (Kosice), I. Potocova (Poznan)** but $\Phi \ll 1!$

Ferrofluids

- Magnetic fluids : colloidal suspension of magnetic nanoparticles
- Stabilization in an organic solvent by an appropriate surfactant coating :



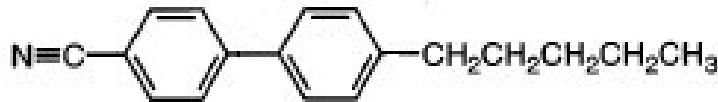
- Core diameters : $d_0=7$ nm, $\sigma=0.4$ (could be lowered down to $\sigma=0.15$)
- Magnetization under weak champ magnetic : Superparamagnetism
- Remains mono-phasic in strong magnetic fields (and in gradients...)

Preparing and observing a “ferronematic” sample

- $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ + BNE / CH_2Cl_2 at $\phi=4,6\%$

+

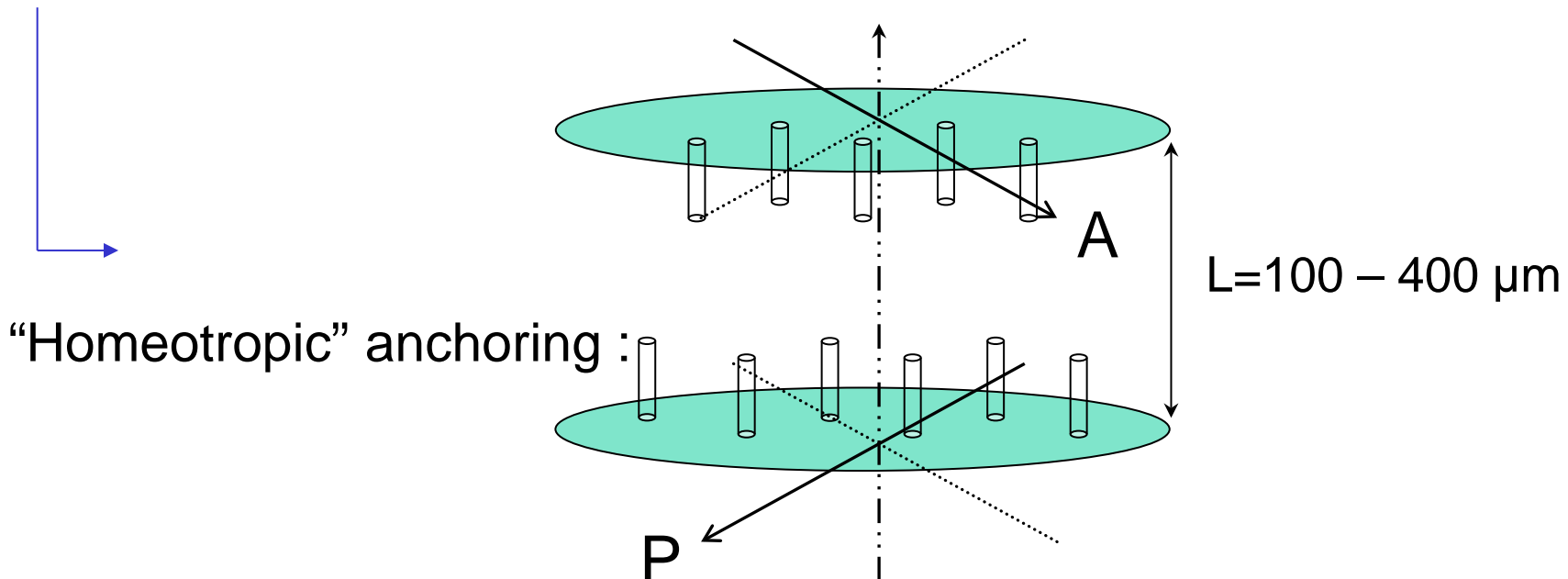
5CB



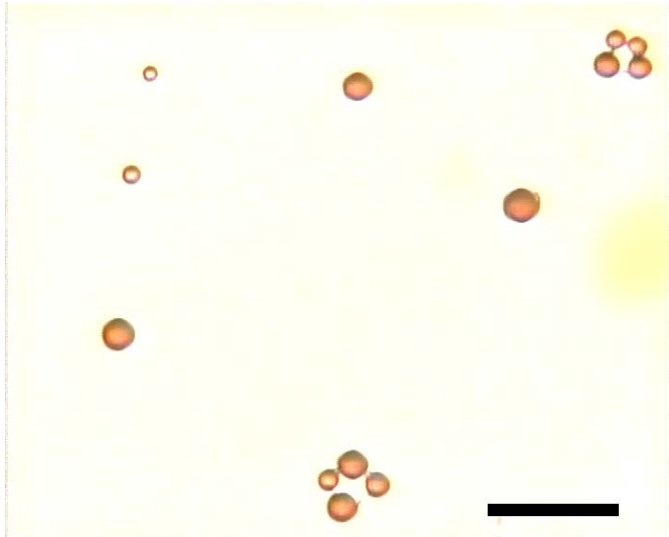
Solvent evaporation to reach

$\phi=0,023\%$

- Surface treatment : surfactant (SDS..) or organosilane ($\text{C}_{18}\text{H}_{37}\text{-SiCl}_3$)

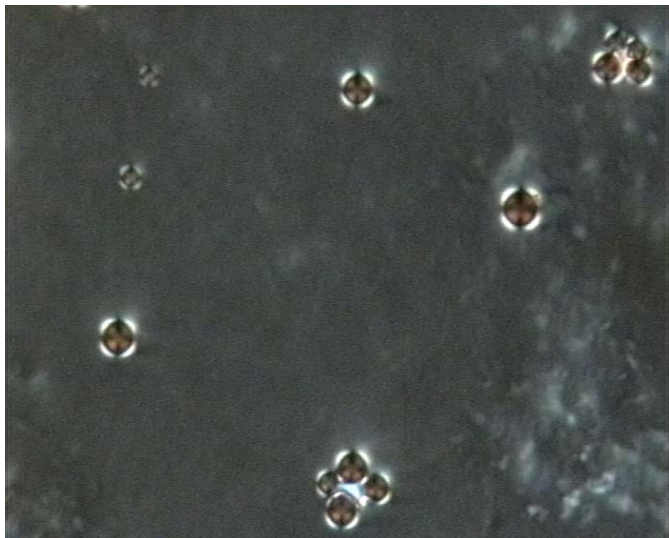
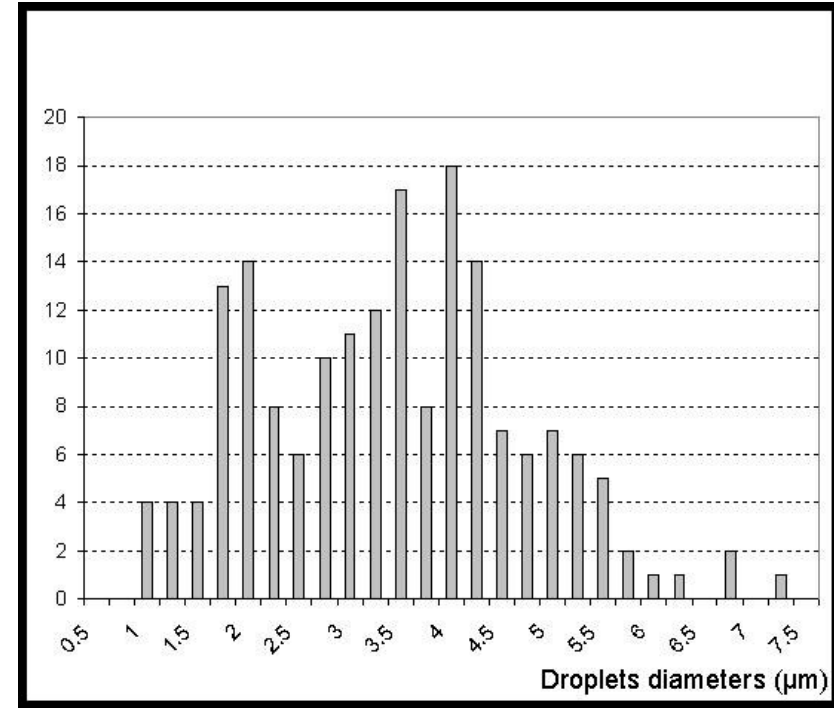


Nanoparticle – 5CB – surfactant system: Microscopic Observations

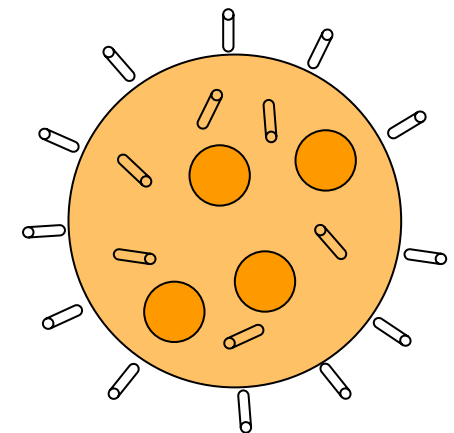


$$T < T_{(N-I)}$$

Parallel polarizers:
Magnetic liquid
droplets in clear
(non magnetic)
5CB phase.



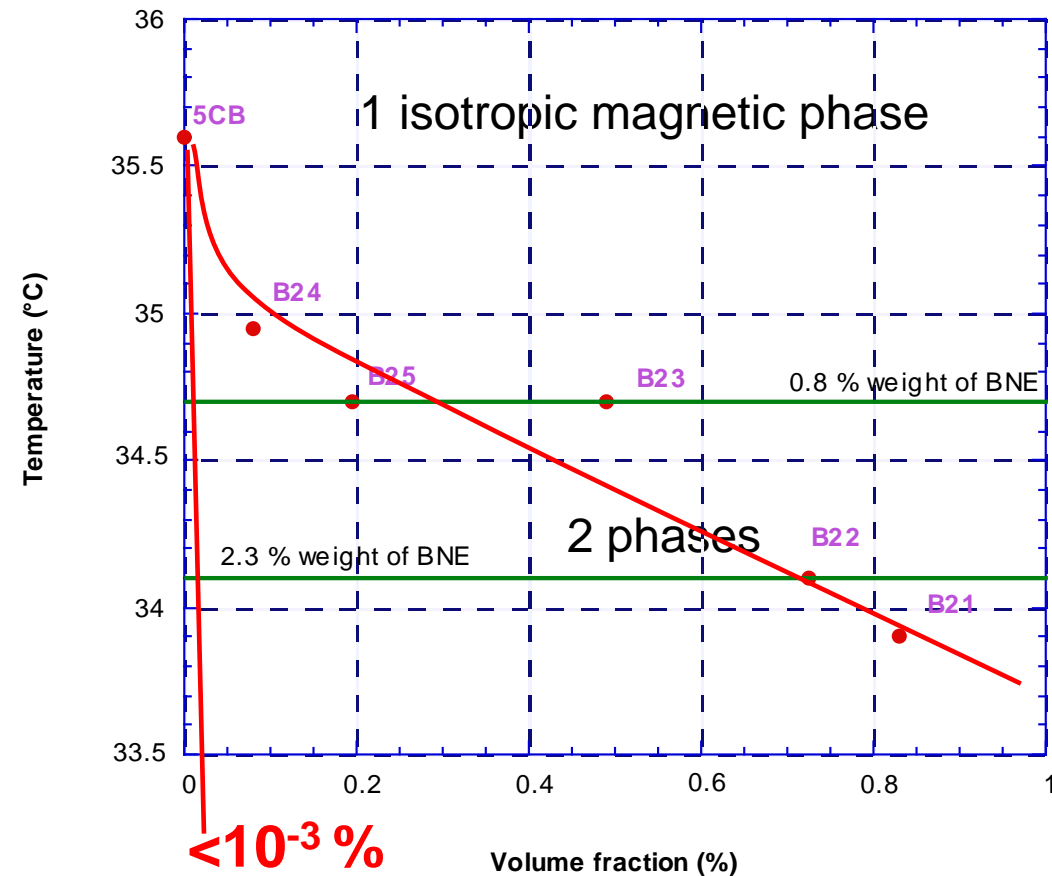
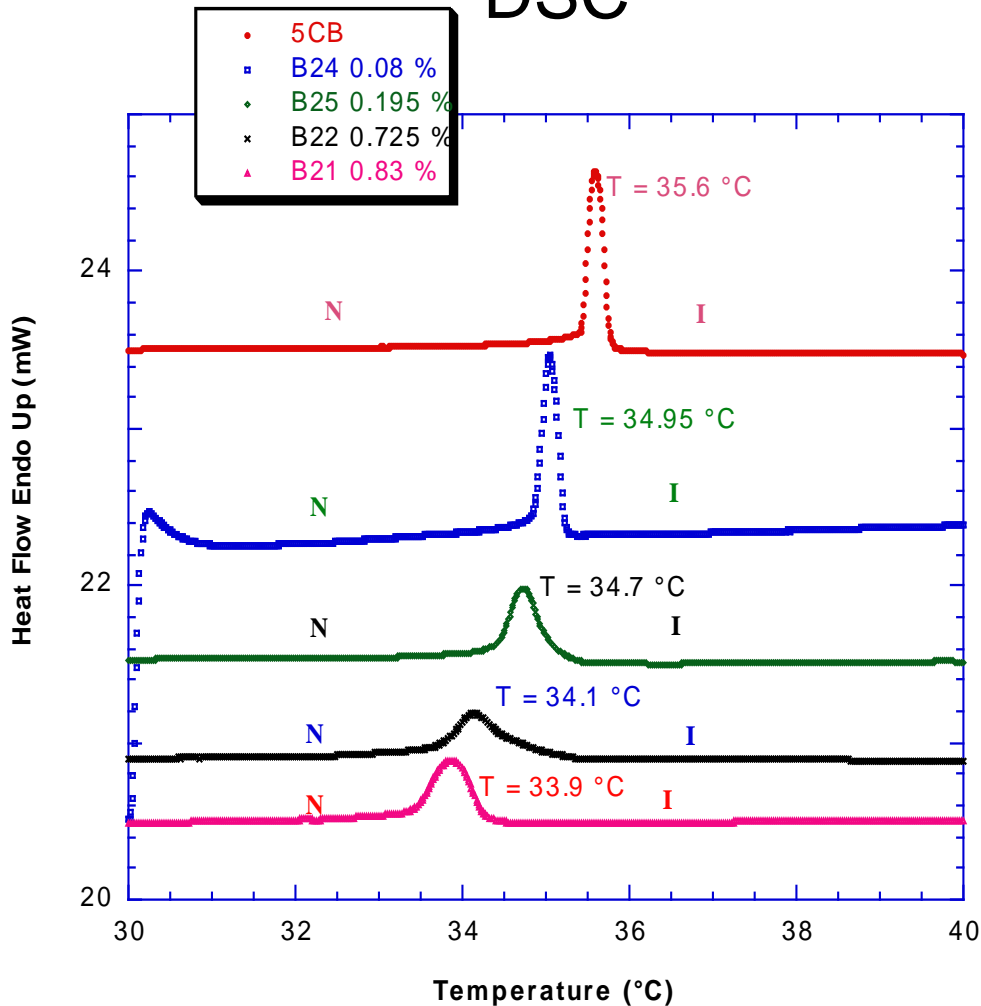
Crossed polarizers:
Droplets exhibit Maltese crosses
(hedgehog defects)
Because
Nematic outer phase is oriented
(homeotropic)



Nanoparticle – 5CB – surfactant system: Thermodynamics

DSC

Phase diagram

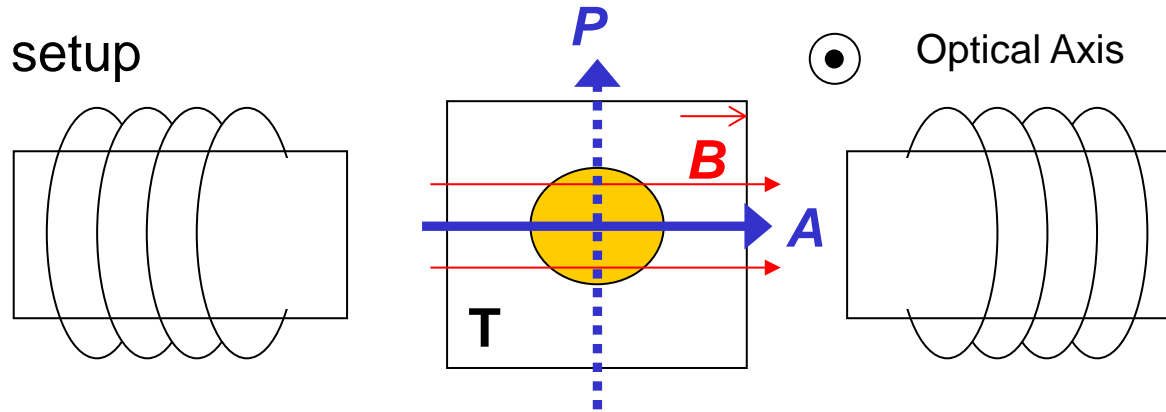


Analogy with water/DDAB micelles in 5CB: **T. Bellini et. al**, PRL2003

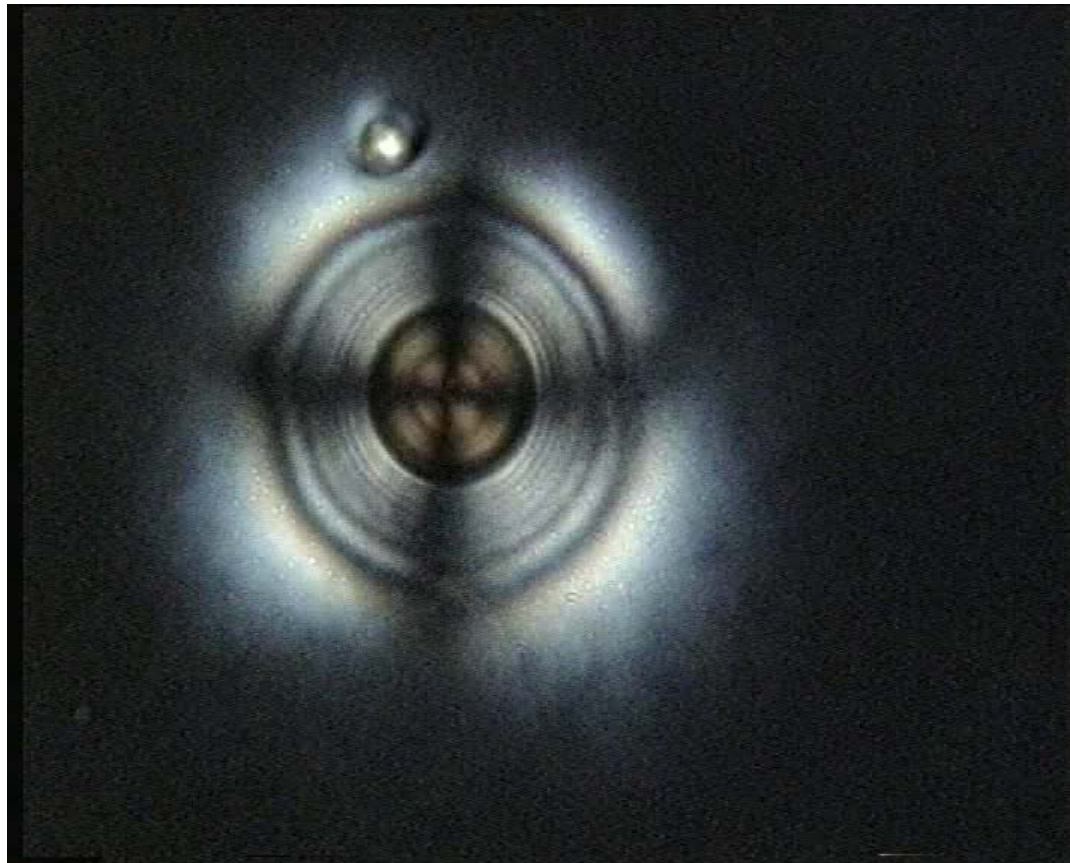
G. Toquer et al. Langmuir 2007

Fredericksz Transition: observation in presence of a magnetic droplet

- Experimental setup



- Observation



- Fact:

Threshold field increases!

Ex:

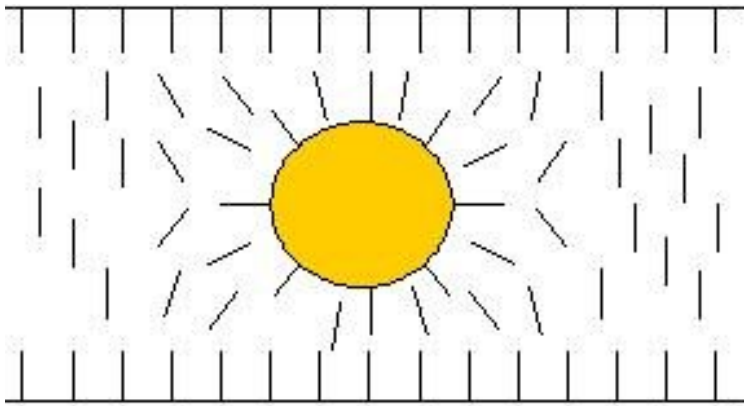
$H_c = 500$ Oe
(pure 5CB)

$\hat{H}_c = 700$ Oe
(ferronematic)

Fredericksz Transition: Tentative explanation of threshold field shift

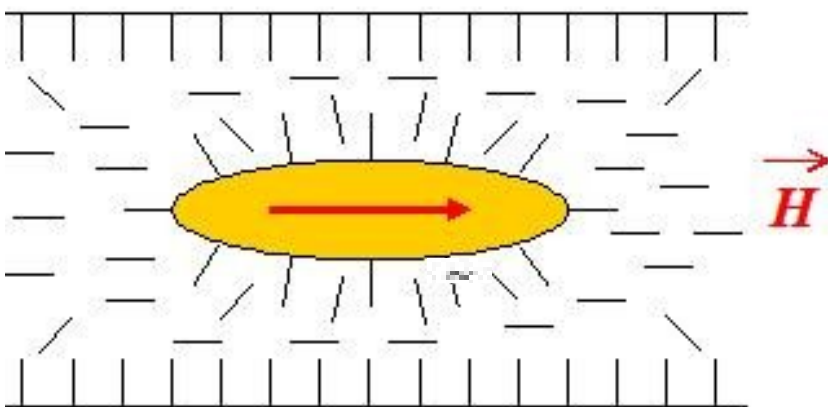
- Result : $\tilde{H}_c \approx 700 \text{ Oe}$ ($H_c = 500 \text{ Oe}$ for pure 5CB, $L = 200 \mu\text{m}$)

Perpendicular anchoring of LC molecules onto droplets...



$H=0 \ G$

...competes with the bulk orientation:



$H > H_c$

compares with **S.V. Burylov & Y. L. Raikher's** model :

$$\tilde{H}_c^2 = H_c^2 + G^2 \quad \text{with} \quad G^2 = \frac{2W\phi}{\chi_a d}$$

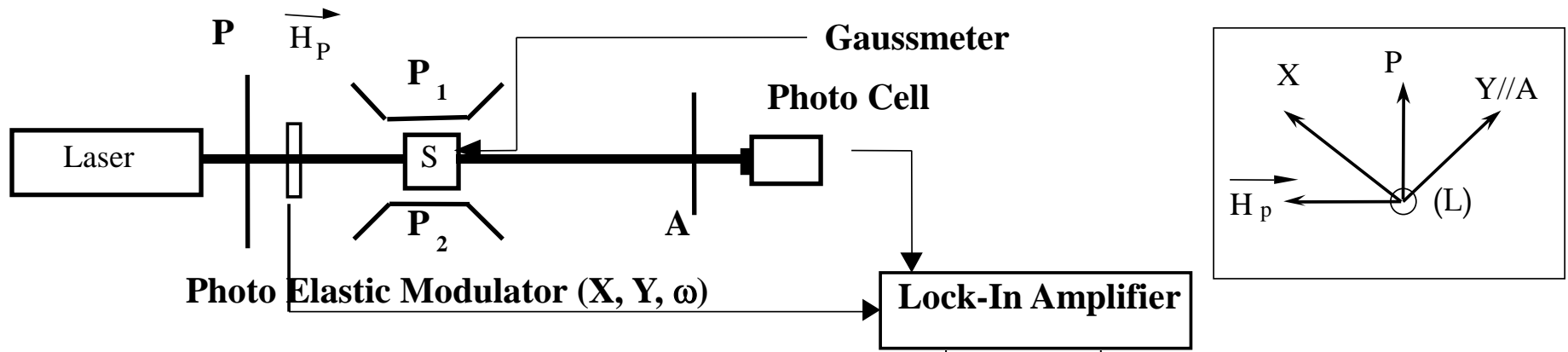
χ_a : magnetic anisotropy W : anchoring energy
 ϕ : volume fraction d : "particle" diameter

$$W \iff \sigma \quad \text{and} \quad d \iff R_0$$

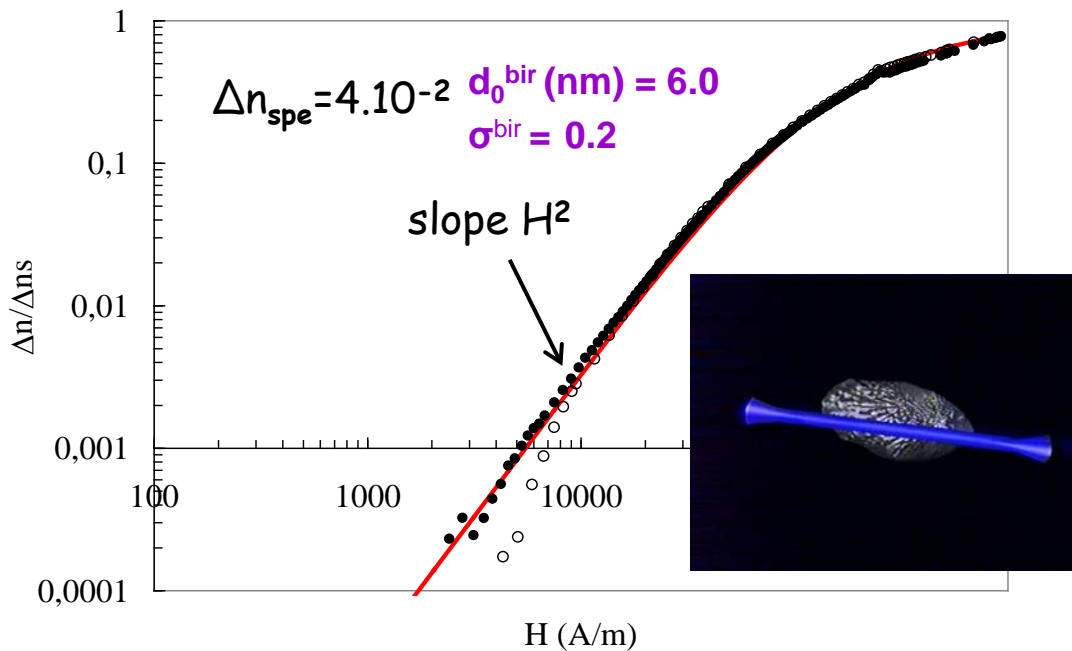


$$G \sim 10^2 \text{ Oe}$$

Birefringence measurement under H field



E. Hasmonay et al. EPJB 1998



Ferrofluid sample (maghemite $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$)

$$I_1(\omega) \propto |\sin(\varphi)| \quad I_2(2\omega) \propto (t_{\parallel} - t_{\perp}) \text{ dichroism}$$

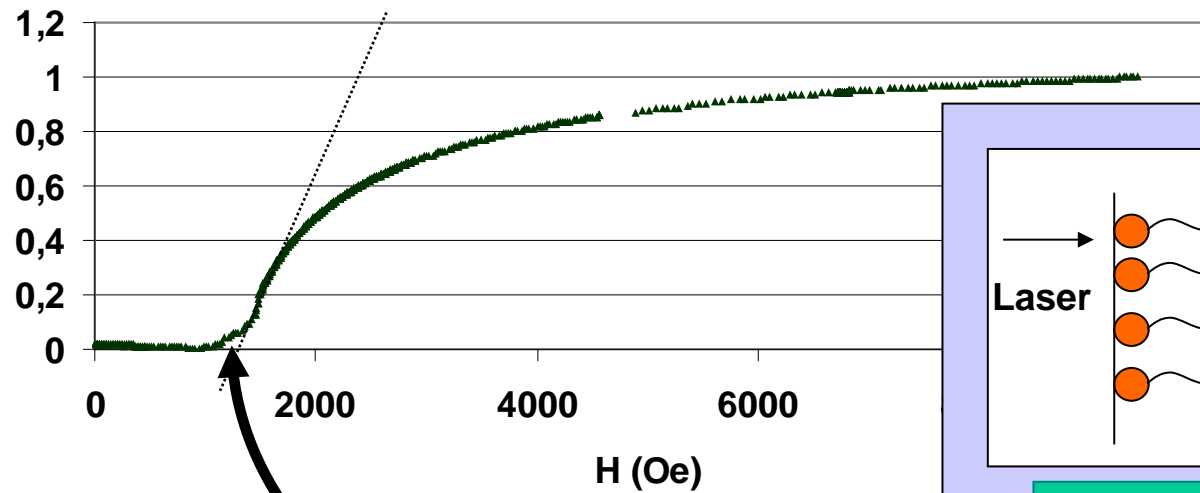
$$\varphi = 2\pi \Delta n e / \lambda$$

$$\Delta n = (n_{\parallel} - n_{\perp}) \text{ birefringence}$$

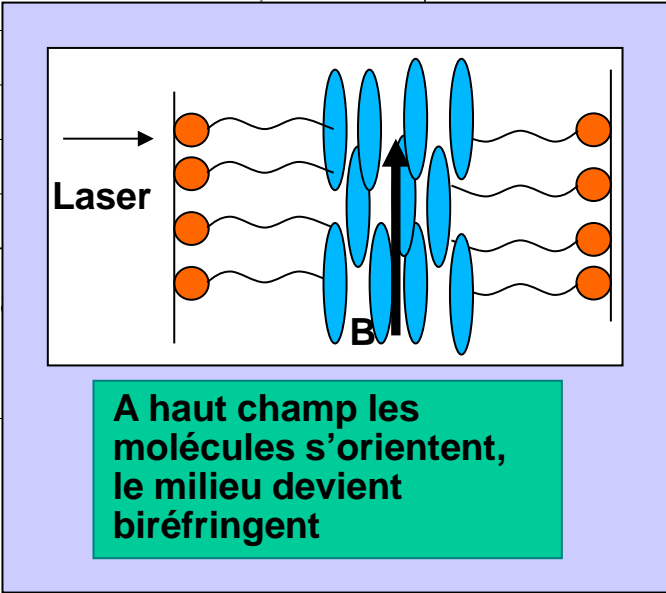
$$\text{Plateau: } \Delta n_{sat} = \Delta n_{spe} \Phi$$

Mise en évidence de la transition de Fredericksz par mesure de biréfringence statique

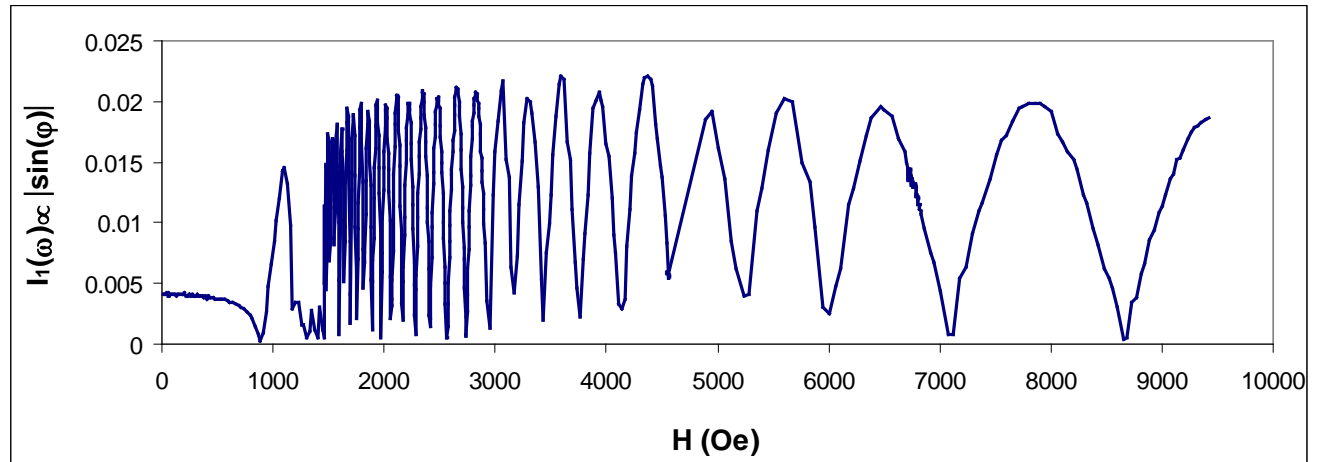
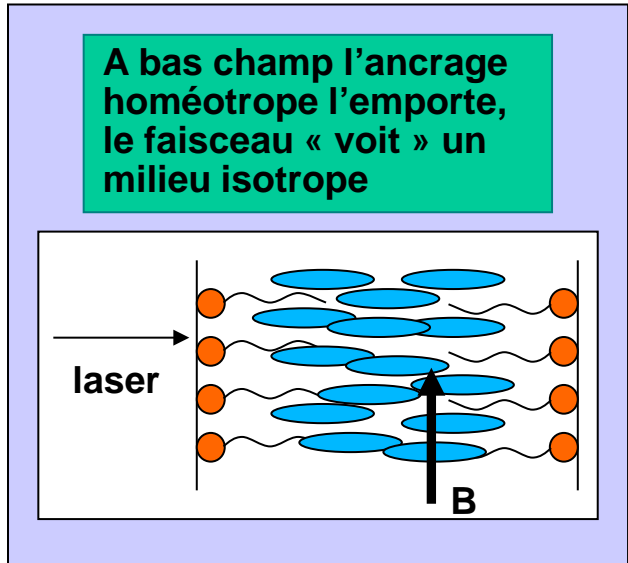
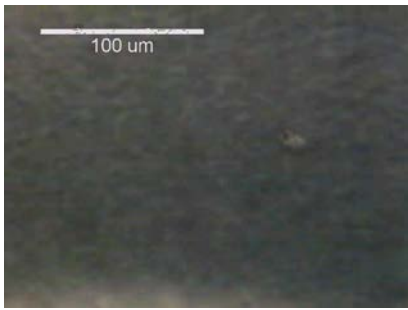
Exemple avec une cellule silanisée (C₁₈) de 100µm d'épaisseur



Hseuil ≈ 1300 Oe

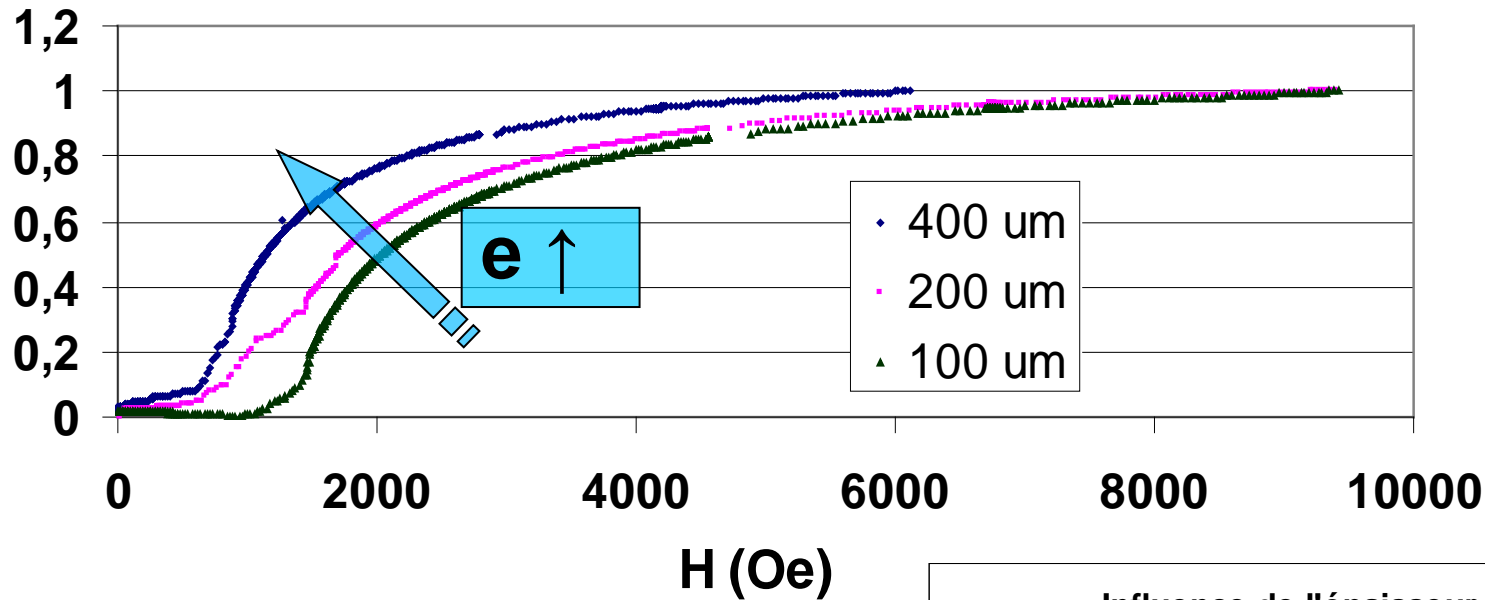


Observation de l'ancrage homéotrope en polariseurs croisés



Influence de l'épaisseur

delta n normalisé



Quand l'épaisseur augmente le champ seuil diminue:

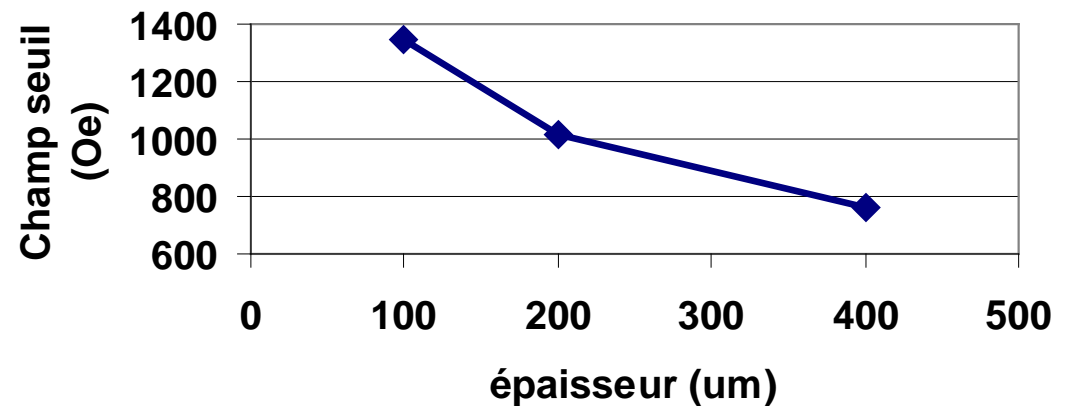
$$e \times H_F^2 \approx cte$$

Energie d'ancrage $\propto A \times W$

vs.

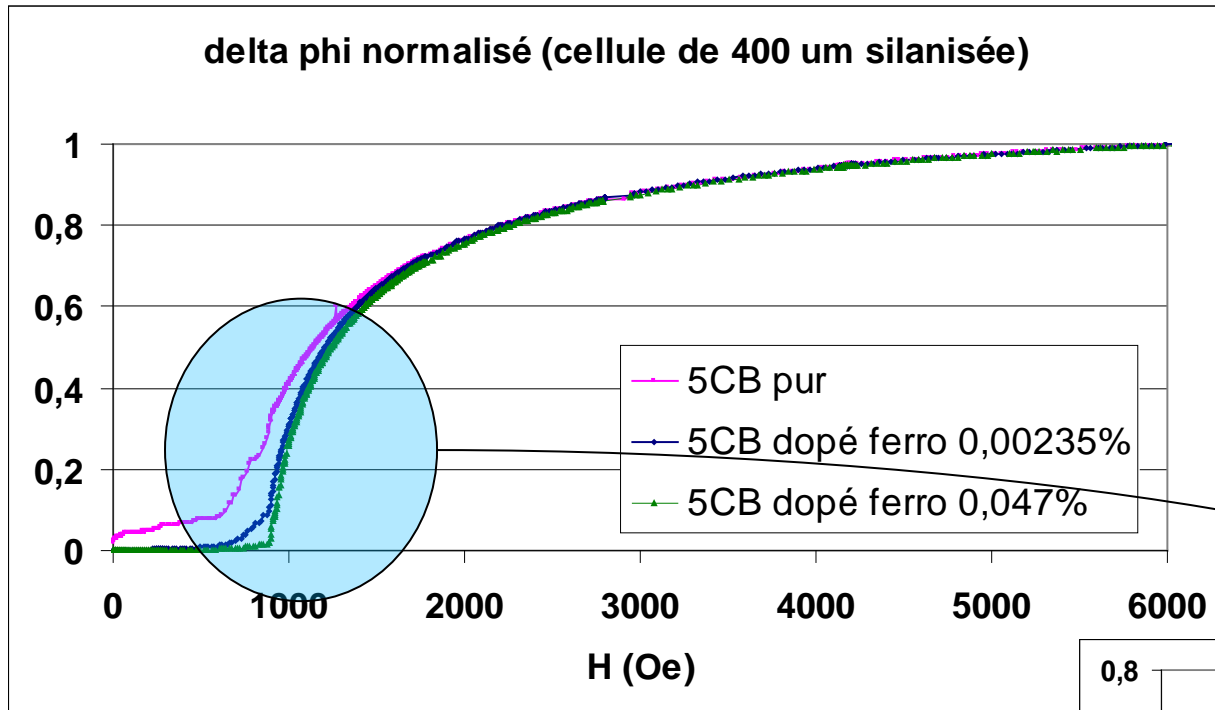
Energie magnétique $\propto A \times e \times H^2$

Influence de l'épaisseur sur le champ seuil de la transition de Fredericks

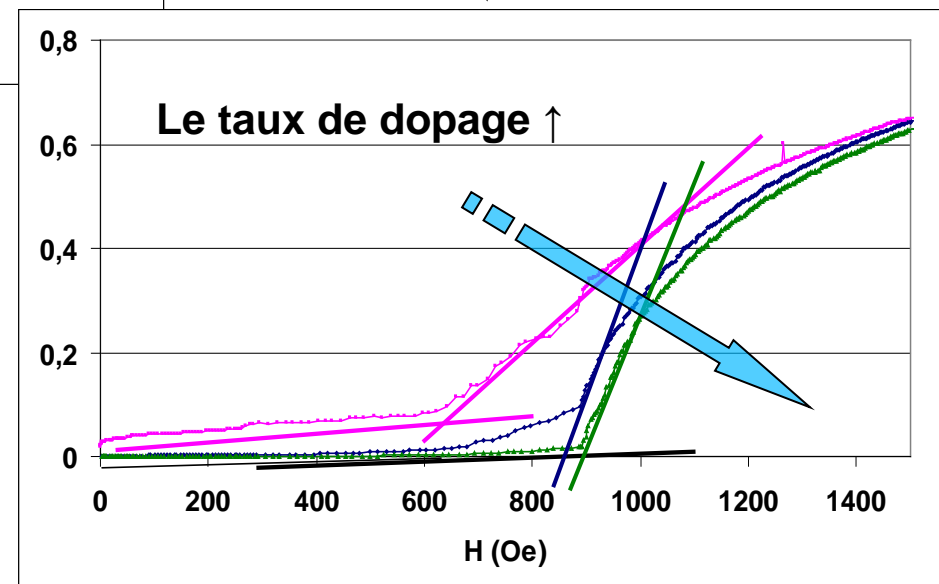
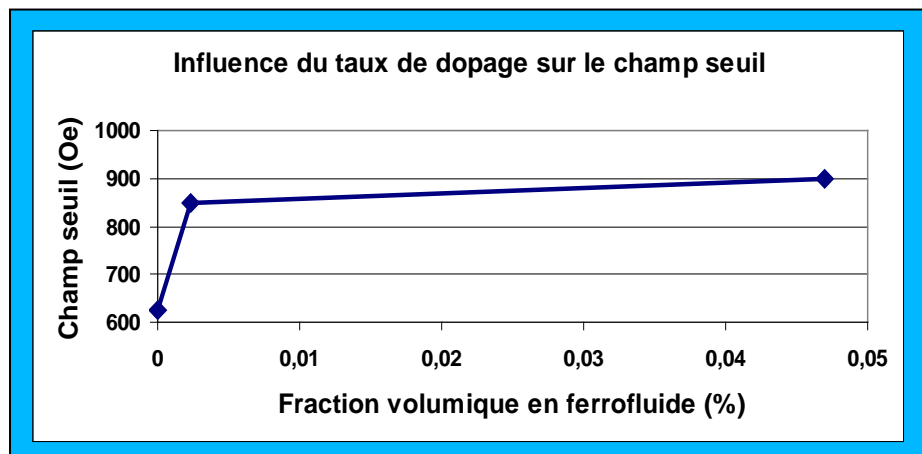


Influence du dopage en nanoparticules magnétiques : 5CB dopé par des nano-sphères de maghémite

On s'attendrait à une diminution du champ seuil...



Mais le dopage provoque une augmentation du champ seuil!



Perspectives for ferronematics

- Replace organics:

surfactant: BNE \leftrightarrow DMOAP... LC: 5CB \leftrightarrow 6CHBT, E7...

- Replace inorganic nanoparticles (maghemite):

- Ferro-electric nanoparticles: BaTiO₃, Sn₂P₂S₆ (d \approx 200nm) \longrightarrow

Y. Reznikov et coll. (Kiev)

Applied Physics Letter 82, 1917 (2003)

Molecular Crystals and Liquid Crystals, 453:227-237 (2006)

- Organometallic complexes: [Cu(o-xyTQ)H₂O](NO₃)₂, [Cu(DETQ)](ClO₄)₂

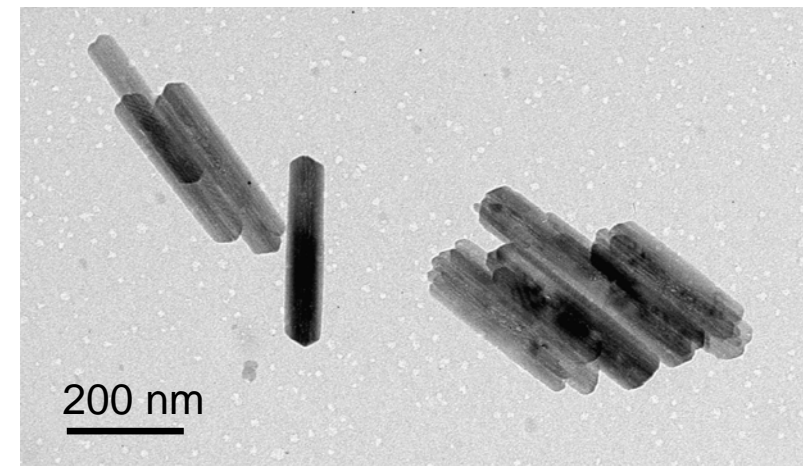
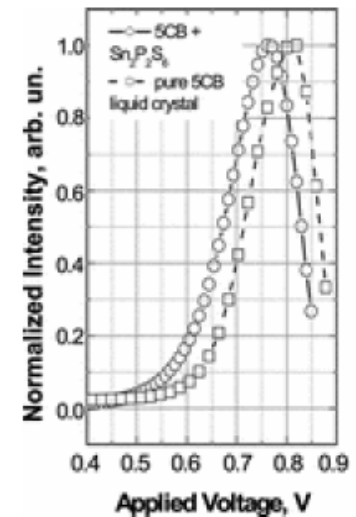
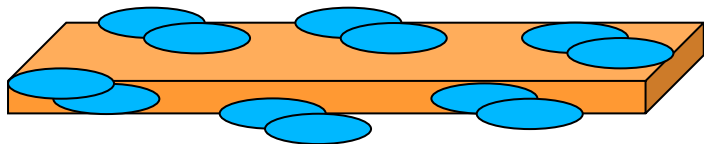
or Metalloporphyrins: ZnTTP, MnTPPCI, FeTPPCI \rightarrow Hc=2000Oe (5CB 3500Oe at L=19 μ m)

Li, Tao; Jin-Wang, Huang; Liang-Nian, Ji (Guang Zhou)

Journal Applied Physics (2007), 101(3)

Liquid Crystals 27, 211-214 (2000)

- Our choice: α -FeOOH (goethite) nano-laths \rightarrow

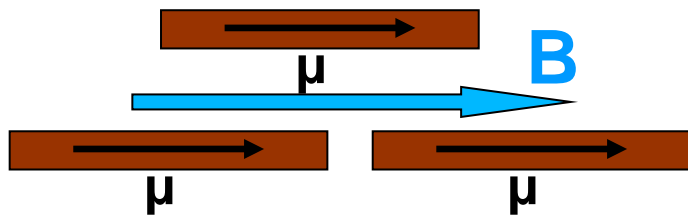


Shape anisotropy improves dispersion in LC matrix?

Propriétés magnétiques de la goethite

d'après B. Lemaire et al. EPJE 13, 291-308 (2004)

- 1 Antiferromagnétisme... mais avec l'existence d'un moment magnétique permanent « résiduel » selon le grand axe des bâtonnets

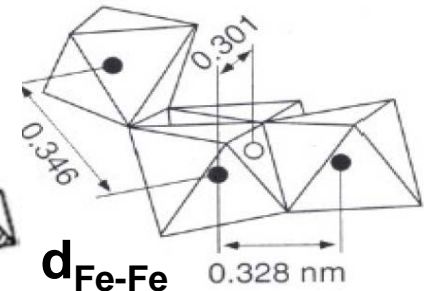
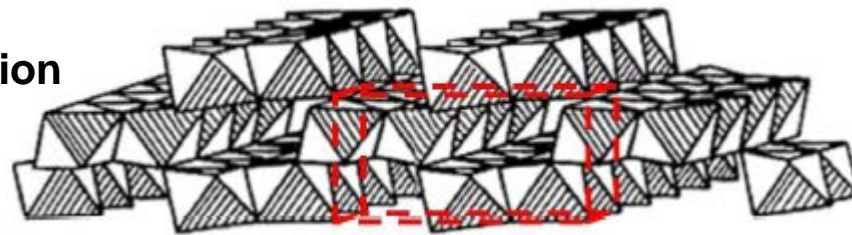


Origine de μ_{perm} : non compensation des spins de surface, impuretés, effets de surface...

$$E_{\text{perm}} = -\mu_{\text{perm}} B \cos \theta$$

Domine à champs faibles

→ énergie magnétique minimale quand les **moments permanents** s'orientent parallèlement au champ H

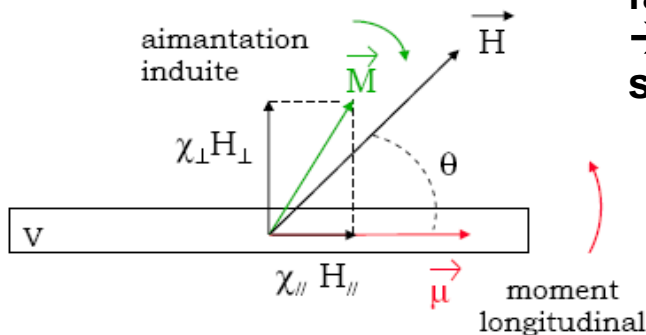


$d_{\text{Fe-Fe}} = 0.328 \text{ nm}$
 $\mu_{\text{Fe+III}} = 5.9 \mu_B$

→ $\mu \approx 10000 \mu_B \approx (N_{\text{Fe}})_{\text{surf}}^{1/2} \mu_{\text{Fe}}$

Surface = 2 x 600 x 40 nm²

- 2 Aimantation induite



Anisotropie de susceptibilité magnétique $\Delta\chi < 0$ → l'axe de facile aimantation est orthogonal au bâtonnets
 → énergie magnétique minimale quand les **moments induits** s'orientent perpendiculairement au champ H

$$E_{\text{Induite}} = - \frac{V(\chi_{\parallel} - \chi_{\perp}) B^2 \cos^2 \theta}{2 \mu_0}$$

Domine à champs plus élevés

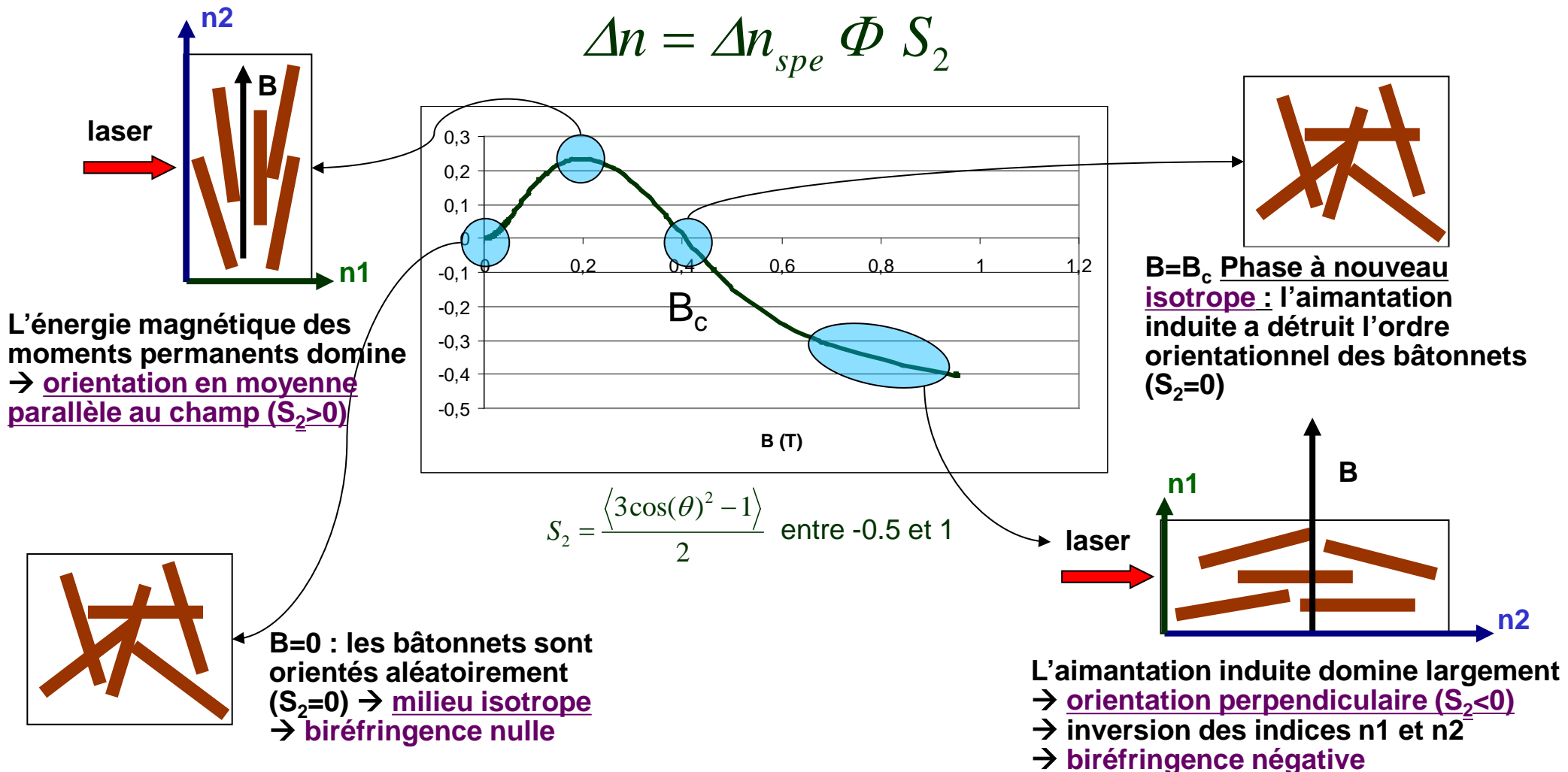
Il existe une valeur du champ B_c pour laquelle les deux contributions se compensent!

Biréfringence des suspensions isotropes de goethite

d'après B. Lemaire et al. EPJE 13, 291-308 (2004)

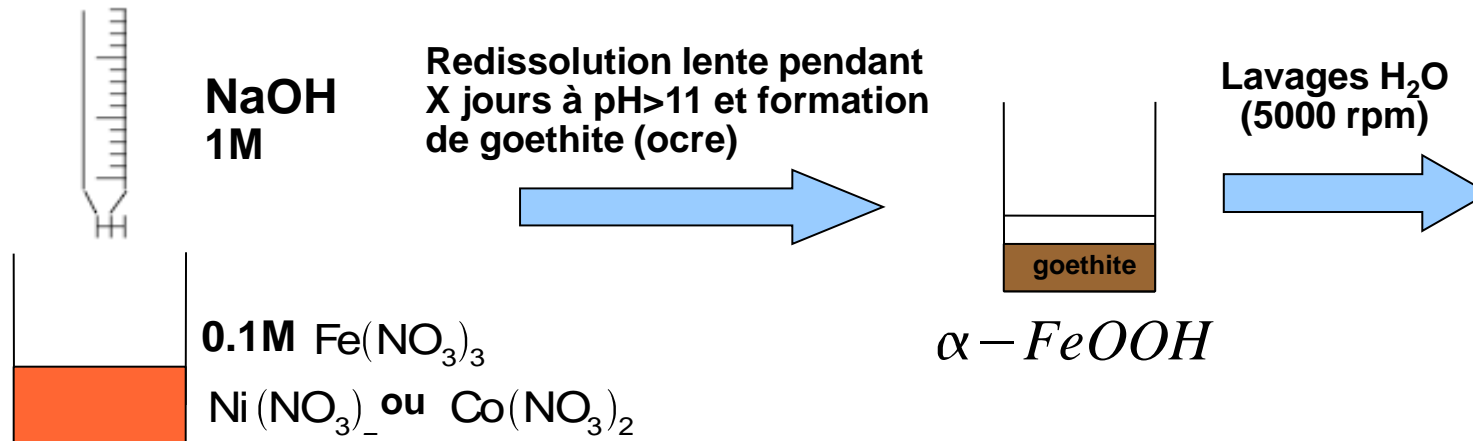
La **goethite massive** est un cristal biréfringent ($\Delta n=0,14$), les **suspensions concentrées** le sont également car ce sont des cristaux liquides lyotropes en phase nématique.

Les **suspensions faiblement concentrées** sont en phase isotrope et pourtant on peut mesurer une biréfringence élevée si on applique un champ (**biréfringence magnétique**)



Synthèse de la goethite

Précipitation de ferrihydrite



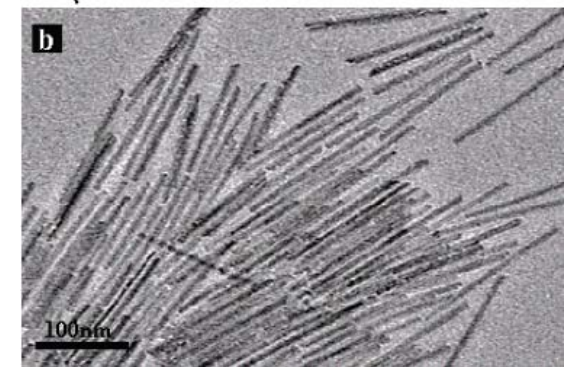
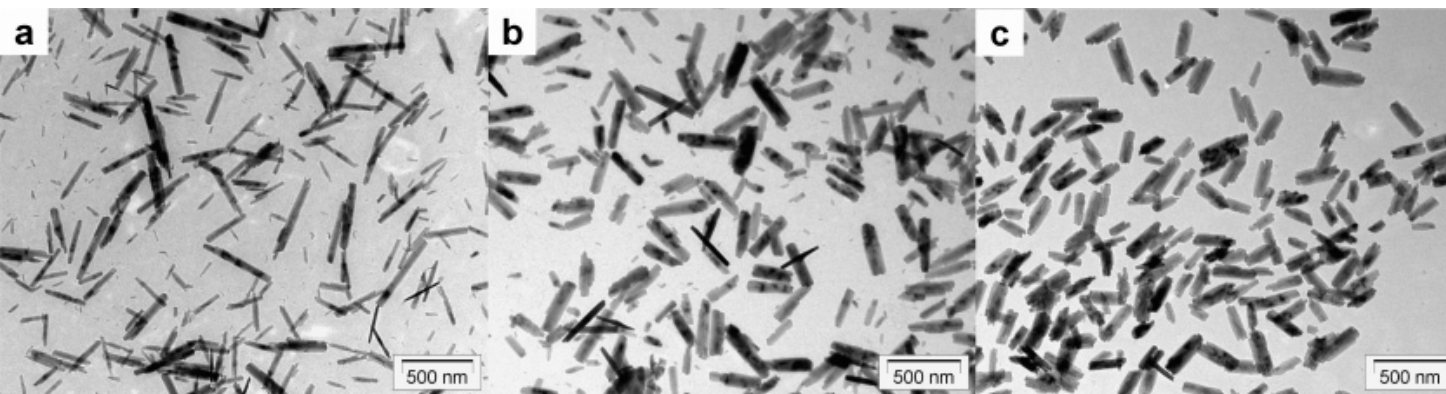
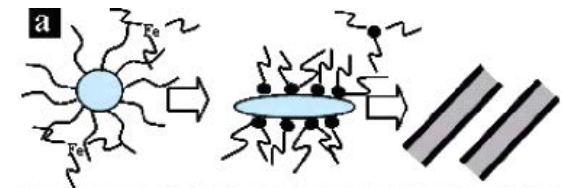
Dispersion dans HNO_3 à pH=3

◦ Thèse **J. Hernandez** (UPMC 1998) : vieillissement 10 jours à 25°C à pH13

◦ **S. Krehula et al.** (Mat. Lett. 2002) : base hydrophobe TAMOH étude de la durée du vieillissement basique (1j – 21 j) et de l'« hydrolyse forcée » par élévation de T (60°C / 160°C)

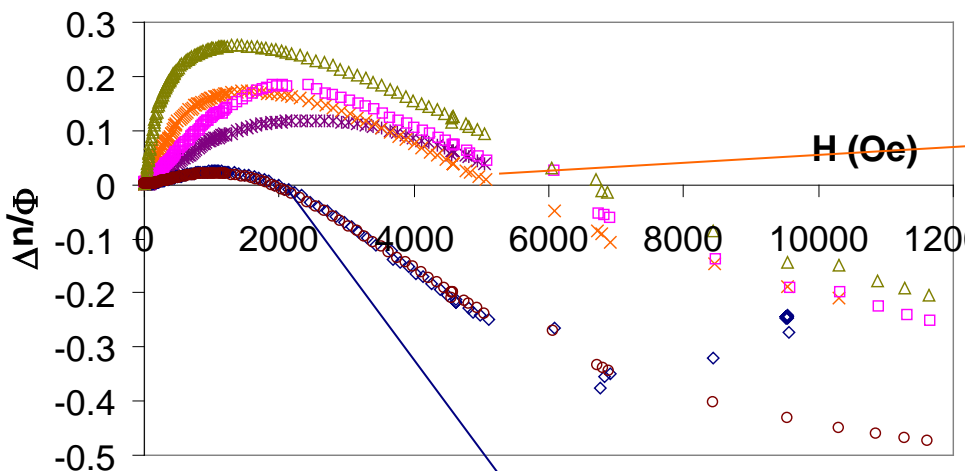
◦ **D. Thies-Weesie et al.** (Chem. Mater. 2007) Étude de la température, du nombre d'étapes de centrifugation

◦ Décomposition de Fe(III)-oléate : **Taekyung Yu et al.** (JACS 2007)

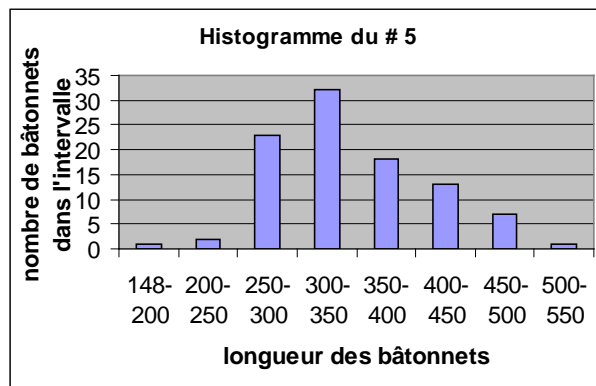
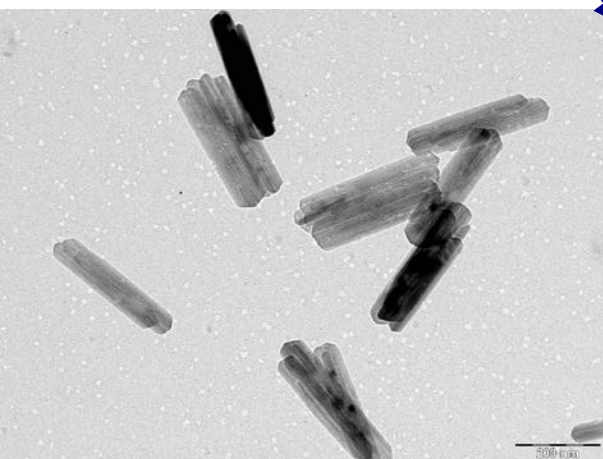
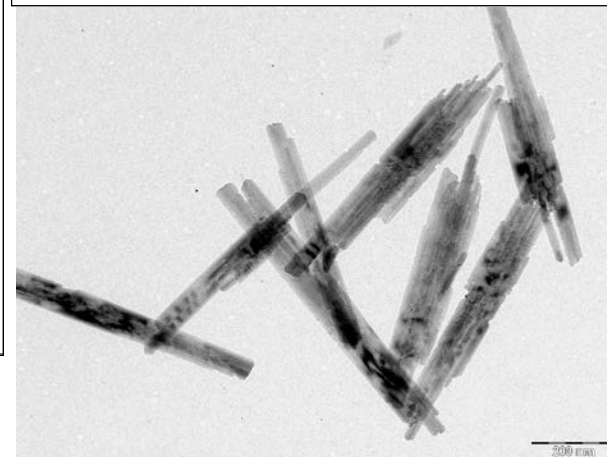
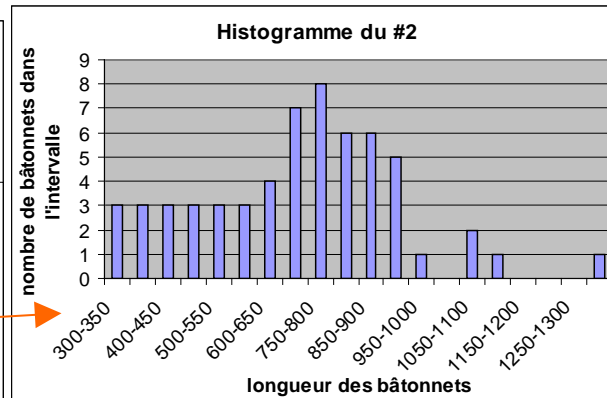


Variation des courbes de biréfringence avec les tailles de bâtonnets de goethite

Biréfringence intrinsèque d'échantillons de goethite pour diverses conditions de synthèse



- × n°1: nitrate / NaOH / 24h
25°C / Zave=173nm
- × n°2: nitrate / NaOH / 24h
70°C / Zave=226nm
- ◇ n°5: nitrate / TAMOH / 24h
70°C / Zave=151nm
- n°11: chlorure / NaOH / 24h
25°C / Zave=185nm
- △ n°12: chlorure / NaOH / 36h
70°C / Zave=284nm
- n°13: chlorure / TAMOH /
24h 70°C / Zave=156nm

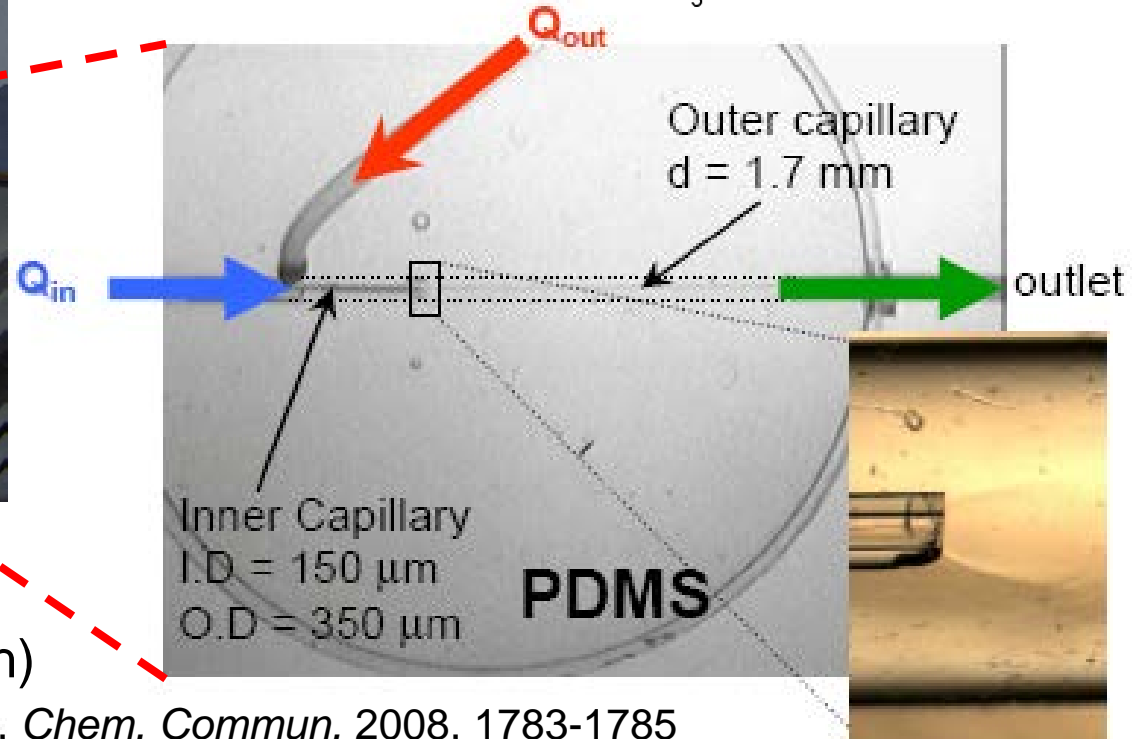
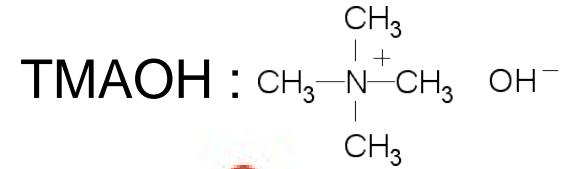


N° 2: NaOH + chauffage: bâtons plus longs, μ_{perm} plus élevé, $H_c \approx 5000Oe$

→ Des courbes (pente à l'origine, Δn_{max} , H_c inversion...) très dépendantes des tailles!

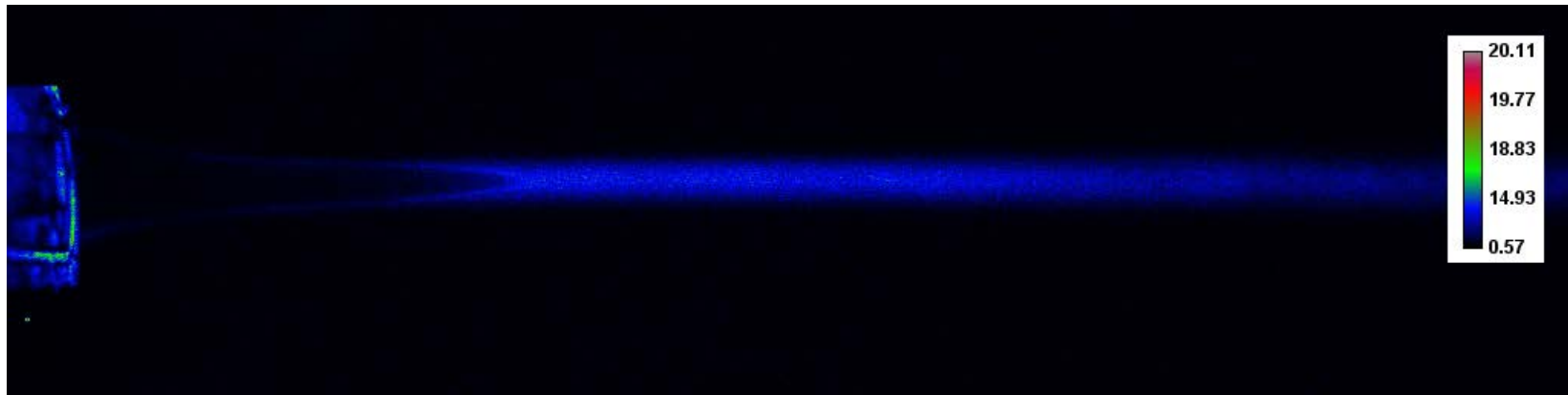
N° 5: TAMOH: bâtons plus courts, μ_{perm} plus faible, $H_c \approx 2000Oe$

Nano-précipitation en canal microfluidique



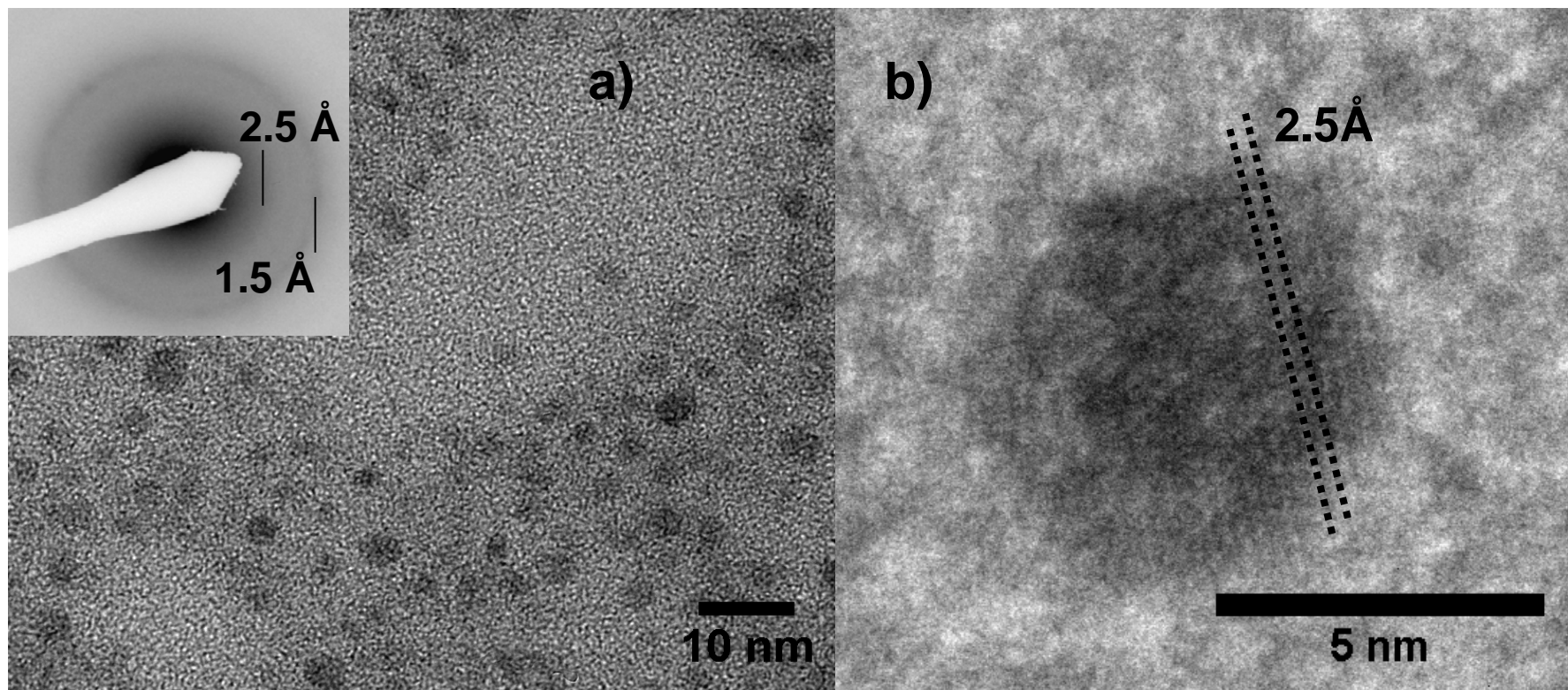
Thèse Ali Abou Hassan (2 oct 2009 à 14h)

A. Abou Hassan, O. Sandre, V. Cabuil, P. Tabeling, *Chem. Commun.* 2008, 1783-1785



Microfluidics enables to separate nucleation...

Mixing Fe^{3+} and OH^- by flow focusing at room temperature: $Q_{\text{out}}/Q_{\text{in}}=10$; $Q_{\text{tot}}=100\mu\text{l}/\text{min}$



**2 lines
ferrihydrite**

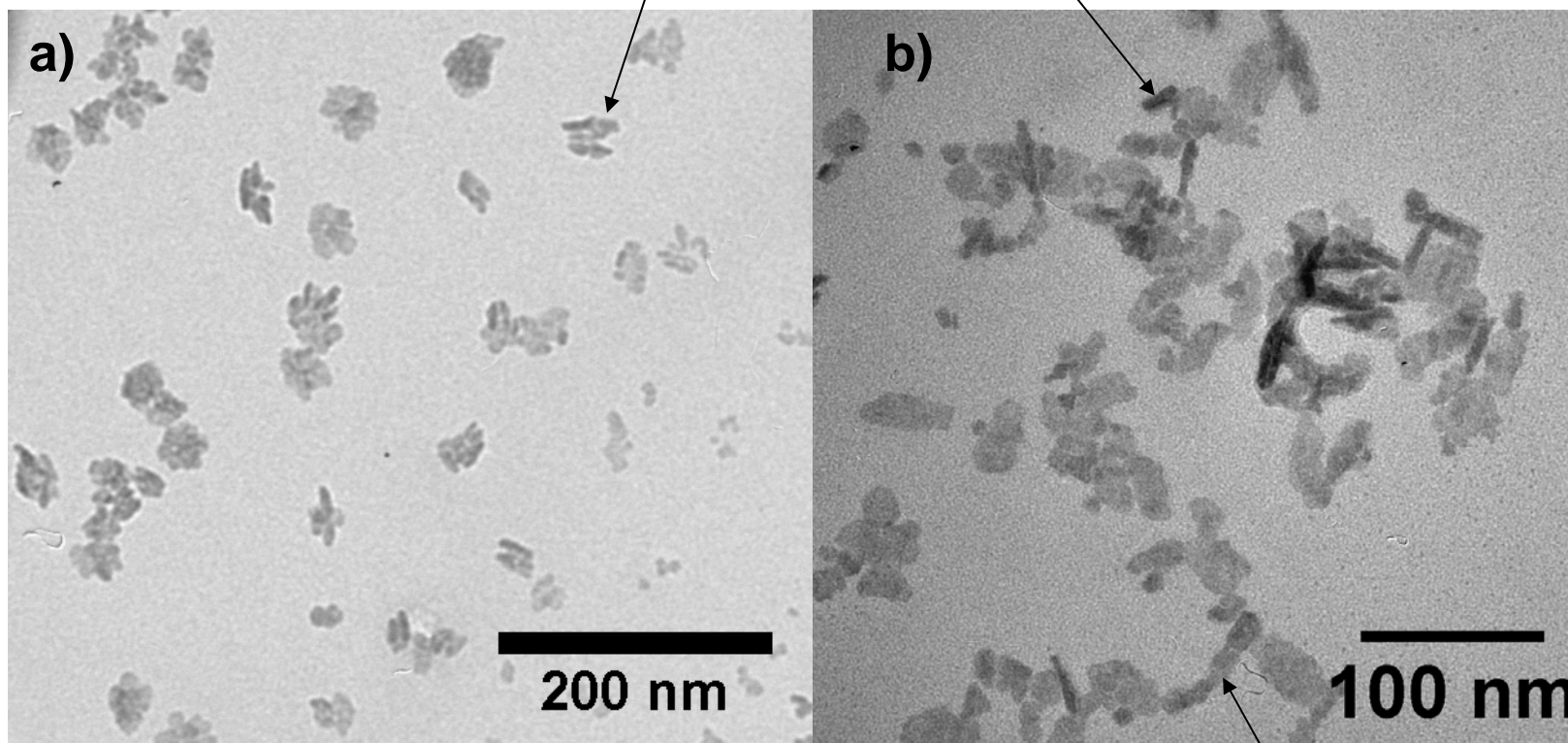
With 3 ± 2 nm

**2.5 Å consistent with
both ferrihydrite and
goethite**

... and growth (ageing)

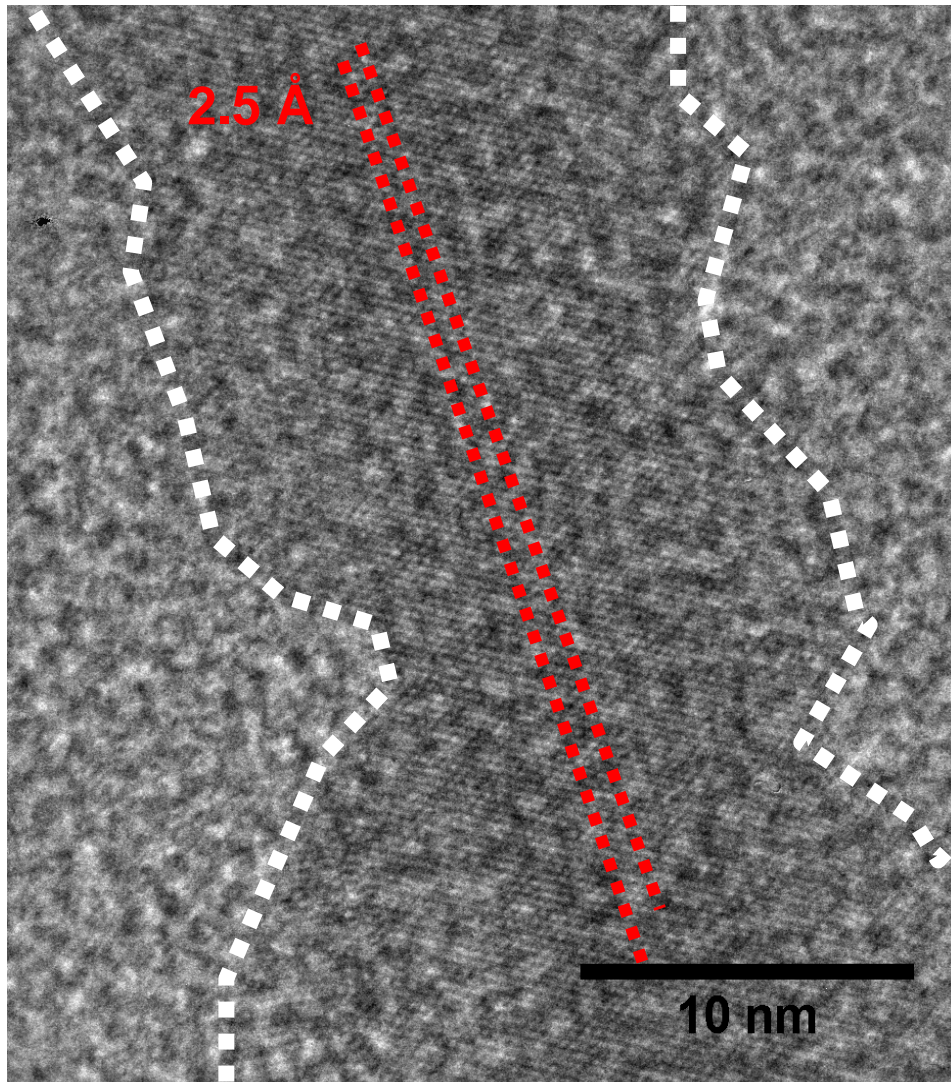
After ageing under laminar flow
at 60° C for 25 min

Goethite nanorods

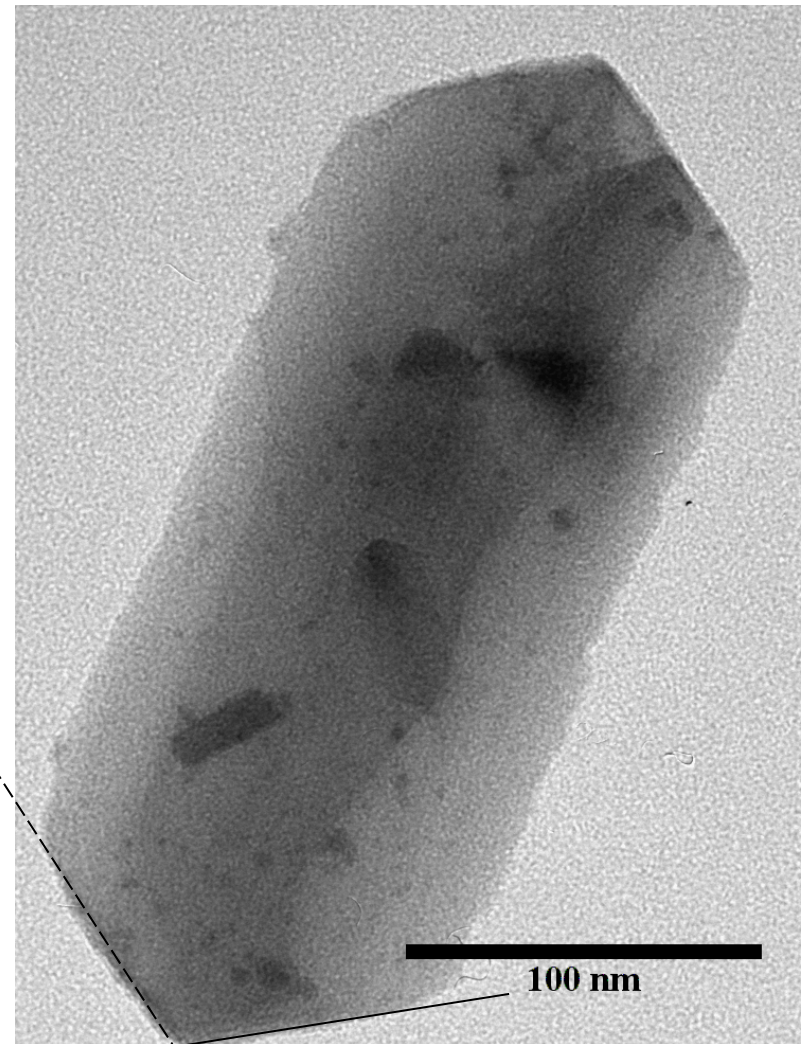


aggregation

HRTEM : goethite



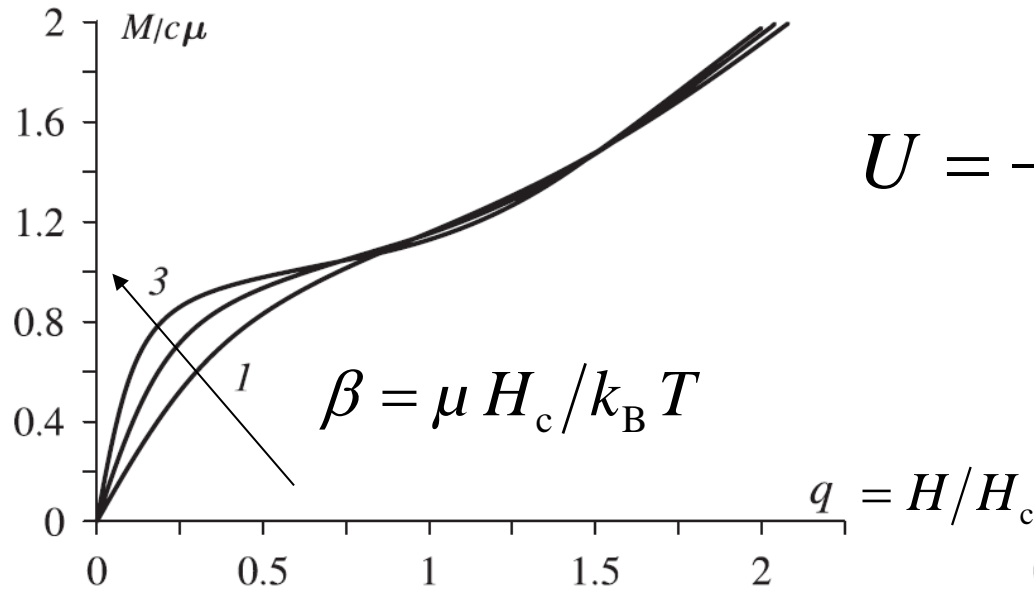
After ageing under laminar flow
at 60° C for 25 min



After ageing 1 week

Magneto-orientational behavior of a suspension of antiferromagnetic nanoparticles (NAF)

J. Phys.: Condens. Matter **20** (2008) 204120 Yu L Raikher, V. I. Stepanov (Perm, Russia) :



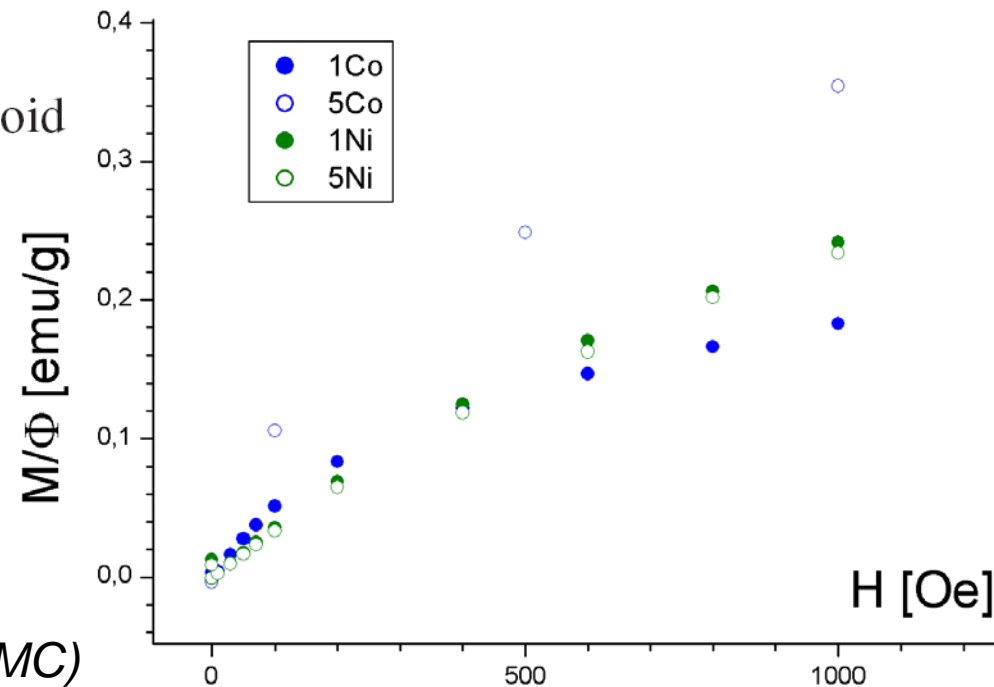
$$U = -\mu (\vec{e} \cdot \vec{H}) + \frac{1}{2} \chi_A V (\vec{e} \cdot \vec{H})^2$$

Figure 1. Reduced static magnetization of a NAF colloid

$$H_c = \mu / \chi_A V$$

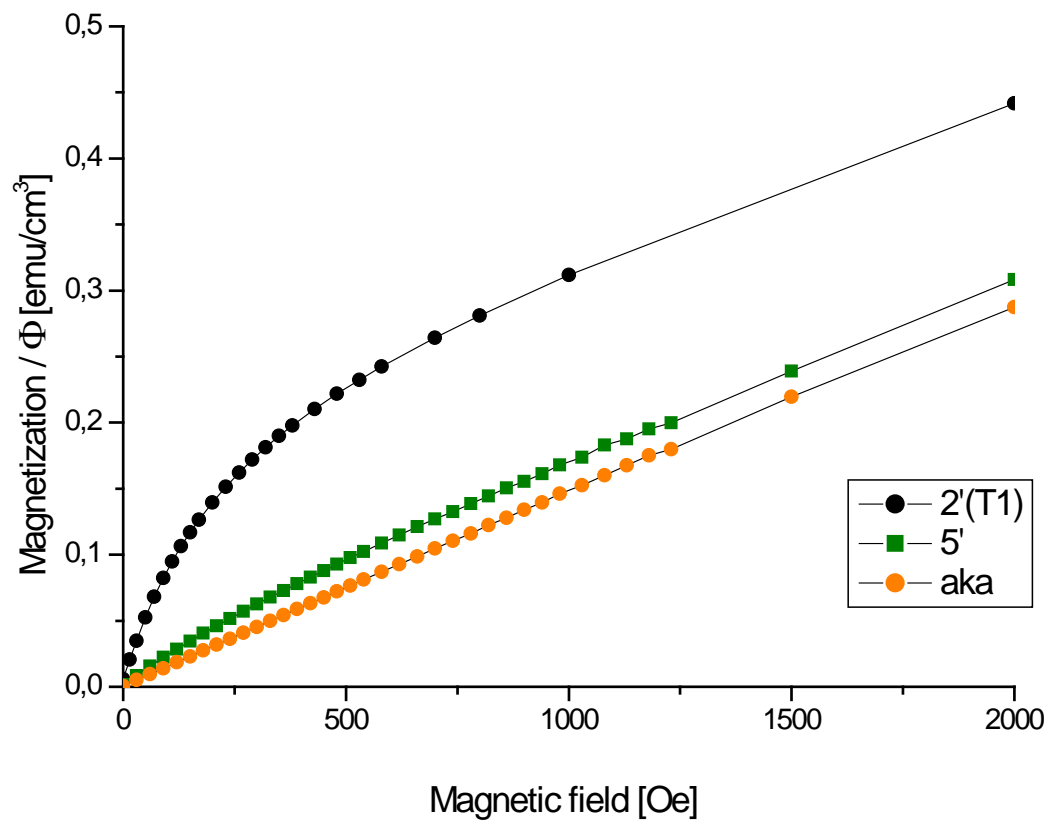
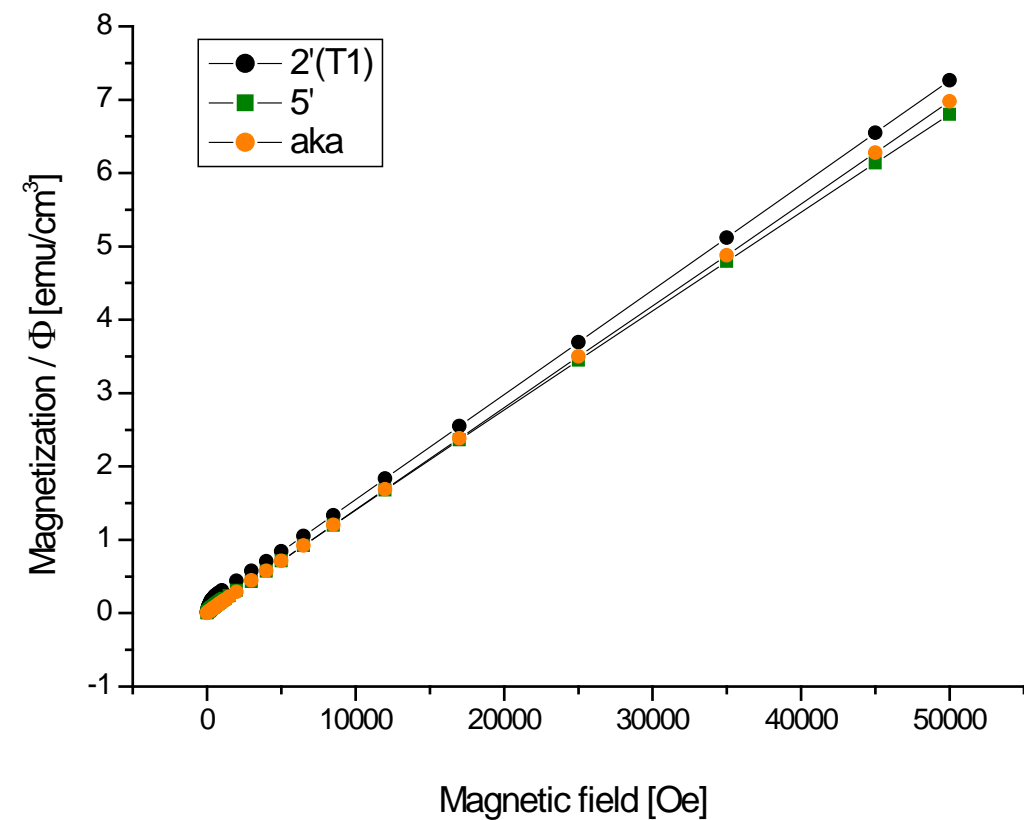
$$\chi_A = \chi_{||} - \chi_{\perp}$$

*mesures effectuées à l'INSP (UPMC)



Magnétométrie SQUID à température ambiante*

Goethites non dopées



*mesures effectuées à l'INSP (UPMC)

Analyse pour extraire χ_{AF} et μ

- Fit linéaire de la partie haut champ

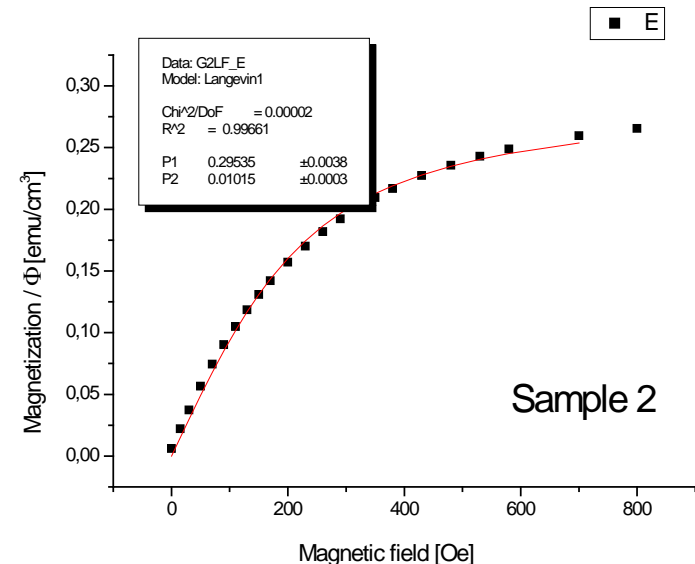
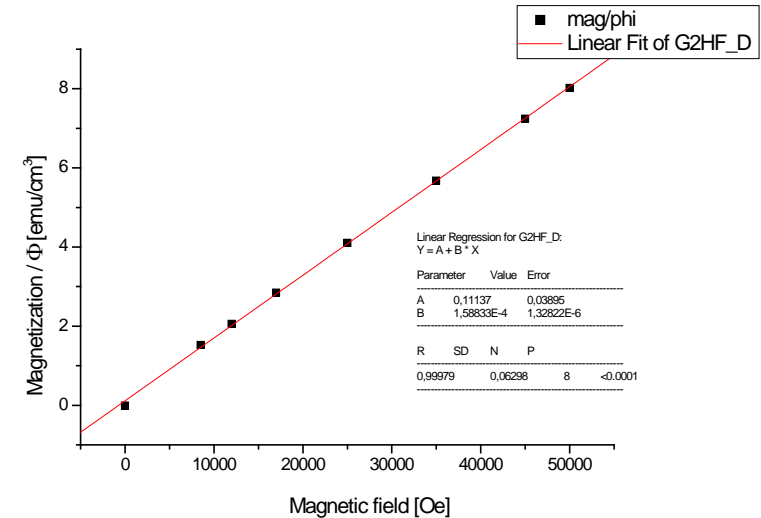
$$M/\Phi = \chi_{AF}/\Phi * H$$

- Soustraction de la contribution linéaire aux données brutes

- Fit Langevin (1^{er} ordre) des données soustraites à bas champ

$$M/\Phi = c_1 * L_1(c_2 * H)$$

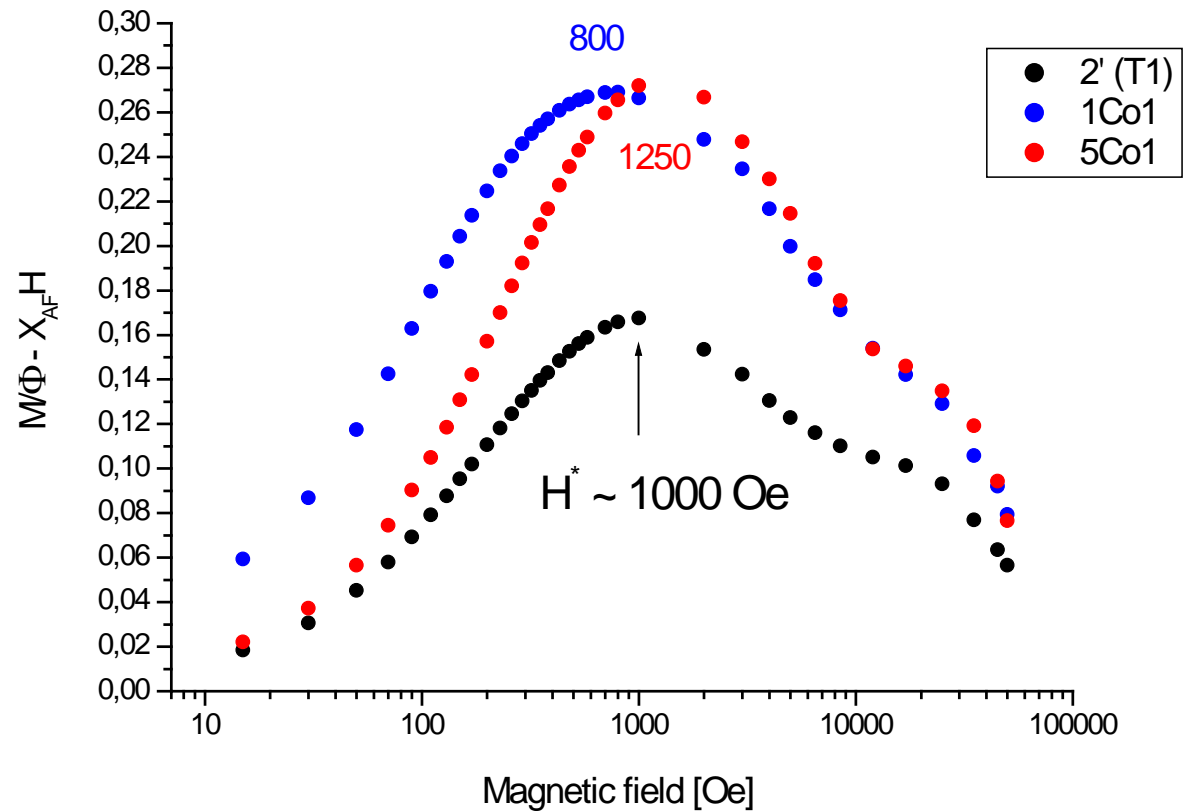
- $c_2 = \mu_0 \mu / k_b T$ d'où μ



Autre analyse

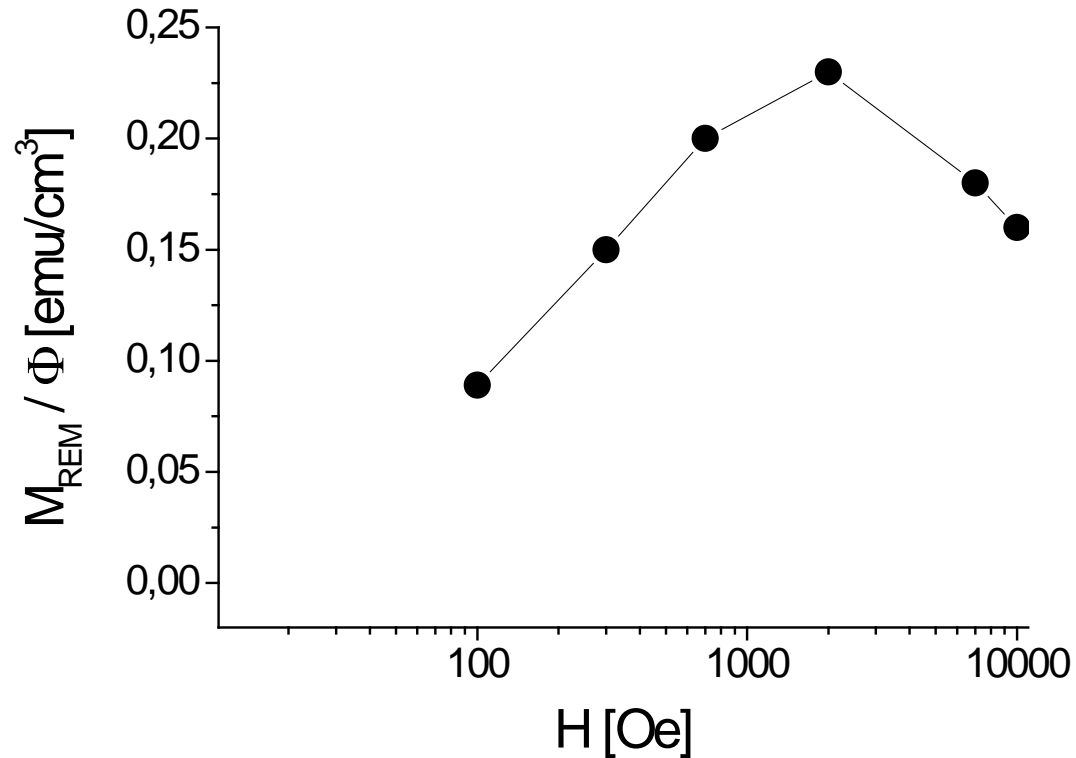
En regardant les données soustraites de la contribution linéaire sur la pleine échelle, on voit quelque chose qui ressemble à un S_1 avec d'abord une phase d'orientation du moment permanent puis une phase de désorientation.

Le champ correspondant au max peut être comparé aux mesures de birefringence.



Aimantation rémanente à 250K

Pour le témoin 2'



On refroidit sous champ pour figer l'orientation des bâtonnets puis on regarde la rémanence (de sorte de $\chi_{\text{AF}} H = 0$)

Dopage de la goethite par des cations M^{n+}

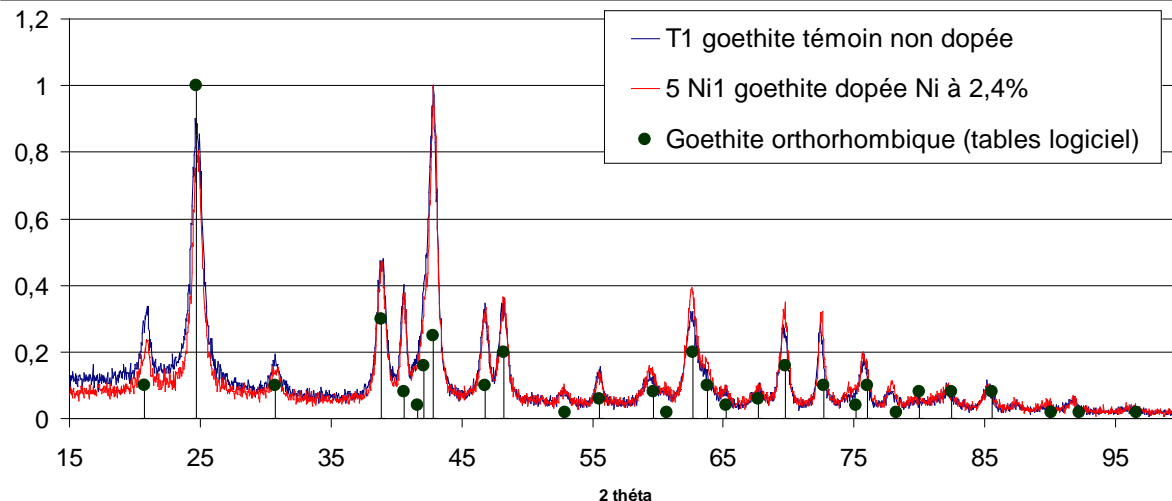
- U. Schwertmann & R.M. Cornell, Iron Oxides in the Laboratory (1991)
- B. Sing et al., Clay Minerals 2002 → Cr^{3+} , Mn^{3+} , Ni^{2+}
- M. Mohapatra et al., Hydrometallurgy 2002 → Cu^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Mat. Chem. Phys. 2005 → Ce^{4+}

Conditions de vieillissement choisies: 24h – Etuve 70° C - pH=11-12

Ech	pH _{vieill.}	Ni/Fe	Φ v/v	Z _{ave} , nm
T	11.1	0	0.21%	205
1Ni	11	0.6%	0.19%	198
5Ni	11.9	2.4%	0.17%	142
10Ni	12	2.8%	0.10%	168

Ech	pH _{vieill.}	Co/Fe	Φ v/v	Z _{ave} , nm
T	11.1	0	0.21%	205
1Co	12	1.0%	0.25%	284
5Co	12.2	2.6%	0.15%	169
10Co	12.2	9.6%	0.02%	238

DRX: pas de trace de $Ni(OH)_2$... Dépôt du nickel en surface?



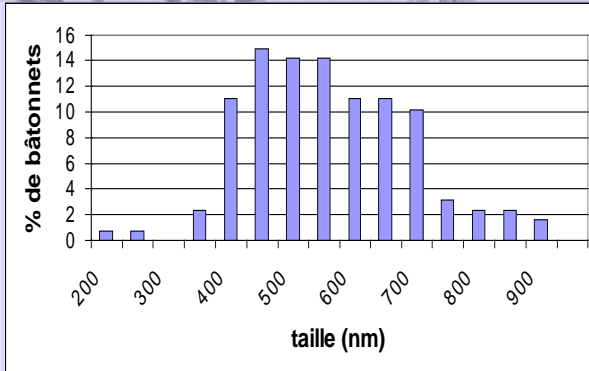
αFeOOH : orthorhombique $a=9.95\text{\AA}$ $b=3.01\text{\AA}$ $c=4.62\text{\AA}$

1 μm

1 μm

Dopage de la goethite par Ni²⁺ – Taille des bâtonnets

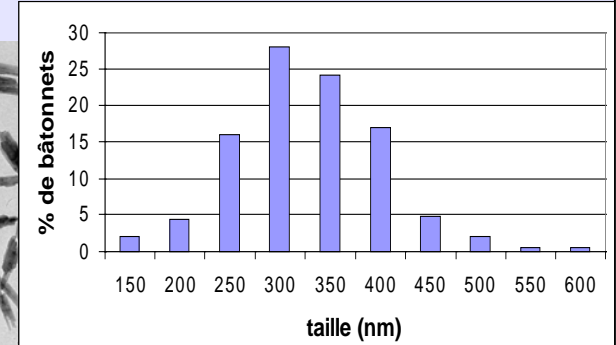
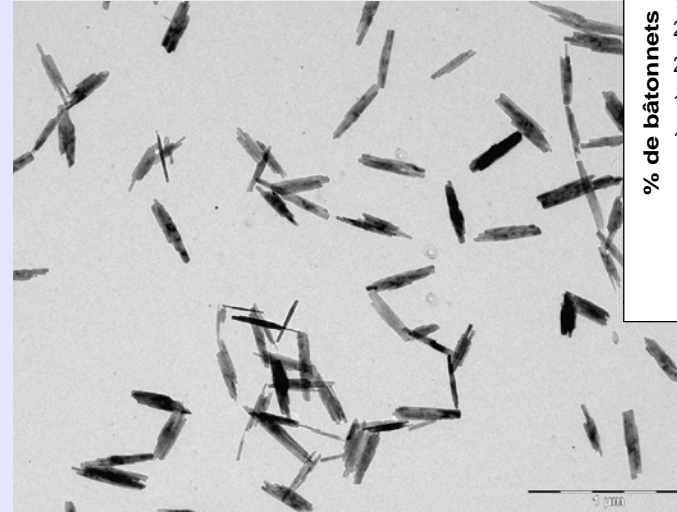
Goethite non dopée témoin T1



Diamètre hydrodynamique = 205 nm

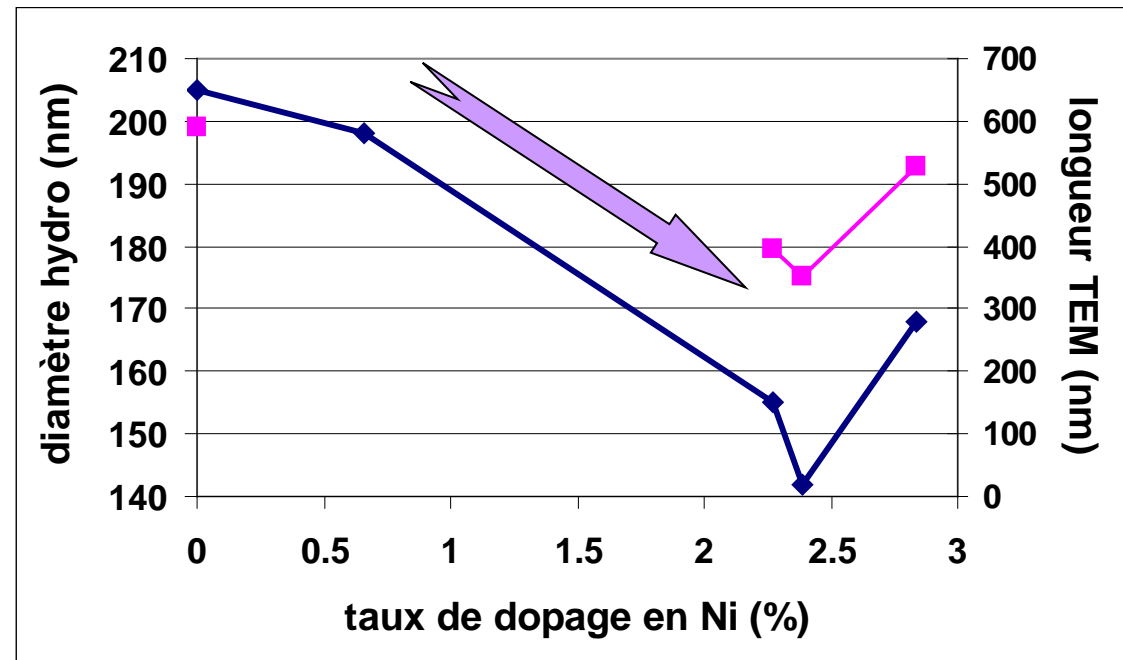
Goethite dopée Ni 2,4%

Fe^{III}:Ni^{II} 95:5



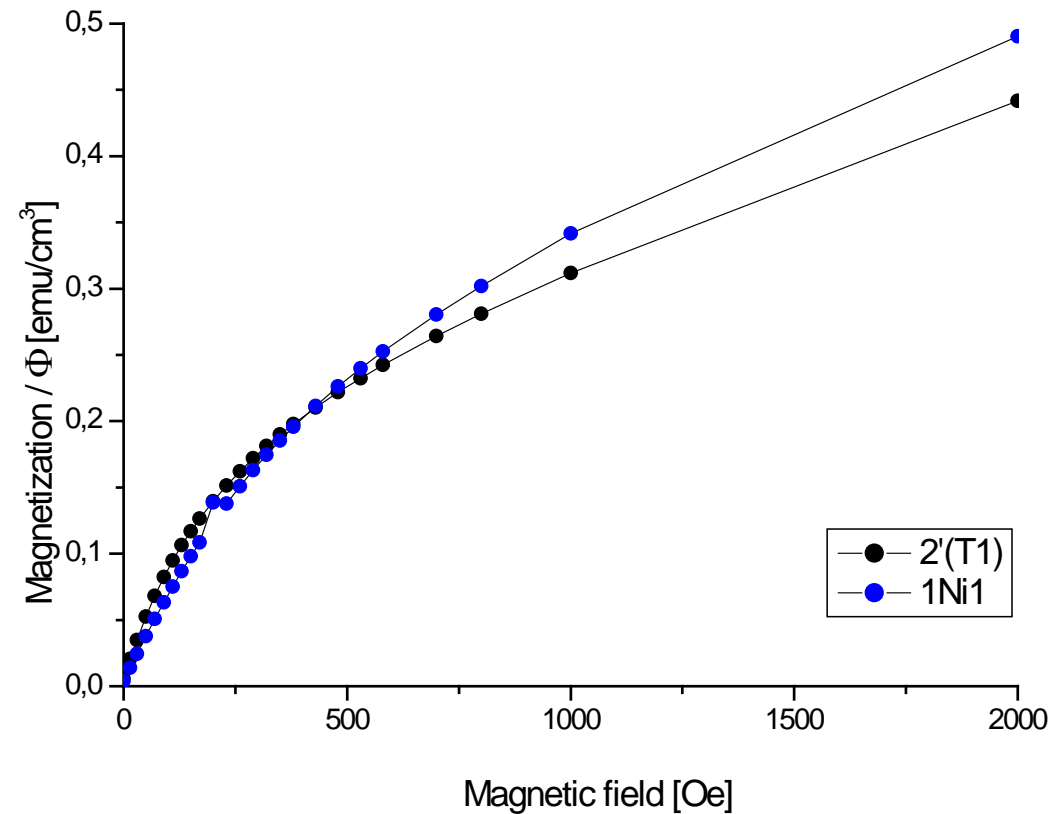
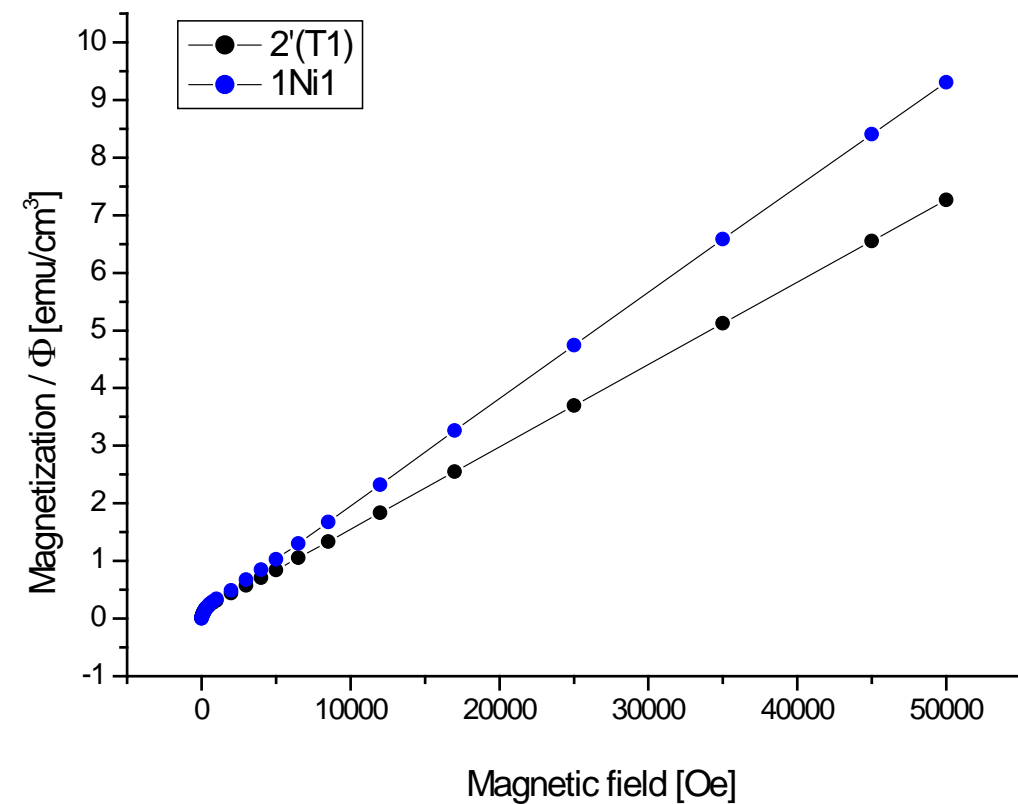
Diamètre hydro = 142 nm

Le dopage au Ni²⁺ fait chuter la longueur moyenne des bâtonnets



Magnétométrie SQUID à température ambiante*

Goethites dopées Ni²⁺

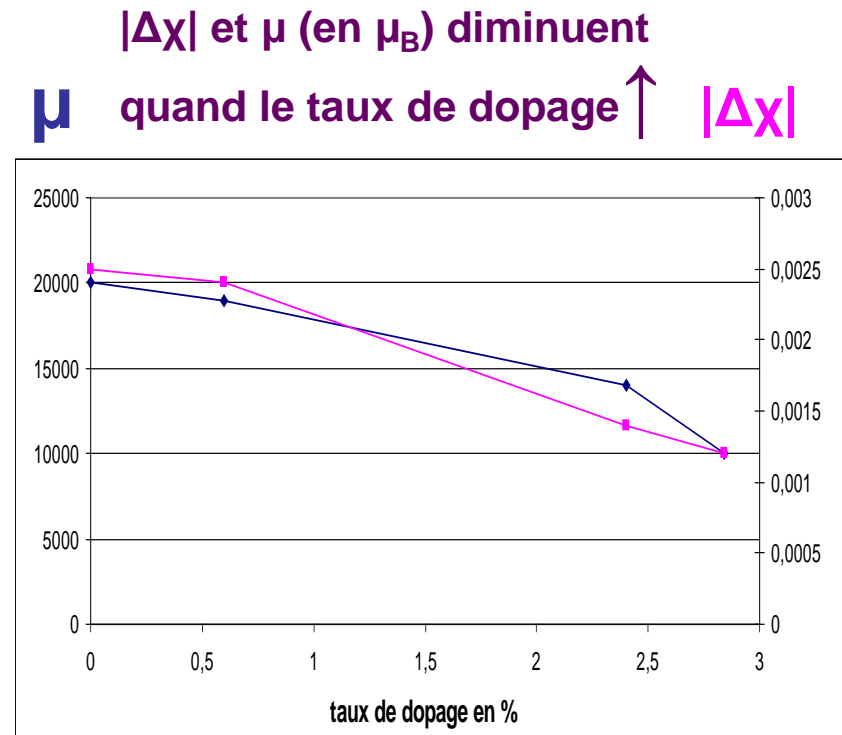
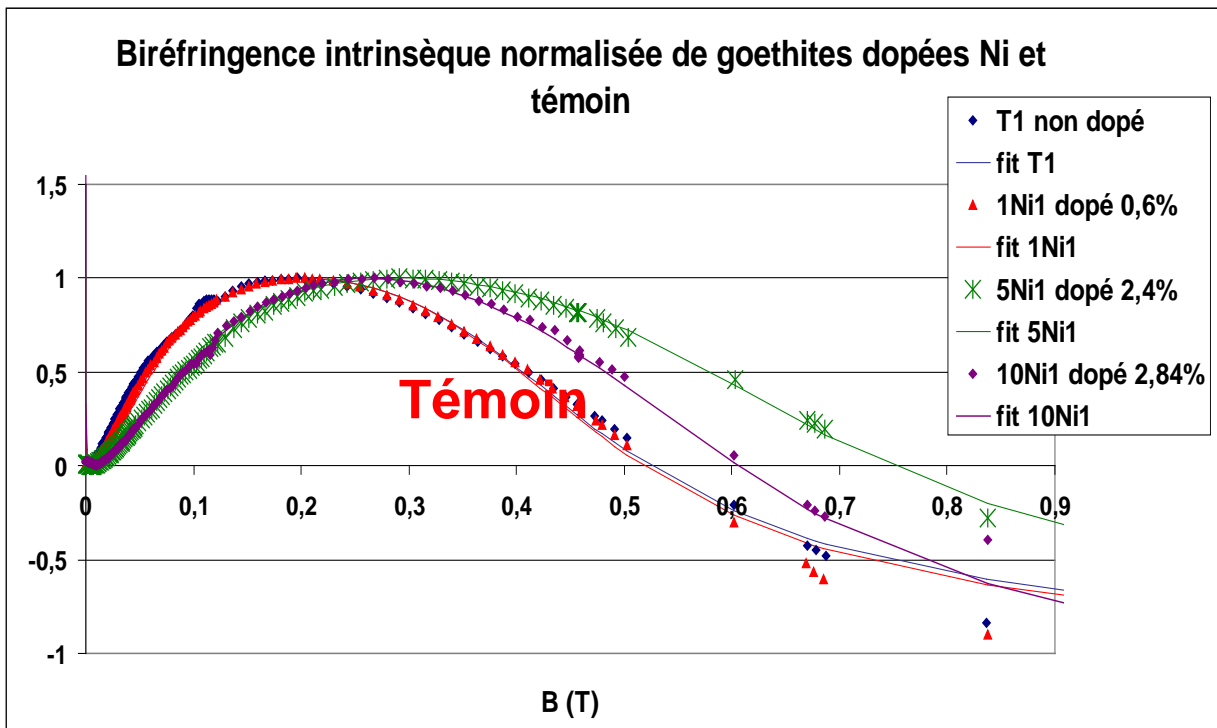


*mesures effectuées à l'INSP (UPMC)

Biréfringence des goethites dopées Nickel

En théorie le fit des courbes expérimentales par le modèle de B. Lemaire doit permettre de trouver les paramètres magnétiques et géométriques caractérisant les bâtonnets : le moment permanent μ , l'anisotropie de susceptibilité magnétique $\Delta\chi$ et les 3 dimensions L, l et e, qui jouent à la fois sur le volume et sur la biréfringence spécifique $\Delta n_{spe} \dots$

En pratique, les tailles sont polydispense et n'ont pas été mesurées suffisamment précisément.. On arrive néanmoins à ajuster le champ d'inversion avec des paramètres raisonnables...

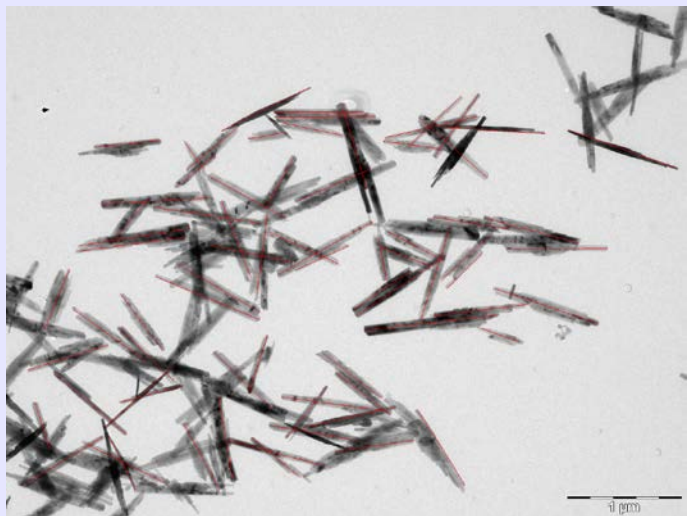


- Le dopage au Nickel décale le maximum de biréfringence vers les plus hauts champs
- Evolution non monotone en fonction du taux de dopage? Non car 10Ni1 est dopé à 2.8% seulement!

Compétition entre aimantations permanente et induite : les deux paramètres jouent sur le champ d'inversion

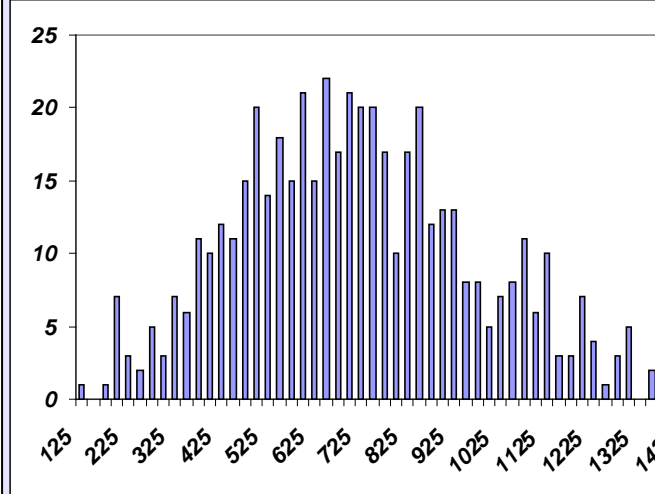
Dopage de la goethite par Co^{2+} – Taille des bâtonnets

Goethite dopée Co 1%

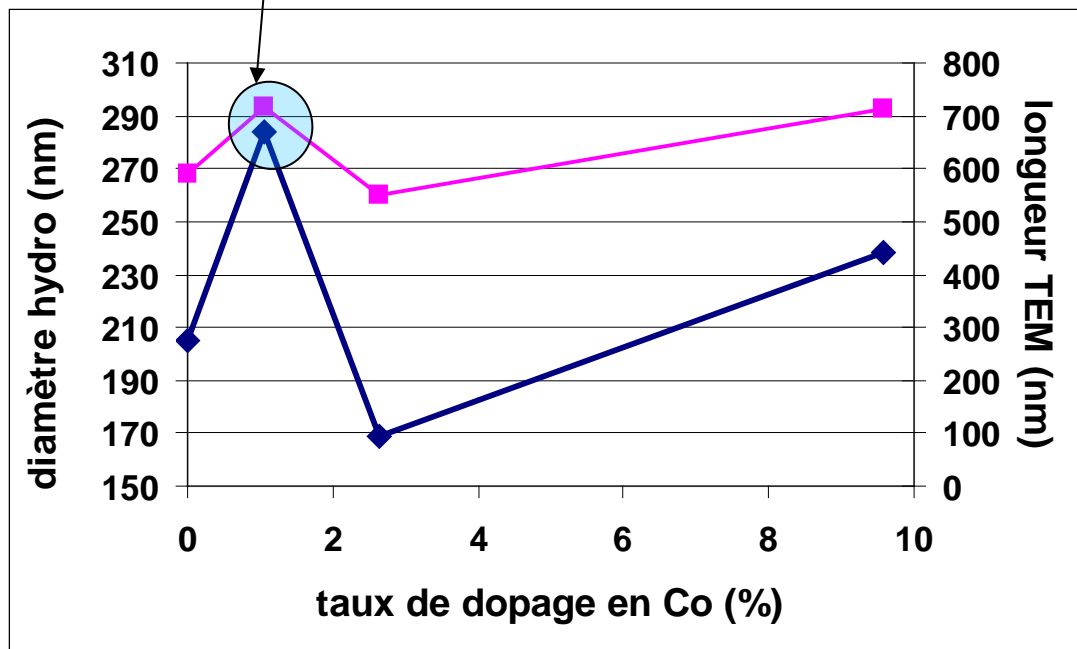


Diamètre hydrodynamique = 284 nm
Longueur moyenne en TEM = 715 nm

Goethite dopée Co 10%



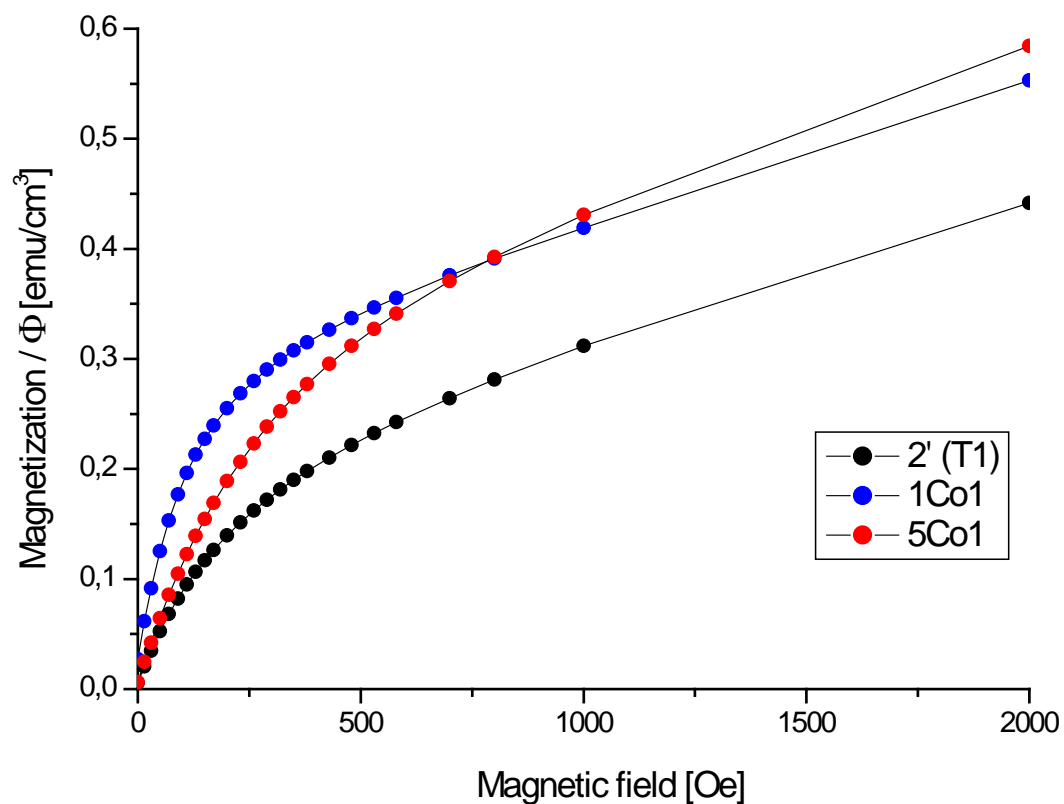
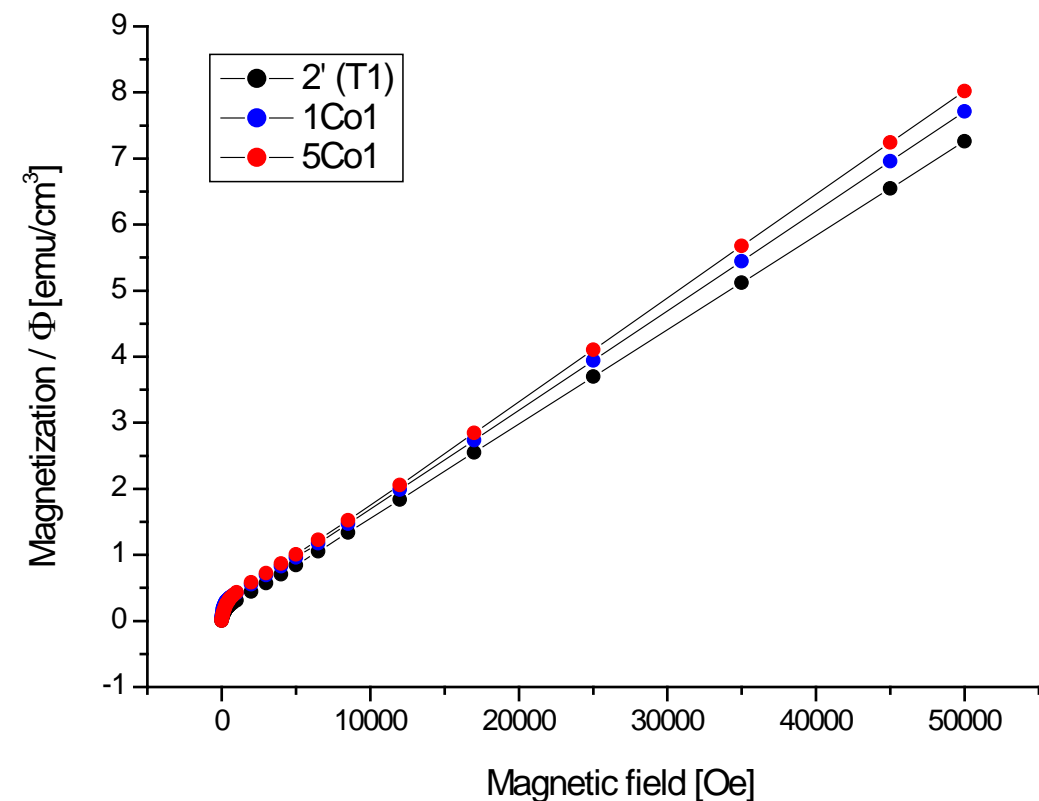
Propriétés magnétiques intéressantes (échantillon 1Co1)



L'effet du dopage Co est non monotone :

Magnétométrie SQUID à température ambiante*

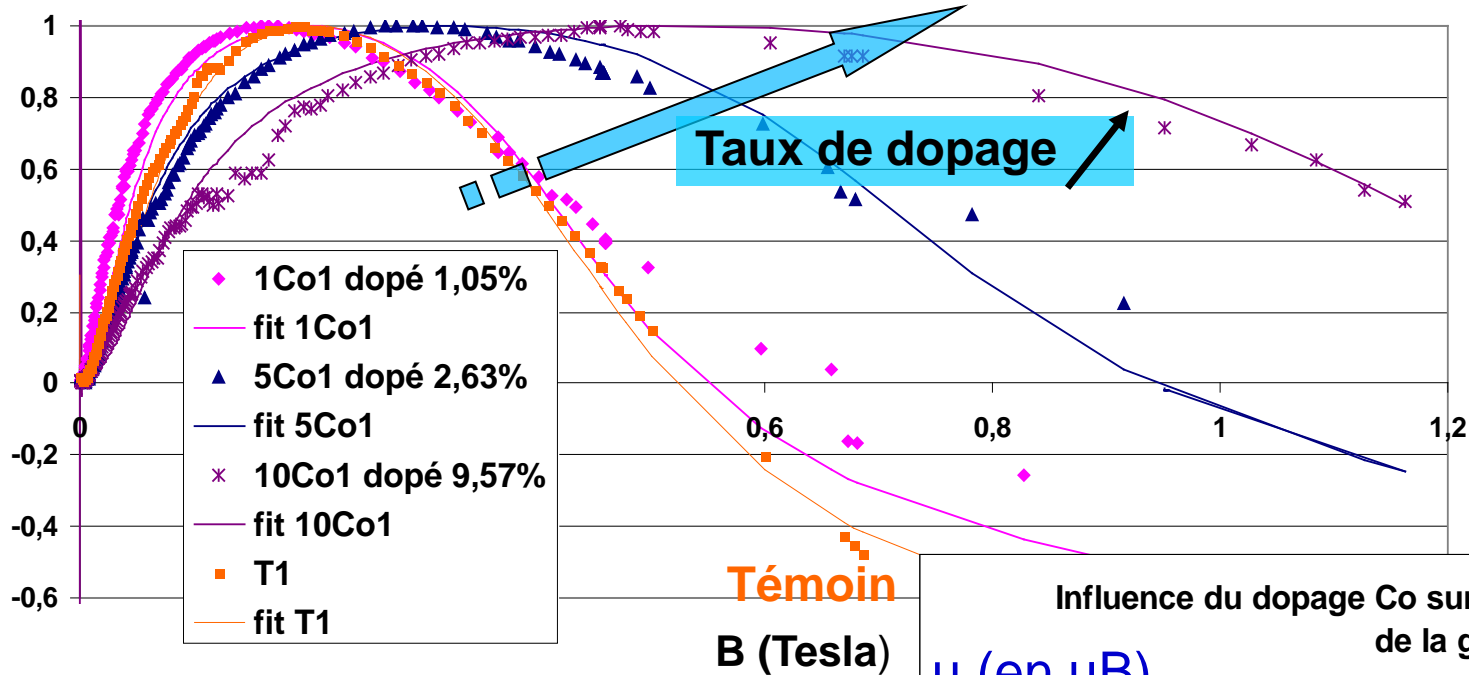
Goethites dopées Co^{2+}



*mesures effectuées à l'INSP (UPMC)

Biréfringence des goethites dopées Cobalt

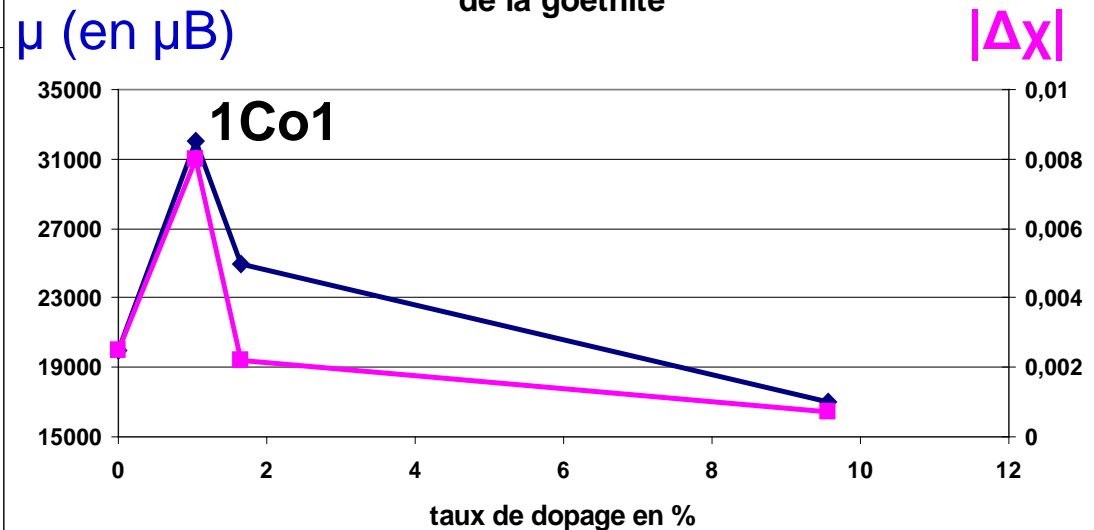
Biréfringence intrinsèque normalisée et fit - influence du taux de dopage en cobalt



Plus le taux de dopage \uparrow , plus le maximum et l'inversion sont décalés vers les hauts champs, sauf pour 1Co1

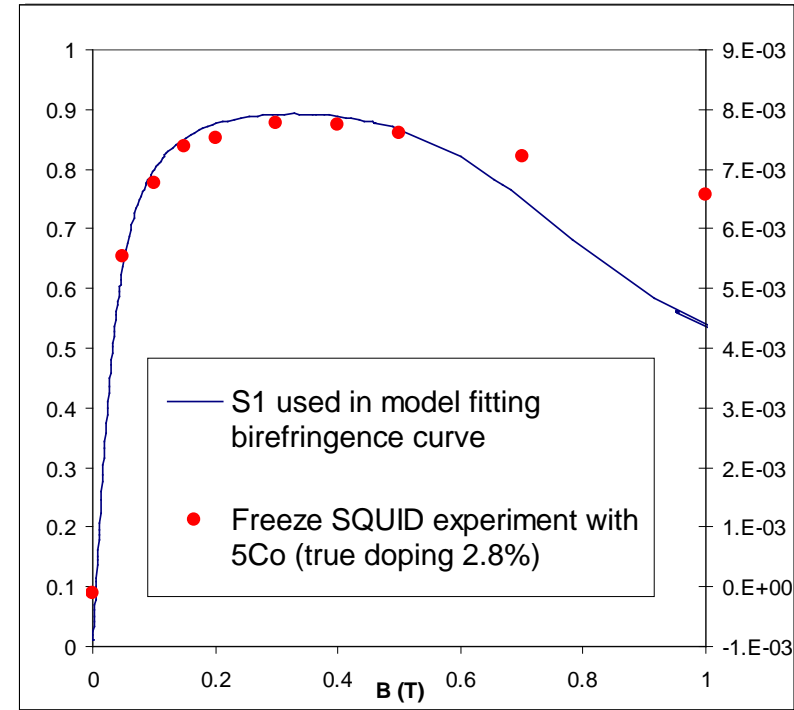
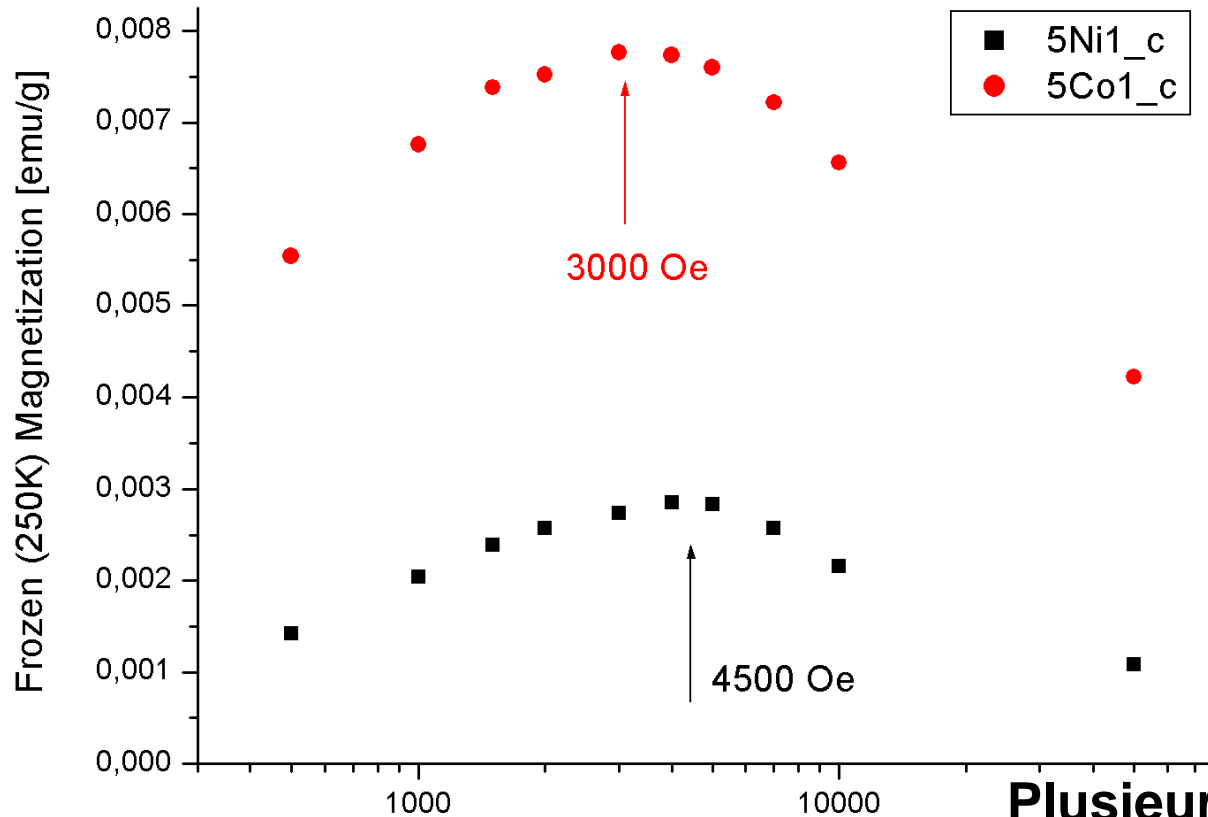
- 1Co1 a un μ et un $|\Delta\chi|$ plus élevés que les autres échantillons \rightarrow corrélation avec des tailles + élevées
- Pour les autres $|\Delta\chi|$ et $\mu \downarrow$ quand le taux de dopage en Cobalt \uparrow

Influence du dopage Co sur les propriétés magnétiques de la goethite



Magnétométrie SQUID* à l'état gelé

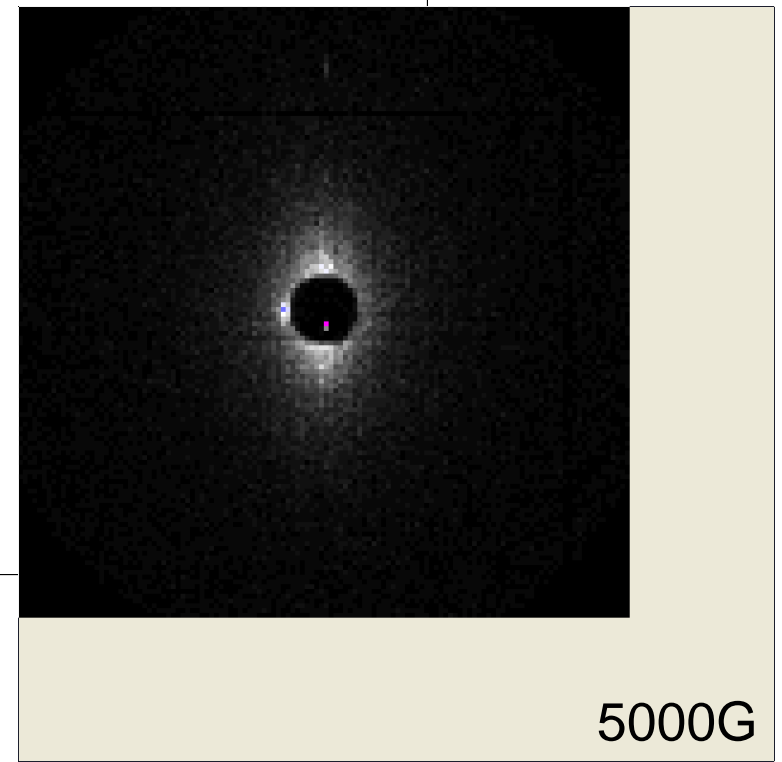
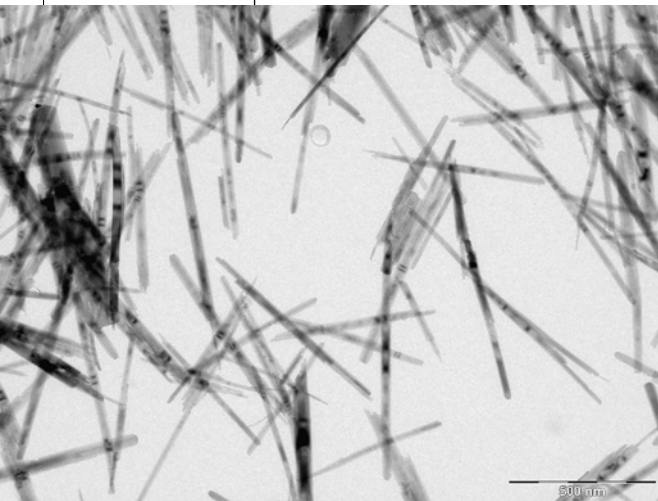
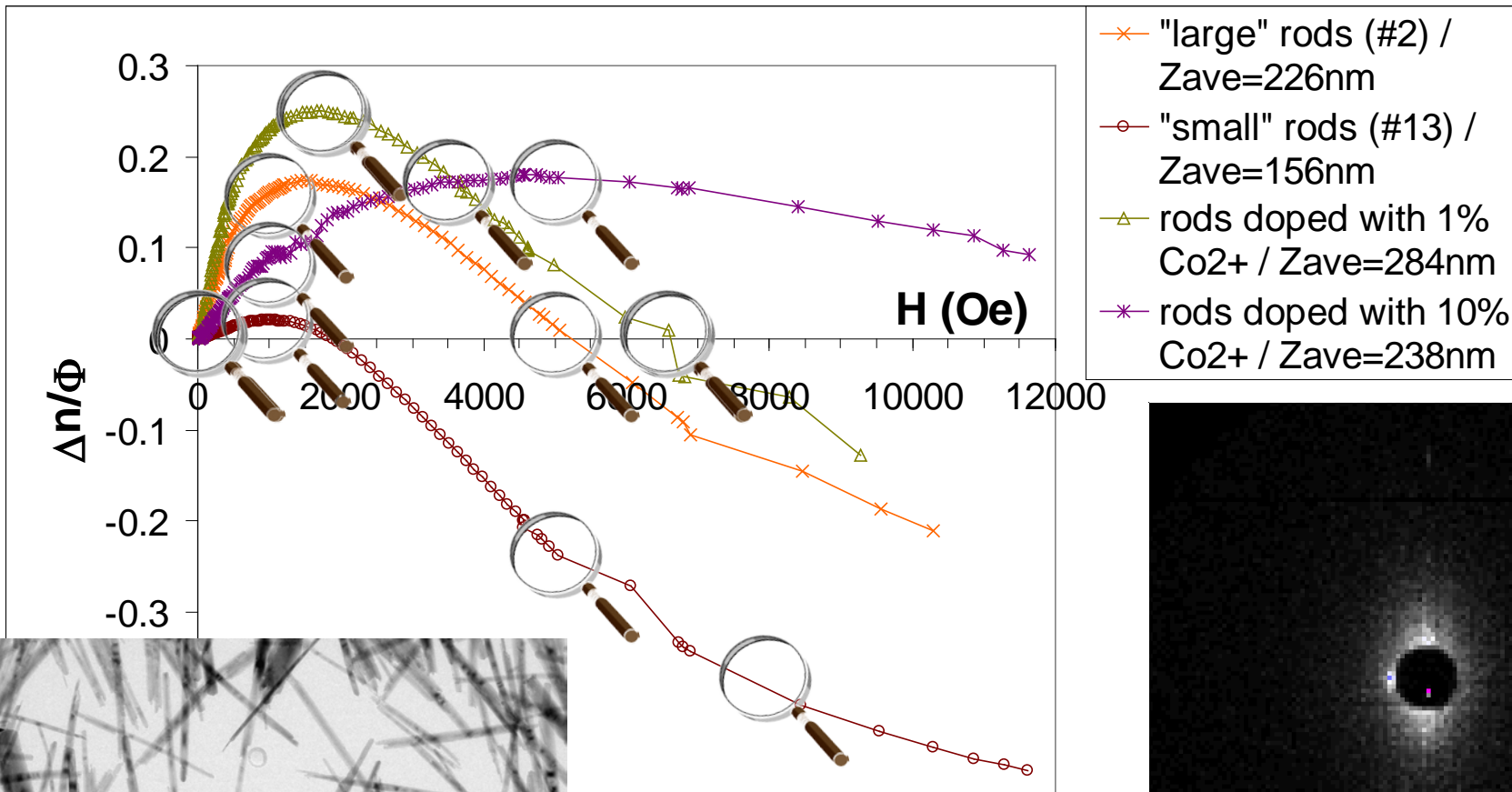
L'échantillon (suspension concentrée par sédimentation) est gelé sous différents champs (H_{gel}): pour chaque valeur de H_{gel} , on applique un cycle et on mesure l'aimantation rémanente.



	B_c (T)	Magnetic Field [Oe] μ (μB)	$\chi_A = \chi_{ } - \chi_{\perp}$	V (nm^3)	Z_{ave} (nm)
5Ni	0.76	14000	$-1.4 \cdot 10^{-3}$	350 x 40 x 20	142
5Co	0.91	25000	$-2.0 \cdot 10^{-3}$	310 x 40 x 20	169
T	0.5	20000	$-2.5 \cdot 10^{-3}$	400 x 40 x 20	205

*mesures effectuées à l'INSP (UPMC)

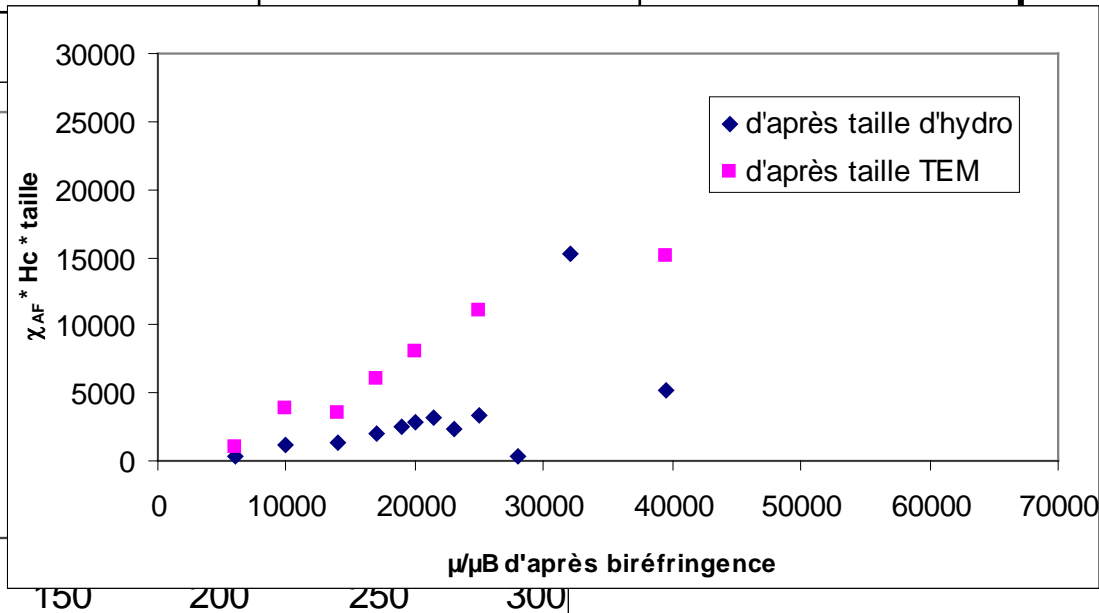
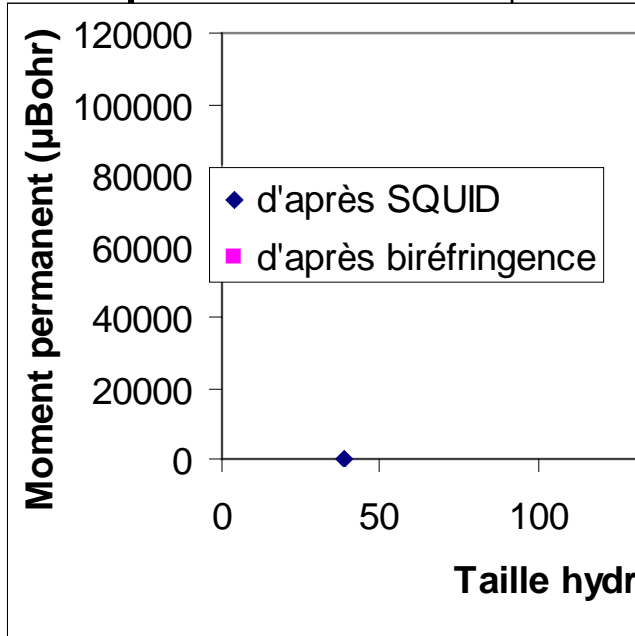
Anisotropic small-angle neutron scattering PAXY (LLB CEA-Saclay)



$q: 2.8 \times 10^{-2} - 2.3 \times 10^{-2} \text{ \AA}^{-1}$

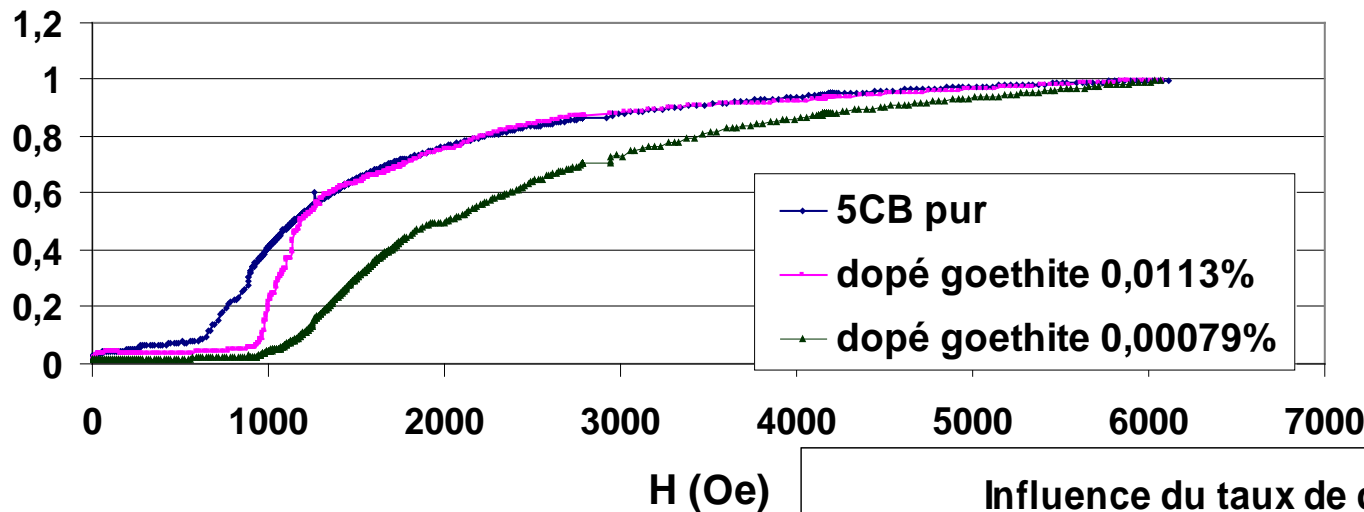
Synthèse des résultats

Ech.	Φ [%]	χ_{AF}/Φ . 10^{-3} SI	μ_{perm}/μ_B
2'	2.52	1.441	58400
5'	2.84	1.356	43800
6' (aka)	4.19	1.164	NA
1Co	3.48	1.526	112500
5Co			



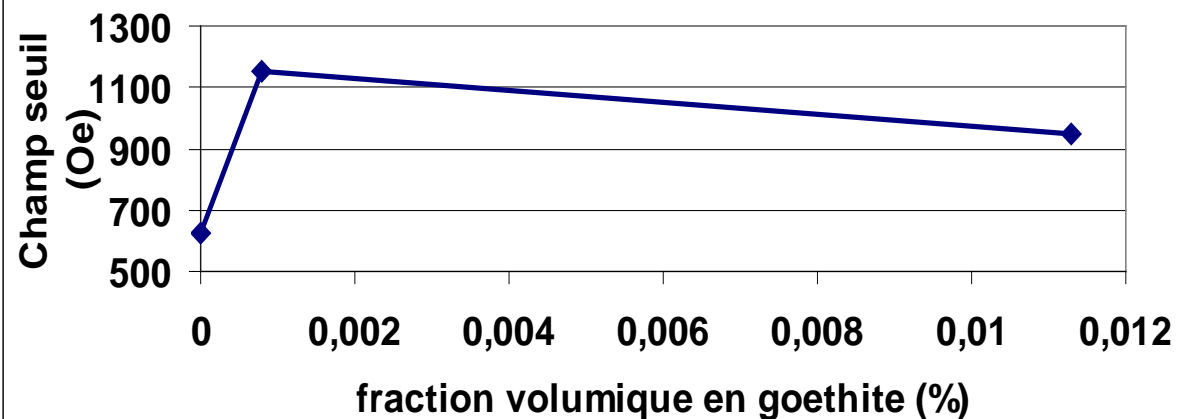
Retour à la transition de Fredericksz: 5CB dopé par des bâtonnets de goethite

delta phi normalisé, cellule 400 um, influence du dopage en goethite

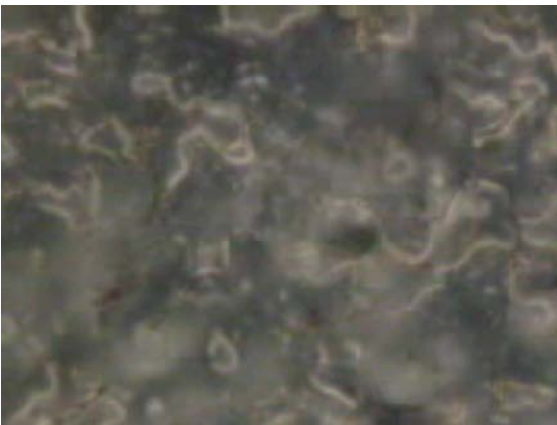


Le dopage a tendance à augmenter le champ seuil mais l'effet n'est pas monotone en fonction de la concentration. L'échantillon de plus faible fraction volumique correspond à la courbe la plus décalée.

Influence du taux de dopage en goethite sur le champ seuil



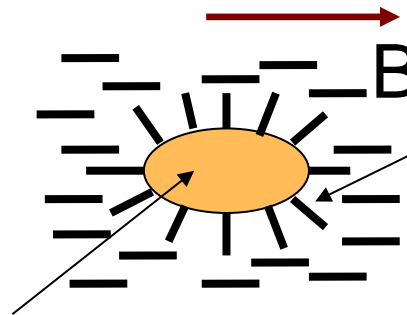
état de dispersion des bâtonnets dans la matrice 5CB différent entre les échantillons?



Interprétation de l'effet du dopage en particules magnétique

1 Augmentation du champ seuil de la transition de Fredericksz avec le dopage

Phénomène de démixtion : le ferrofluide se concentre dans des gouttelettes aux formes diverses, en général concentrées au niveau des défauts



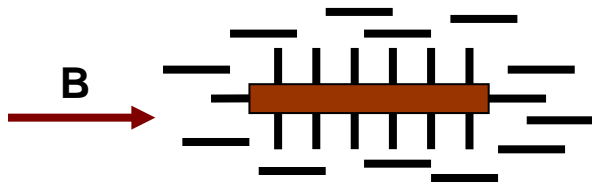
Ancrage homéotrope du 5CB sur la gouttelette : s'oppose à l'orientation des bâtonnets suivant le champ

Gouttelette de ferrofluide déformée sous champ

2 Augmentation du champ seuil de la transition de Fredericksz avec le dopage goethite – Effets attendus d'une meilleure dispersion

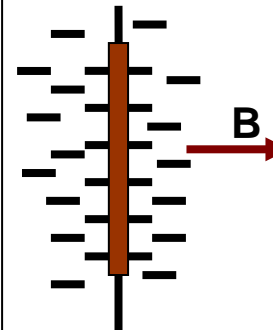
- Dans le cas d'une mauvaise dispersion l'explication est la même que pour le dopage ferrofluide: il y a ancrage homéotrope du 5CB à la surface de gouttelettes ou d'agrégats concentrés en goethite
- Si les bâtonnets sont bien dispersés, deux cas de figure peuvent se présenter ($B > B_F$):

$$B_F < B_{\text{goethite}}$$



L'ancrage homéotrope du 5CB sur les bâtonnets s'oppose à l'orientation due au champ

$$B_F > B_{\text{goethite}}$$

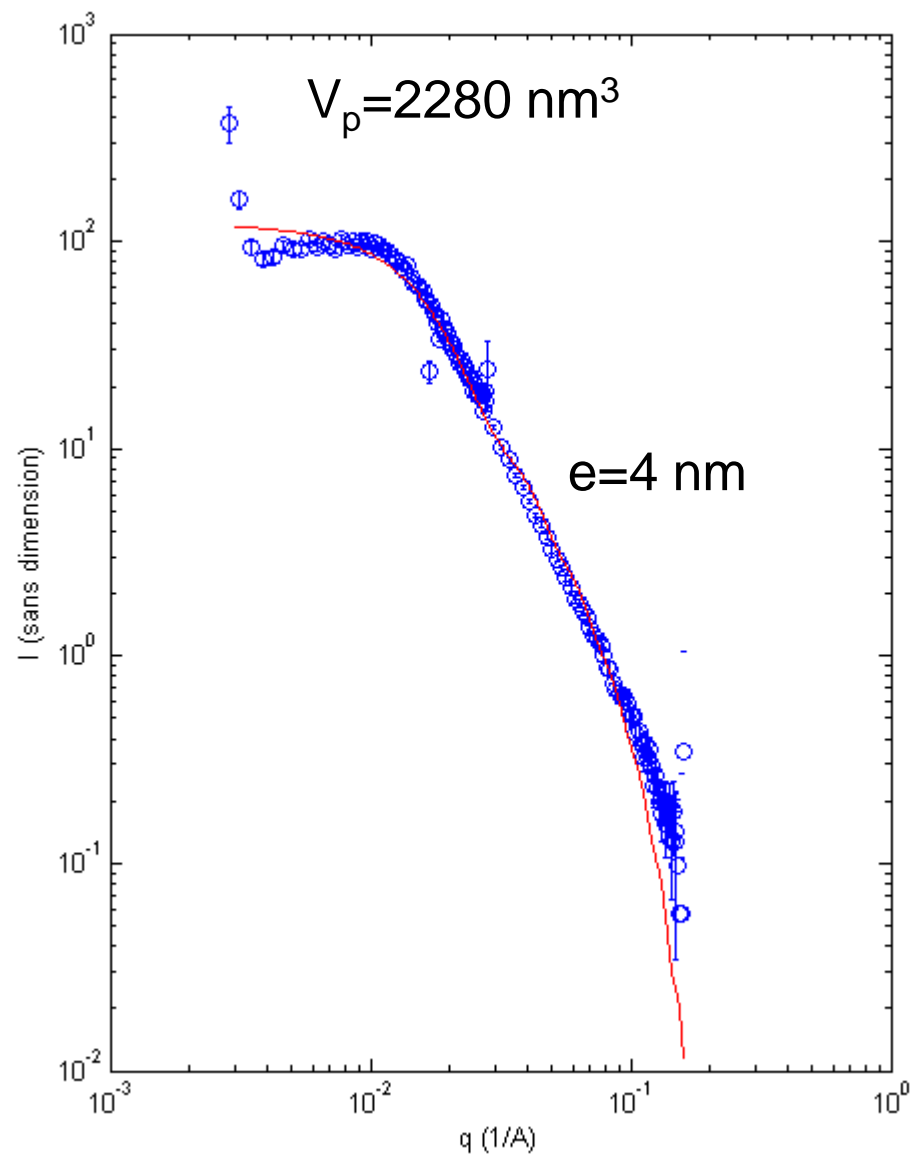
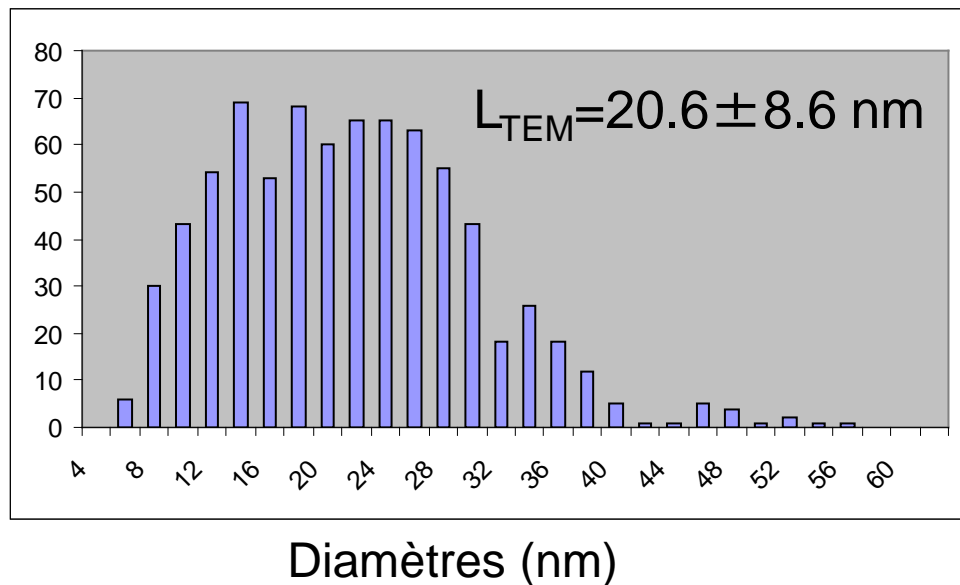
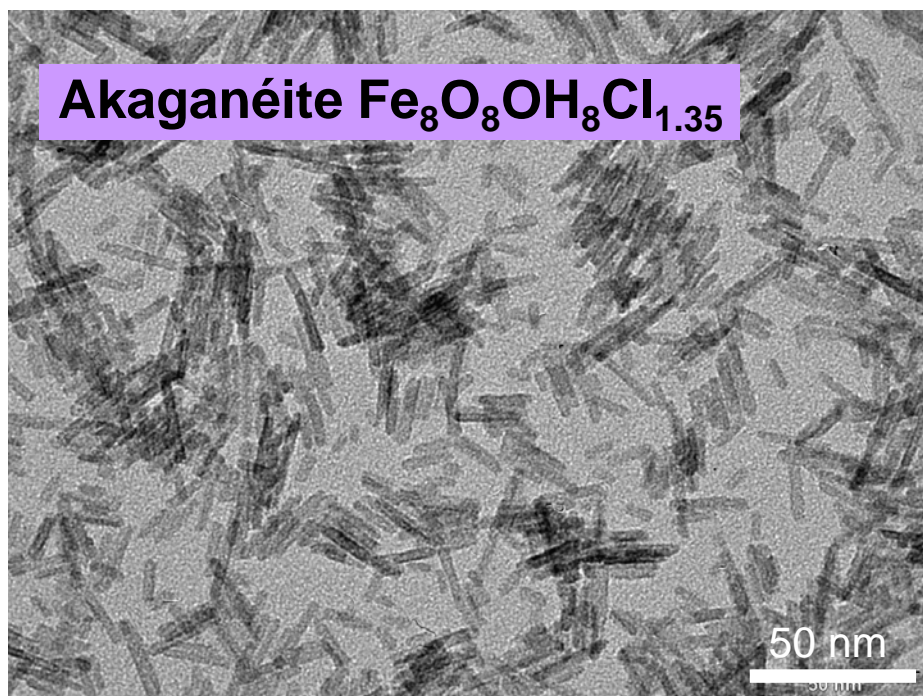


Avec le basculement des bâtonnets de goethite on tire parti de l'ancrage homéotrope et on devrait baisser le champ seuil de la transition de Fredericksz

B_F = Champ seuil de la transition de Fredericksz

B_{goethite} = Champ d'inversion de la biréfringence

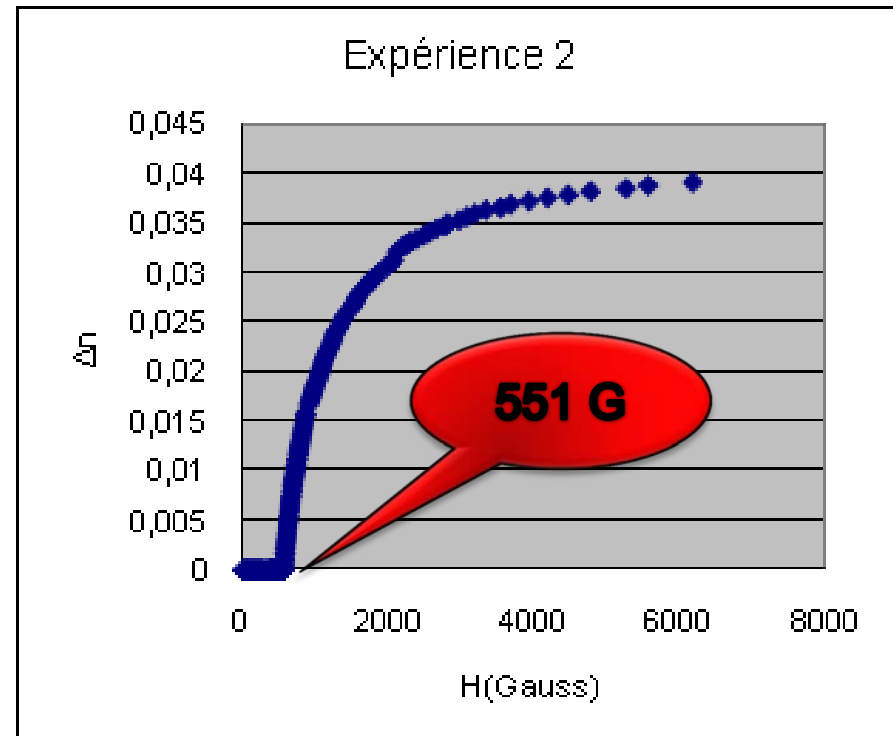
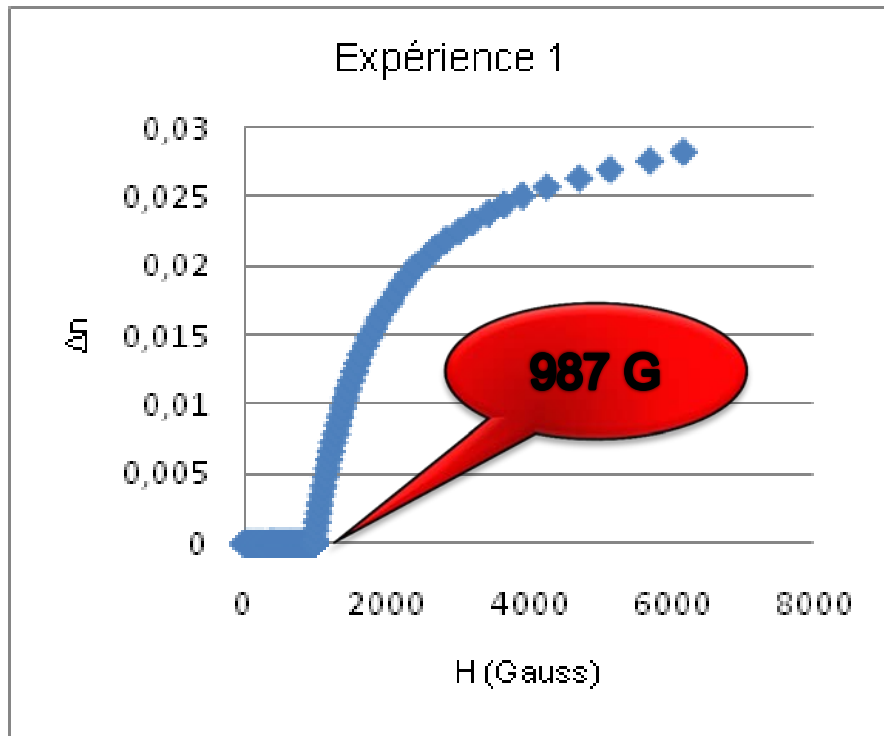
Nano-bâtonnets de taille + proche de celle des mésogènes



GUEDJ Jérémie
GONZALEZ DIAZ Michaël
Stagiaires L3PC 2008/2009

Nano-bâtonnets de taille + proche de celle des mésogènes

Akaganéite $\text{Fe}_8\text{O}_8\text{OH}_8\text{Cl}_{1.35}$



Biréfringence de E7 dopé avec l'akaganéite (e=500 μm)

- Purement anti-ferromagnétique d'après **magnétométrie SQUID**

Perspectives en vue de l'obtention d'un vrai « ferronématique » »

Chimie et synthèse : améliorer la dispersion

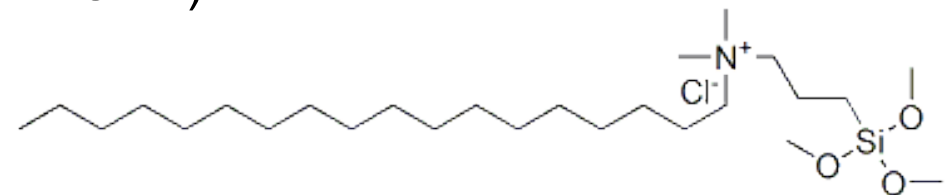
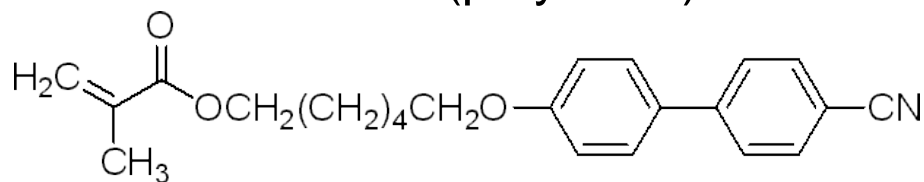
- Essayer d'autres tensioactifs pour le coating de la goethite et l'ancrage du 5CB
- Optimiser les conditions opératoires pour obtenir des bâtonnets de plus petite taille

Biréfringence et magnétométrie : valider le modèle du fit de la biréfringence

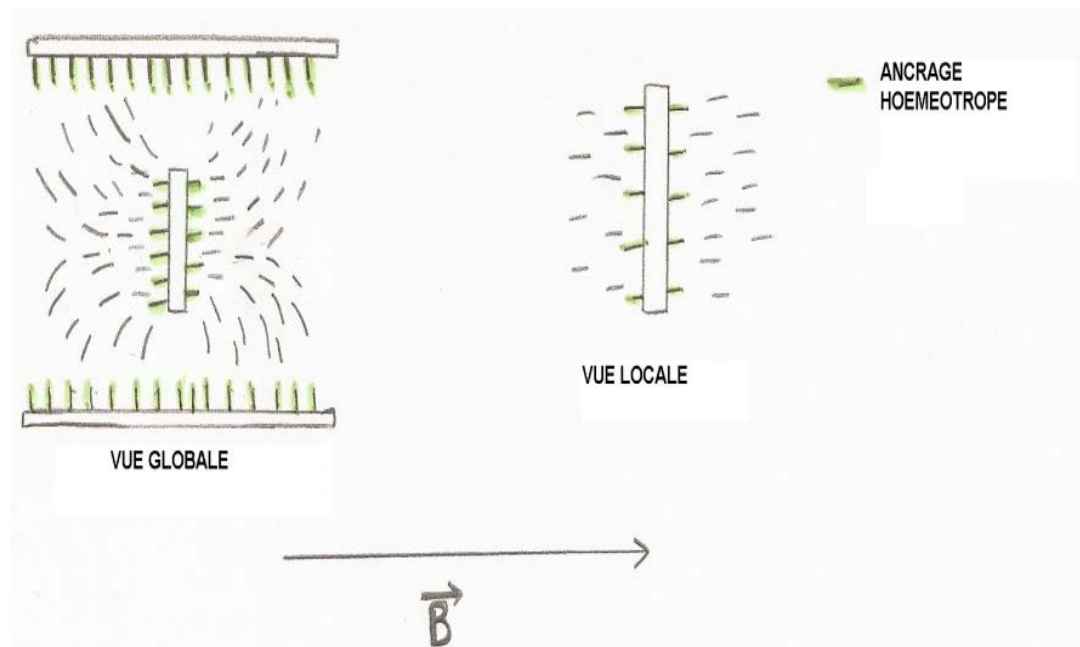
- Etudier la dynamique de retournement de la goethite par biréfringence dynamique
- Unifier les paramètres de fit des courbes de magnétométrie (μ et χ_A), de biréfringence (Δn_{spe} , V_p , μ et χ_A), et de diffusion de rayonnement isotrope ($V_p=L^*I^*e$) et anisotrope (S_2)

Cristal liquide

- Contrôler les ancrages → Collaboration E. Lacaze et H. Ayeb (INSP)
 - Sur les lames de verre et sur les nanoparticules
 - Planaire (polymère) et Homéotrope (DMOAP)



Mieux contrôler les ancrages...



Interactions of micro-rods in a thin layer of a nematic liquid crystal

U. Tkalec, M. Škarabotab, I. Muševic
Soft Matter **4**, 2402–2409 (2008)

“the general properties of the interactions of cylindrical particles could be determined on relatively large, μm -sized particles, and then their properties could be extrapolated down to the nanoscale”

- Co-linear / Side-by-side attraction potential
- Dipolar (hedgehog defect) / Quadrupolar (Saturn ring)

