



---

# Caractérisations et fiabilité de mémoires magnétiques à accès aléatoires (MRAM)

Encadrement : E. Vincent (STMicroelectronics)

D. Roy (STMicroelectronics)

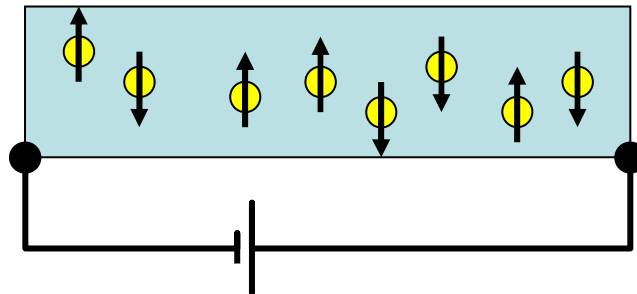
C. Chappert (IEF-CNRS)

# Introduction et motivations

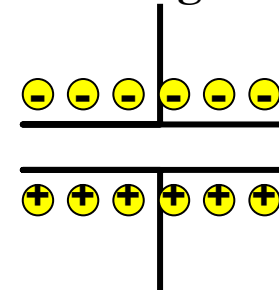
1/8

## Enregistrement électronique classique :

Transport :



Stockage :



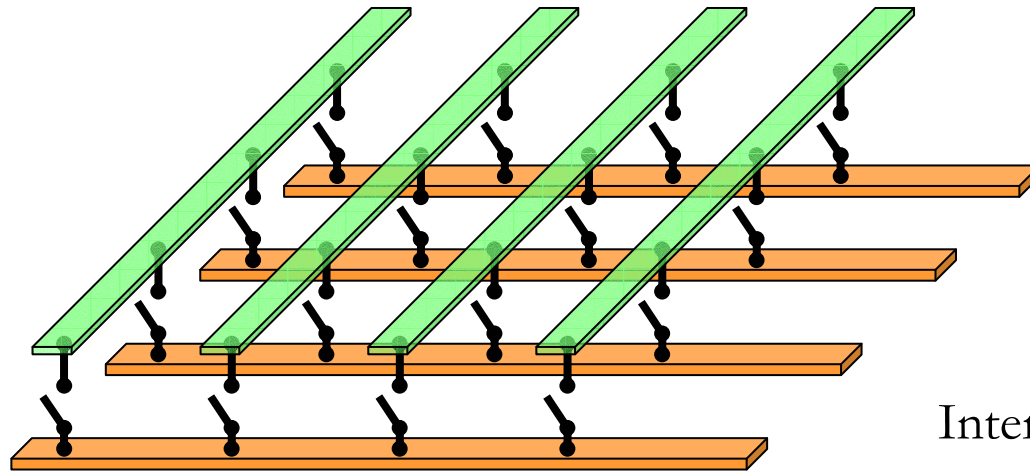
→ Charge des  $e^-$

Miniaturisation → fuites

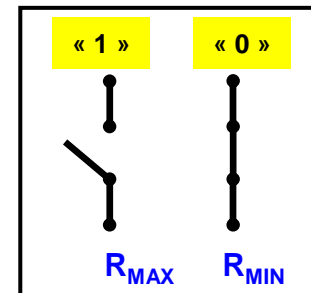
# Introduction et motivations

2/8

## La mémoire résistive R RAM :



Interrupteurs non volatiles

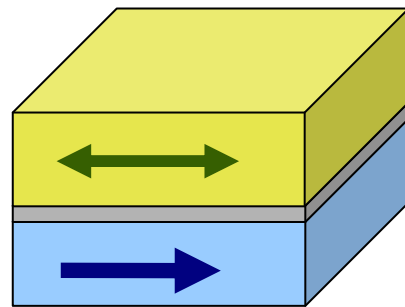


Objectif ultime : la molécule !

# Introduction et motivations

3/8

La jonction tunnel magnétique (Jullière, *Phys. Lett.* 54, 225 (1975), Moodera et al., *Phys. Rev. Lett.*, 74, 3273 (1995)):



Couche libre (*NiFe, CoFe, CoFeB*)

Anisotropie uniaxiale → 2 orientations possibles

Barrière Tunnel (*Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO*)

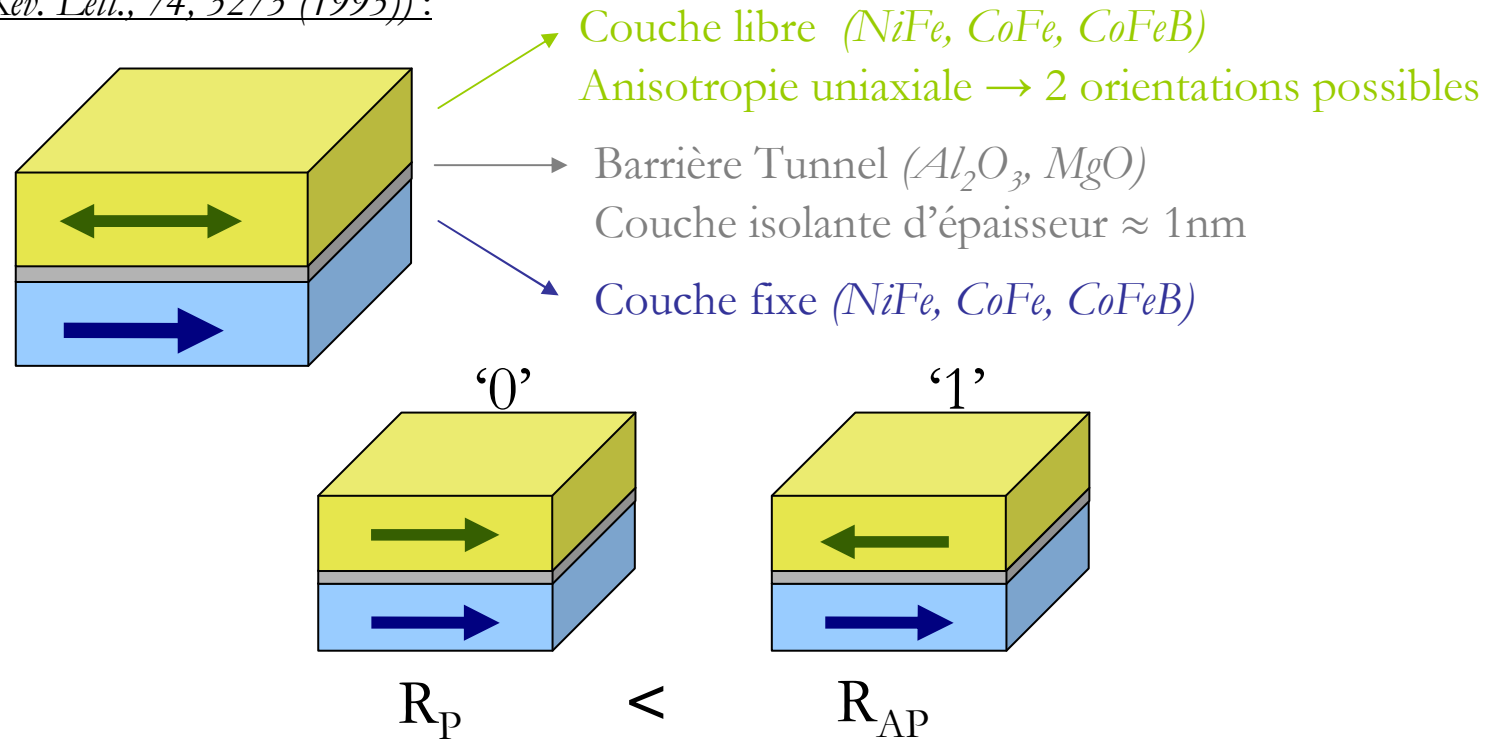
Couche isolante d'épaisseur  $\approx 1$  nm

Couche fixe (*NiFe, CoFe, CoFeB*)

# Introduction et motivations

4/8

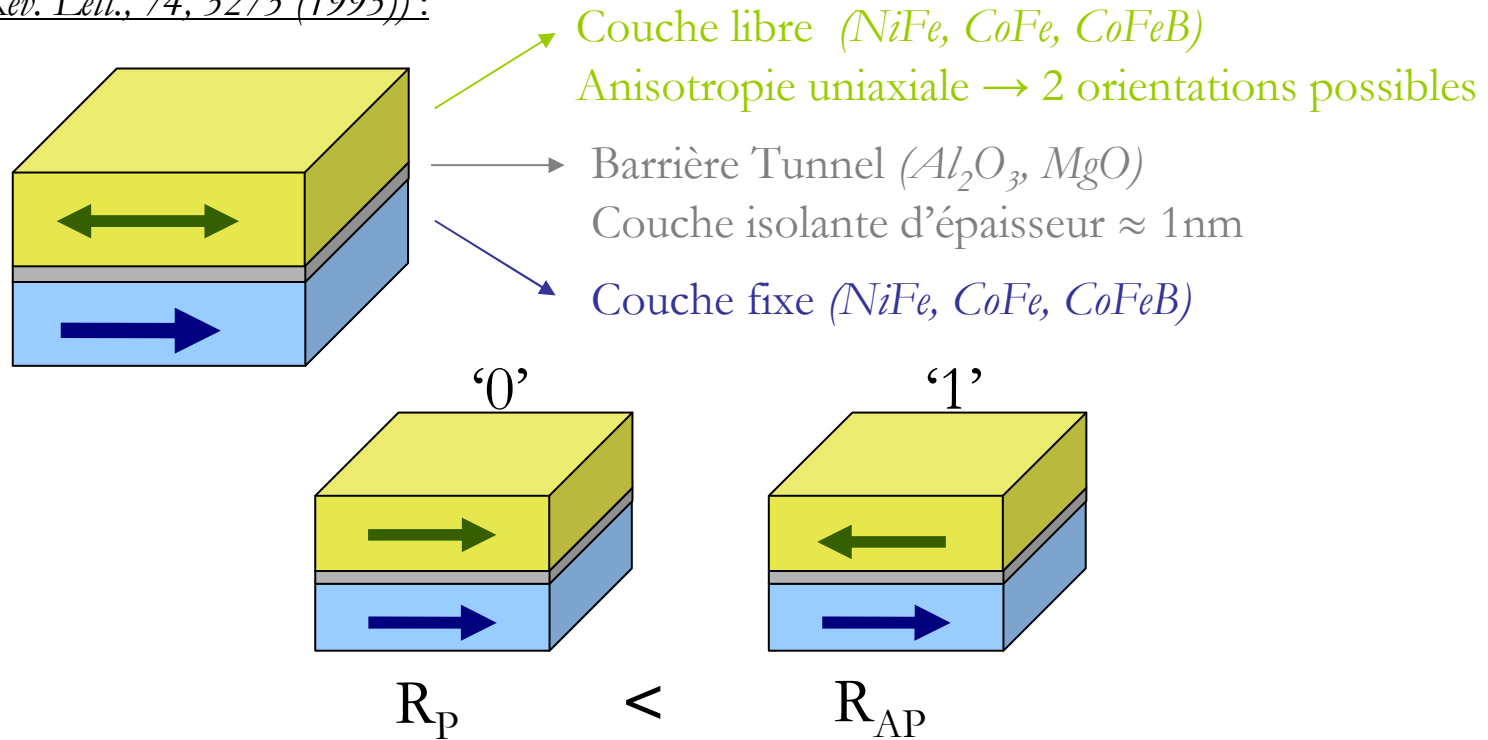
La jonction tunnel magnétique (*Jullière, Phys. Lett. 54, 225 (1975), Moodera et al., Phys. Rev. Lett., 74, 3273 (1995)*):



# Introduction et motivations

5/8

La jonction tunnel magnétique (*Jullière, Phys. Lett. 54, 225 (1975), Moodera et al., Phys. Rev. Lett., 74, 3273 (1995)*):

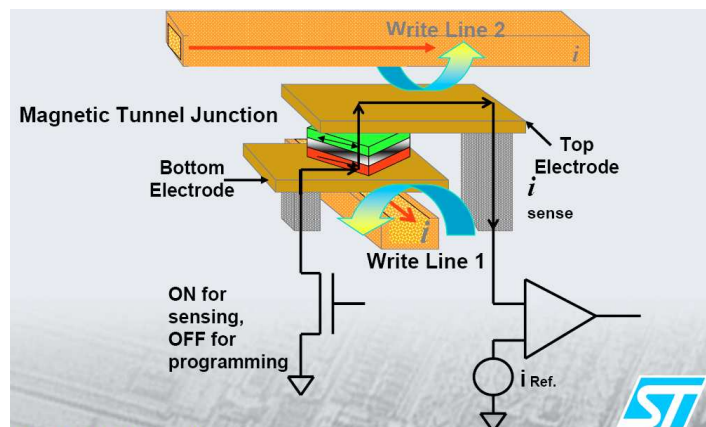
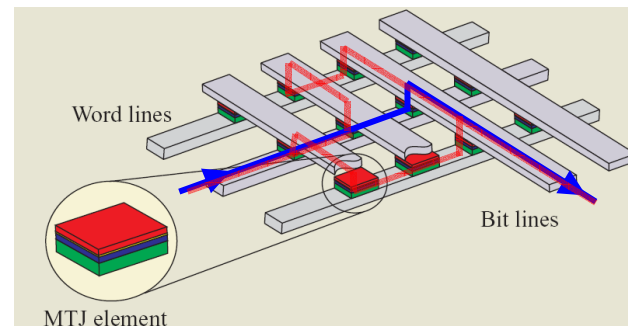


$$\text{TMR} = (R_{AP} - R_P) / R_P \quad (\text{TMR}_{\text{max}} = 70\% \text{ pour } \text{Al}_2\text{O}_3, 500\% \text{ pour } \text{MgO})$$

# Introduction et motivations

6/8

Lire un bit :

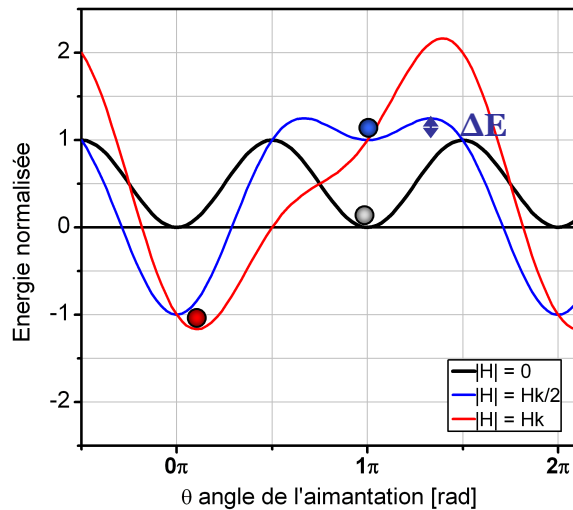
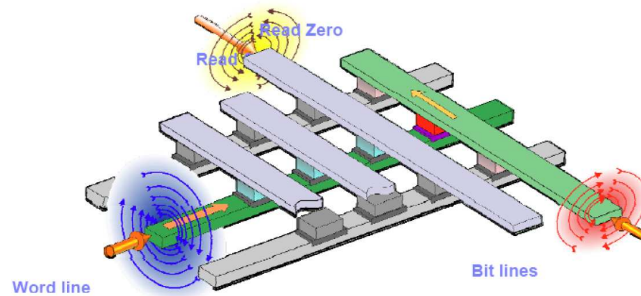


**1 cellule MRAM =**  
1 transistor  
+  
1 jonction tunnel magnétique

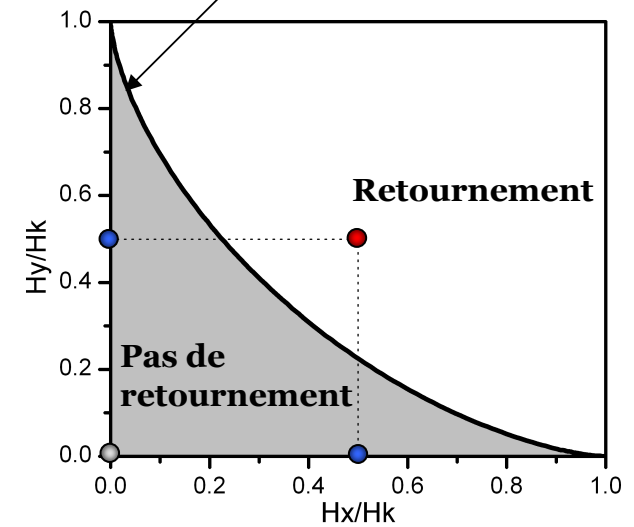
# Introduction et motivations

7/8

Écrire un bit : écriture directe à l'aide d'un champ magnétique



Astroïde de Stoner  
Wohlfarth





# Introduction et motivations

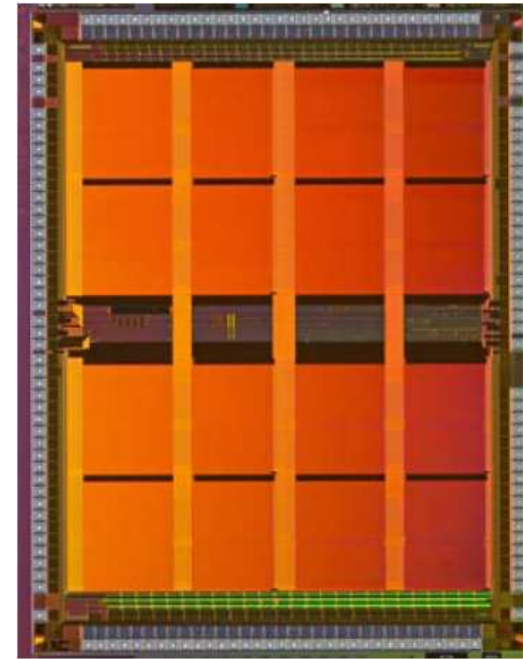
8/8

## Motivations de l'étude :

4 Mbit standalone memory

Elu "Produit de l'année"

[*Electronics Products Magazine, Jan. 2007*]



- Comprendre, évaluer et prédire la **fiabilité de la partie "magnétique"** de la mémoire MRAM.
- Proposer éventuellement une **méthode de caractérisation** en fin de ligne.

# Plan de l'exposé

---

1. **Approche globale de la fiabilité des MRAM**
2. Cas particulier : la stabilité thermique des MRAM 'toggle'
3. Cas particulier : la stabilité thermique d'un nouveau concept de MRAM
4. Conclusions et perspectives

# Approche globale de la fiabilité des MRAM

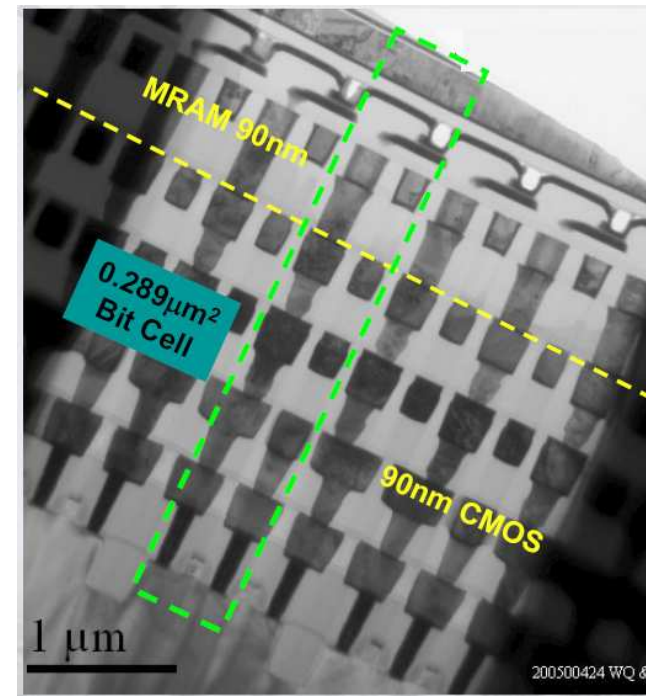
1/18

## 3 types de problèmes de fiabilité :

- les problèmes liés à la structure
- les problèmes “magnétiques”
- les problèmes d’intégration

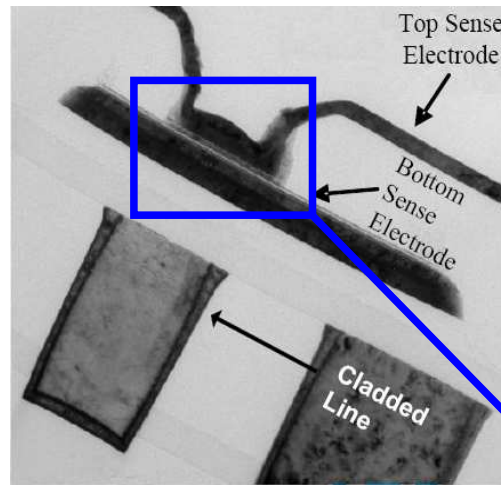
## 2 niveaux d’études :

- 1 JTM isolée
- une matrice de JTM



*D’après une présentation de R. Fournel à Spintronex (Paris, Avril 2005)*

# Problèmes structuraux d'une jonction tunnel magnétique isolée



*D'après une présentation de R. Fournel à Spintronex (Paris, Avril 2005)*

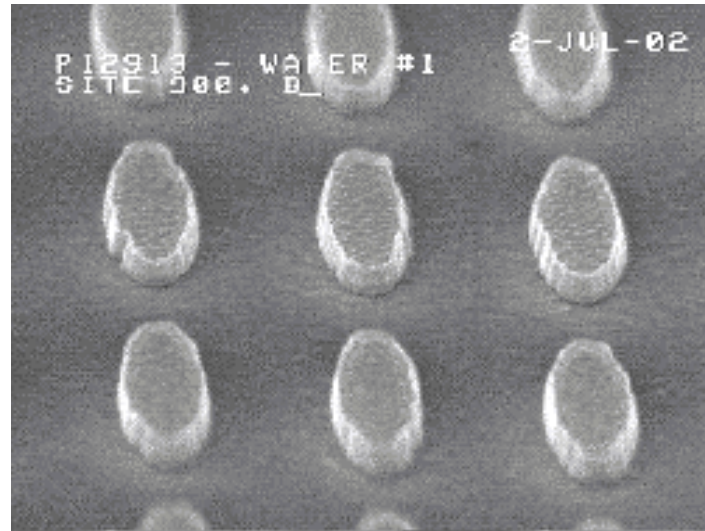
SAF libre	Ta	100 Å
	AlOx	Al 6.0 Å + ox
	NiFe	46 Å
	Ru	6.9 Å
	Ta	2.1 Å
	CoFe	2.5 Å
SAF fixe	NiFe	39.5 Å
	AlOx	Al 7.5 Å + ox
	CoFe	5.25 Å
	CoFeB	27.09 Å
	Ru	8 Å
	CoFe	22.7 Å
	PtMn	200 Å
	TaN <sub>x</sub>	500 Å

## Jonction Tunnel Magnétique :

- Système complexe multicouches
- Propriétés d'interfaces
- Barrière Tunnel extrêmement fine

## Dispersion des propriétés dans une matrice de JTM

3/18

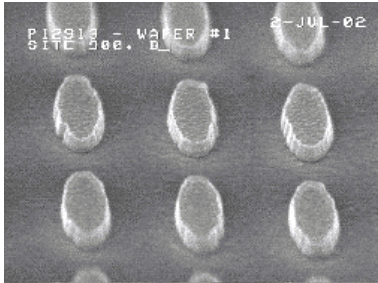


*D'après une présentation de R. Fournel à Spintronex (Paris, Avril 2005)*

Matrice de Jonctions Tunnels Magnétiques :  
Assemblée de structures complexes

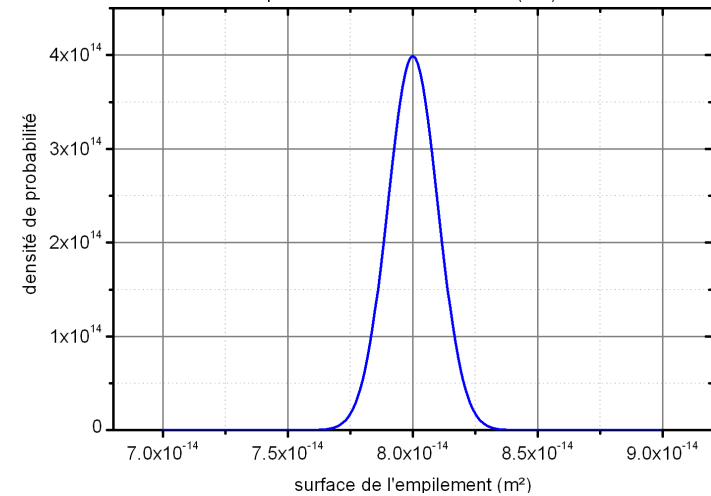
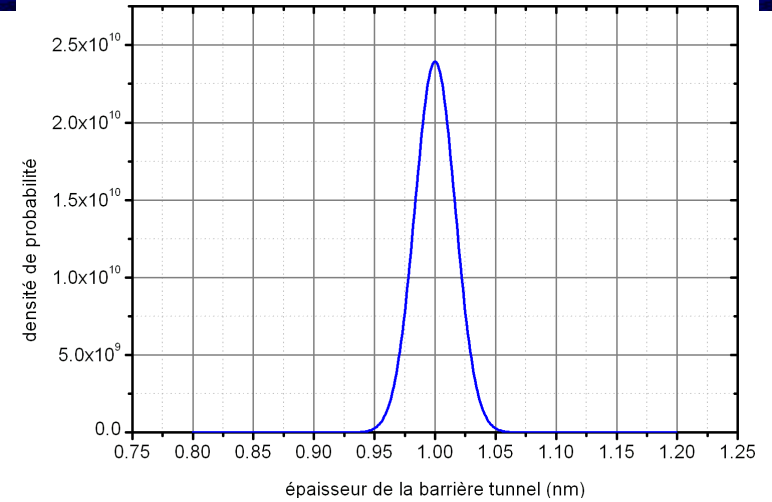
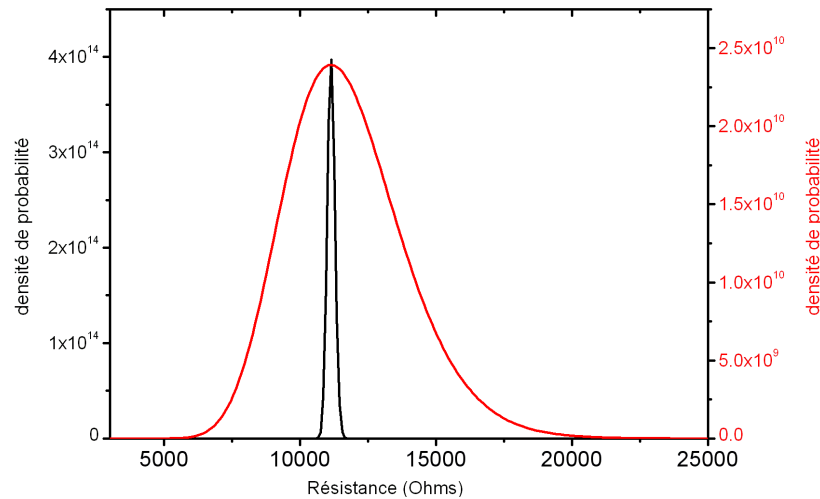
# Dispersion des propriétés dans une matrice de JTM

→ *Impact sur la lecture*



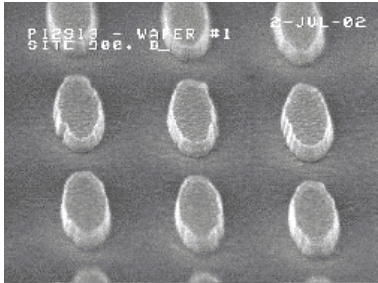
## Dispersion de la résistance

*D'après une présentation de R. Fournel à Spintronex (Paris, Avril 2005)*



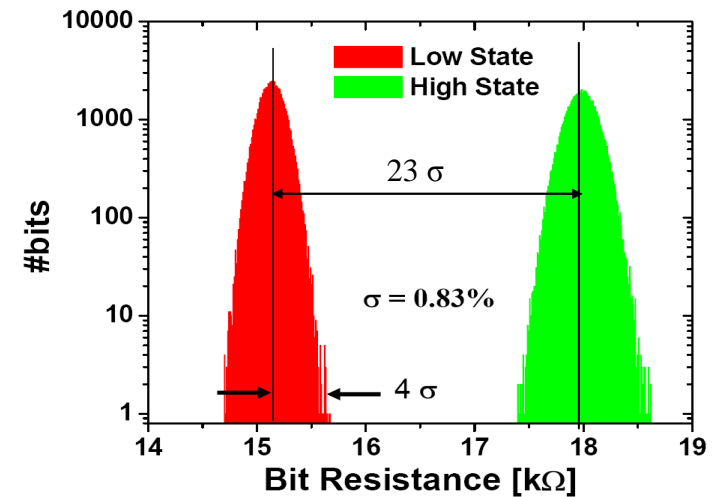
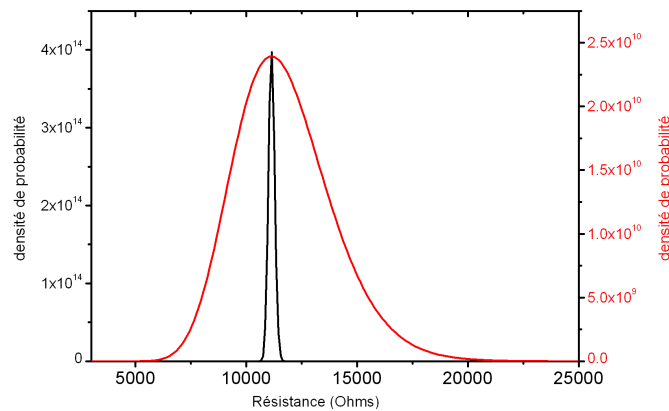
# Dispersion des propriétés dans une matrice de JTM

→ *Impact sur la lecture*



## Dispersion de la résistance

*D'après une présentation de R. Fournel à Spintronex (Paris, Avril 2005)*

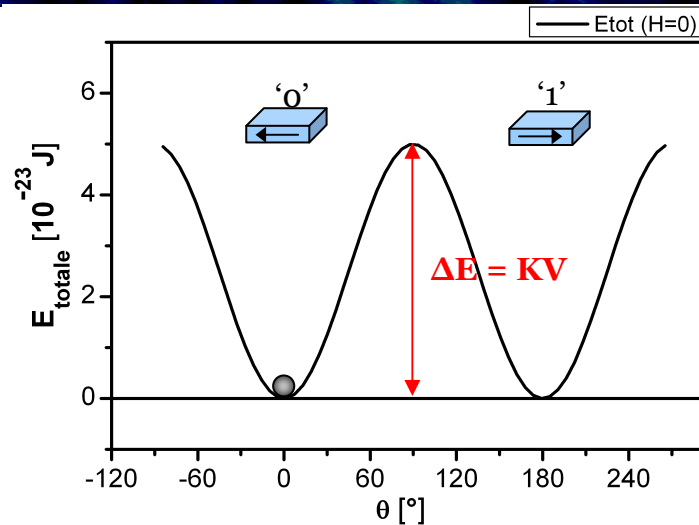


*D'après une présentation de J. Slaughter au Cornell NanoTechnology symposium (Mai 2004)*

## Dispersion des propriétés dans une matrice de JTM

→ Impact sur la non volatilité

6/18



Jonction Tunnel Magnétique :  
Couche libre = particule magnétique

Probabilité qu'un bit ne se soit pas retourner par activation thermique :

$$p(t) = \exp(-t/\tau)$$

avec temps caractéristique  $\tau = \tau_0 \exp(+\Delta E/k_B T)$

On définit donc le taux d'erreur comme étant :

$$P(t) = 1 - p(t)$$

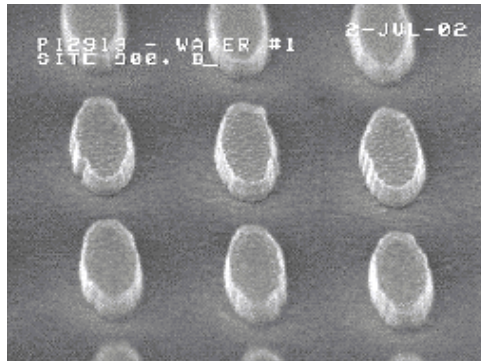
Taux d'erreur :  $P(10 \text{ ans}) = 10^{-12}$

alors  $\Delta E = 68 k_B T$  (avec  $\tau_0 = 1 \text{ ns}$ )



# Dispersion des propriétés dans une matrice de JTM

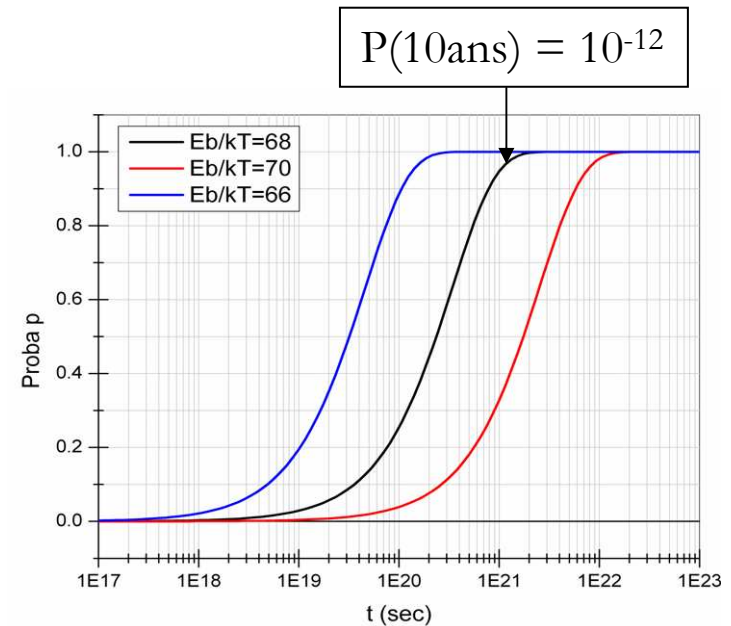
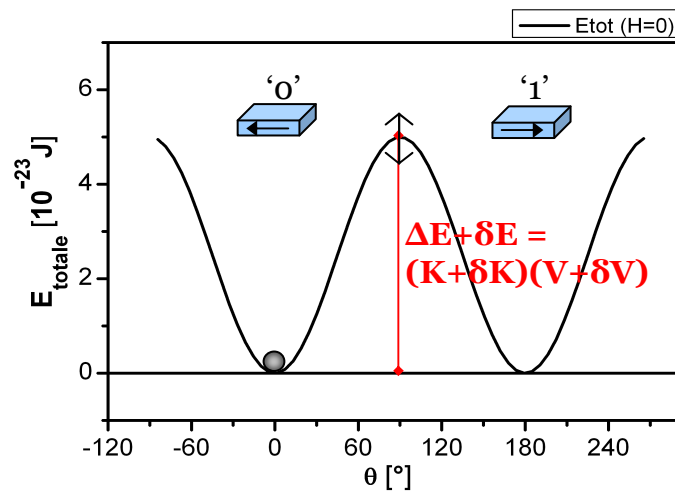
→ Impact sur la non volatilité



## Matrice de Jonctions Tunnels Magnétiques :

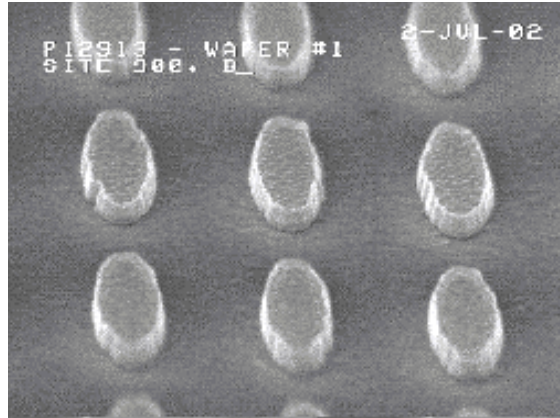
Dispersion de la forme, du volume, de la résistance et de l'anisotropie

→ dispersion de l'énergie de barrière



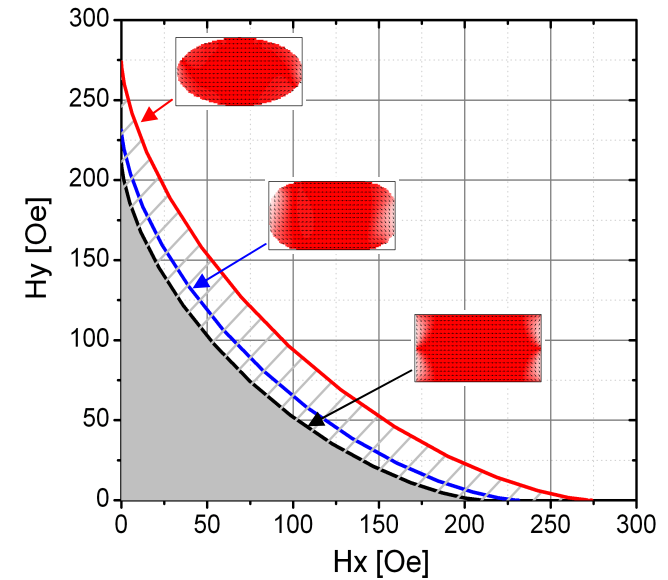
# Dispersion des propriétés dans une matrice de JTM

→ *Impact sur l'écriture*



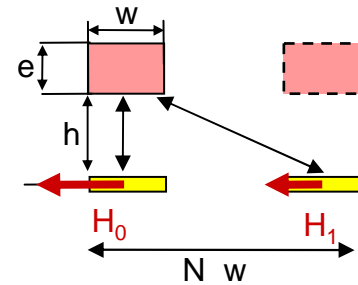
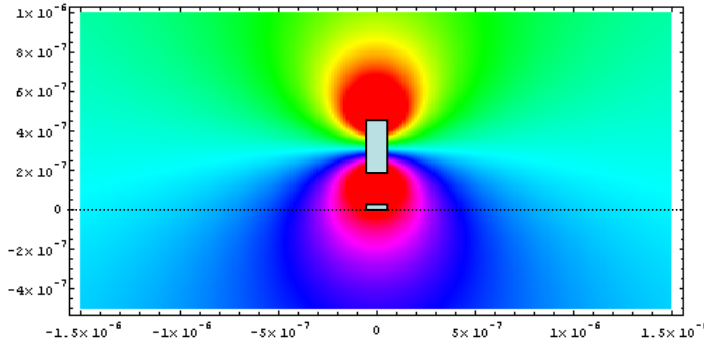
*D'après une présentation de R. Fournel à Spintronex (Paris, Avril 2005)*

Dispersion des champs d'écriture en fonction d'une variation de l'anisotropie



# Problèmes d'intégration d'une matrice de JTM

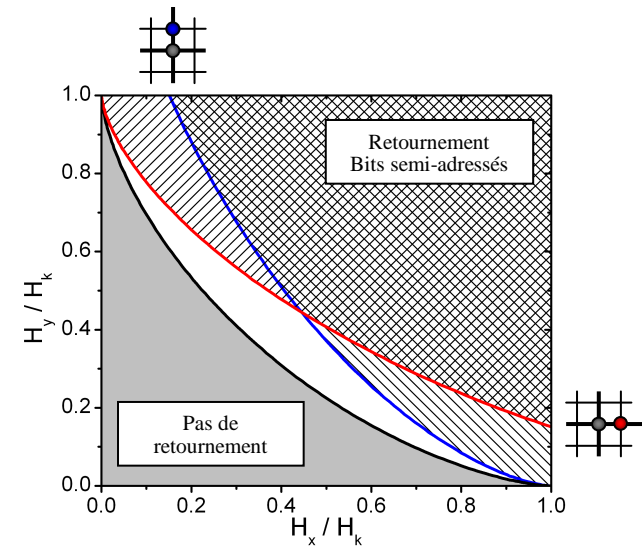
→ Impact sur l'écriture



$h = 150 \text{ nm}$   
 $w = 140 \text{ nm}$   
 $Nw = 400 \text{ nm} \rightarrow H_1/H_0 = 0.35$

*D'après thèse C. Maufmont, Université Paris Sud (2006)*

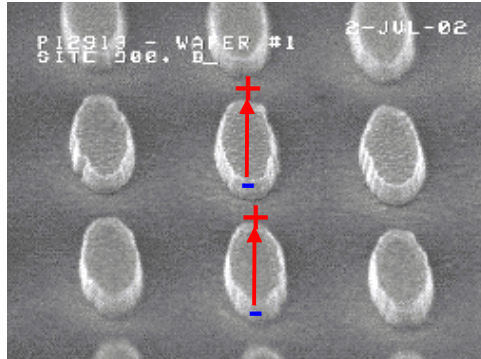
Problème du semi-adressage :  
 Retournement possible des bits de la même ligne (colonne)



# Problèmes d'intégration d'une matrice de JTM

→ Impact sur l'écriture

10/18



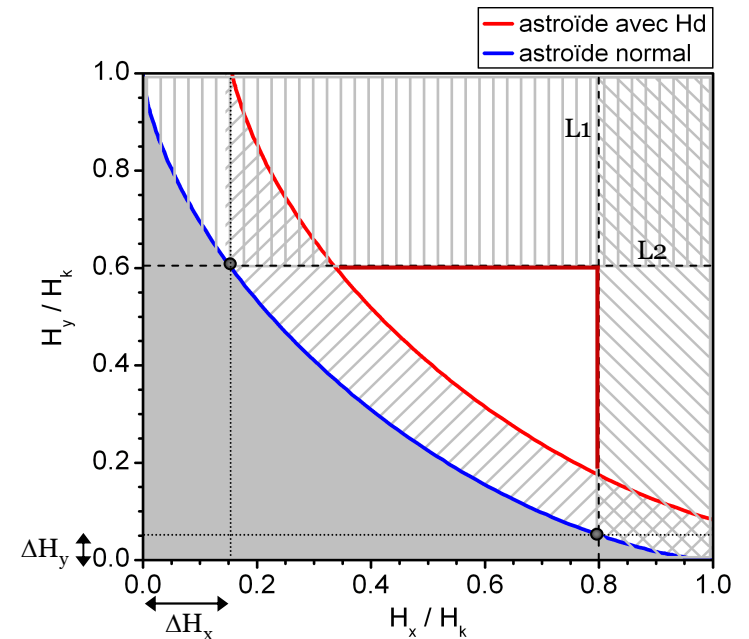
## Couplage dipolaire :

Pire cas :  $\Delta H_x = 0.15 H_k$ ,  $\Delta H_y = 0.05 H_k$   
s'opposant au champ de retournement

Sous la courbe rouge : le champ est insuffisant pour retourner la cellule

Au-delà de la ligne  $L_1$  : les cellules semi adressées se retournent avec  $\Delta H_y$

Au dessus de la ligne  $L_2$  : les cellules semi adressées se retournent avec  $\Delta H_x$

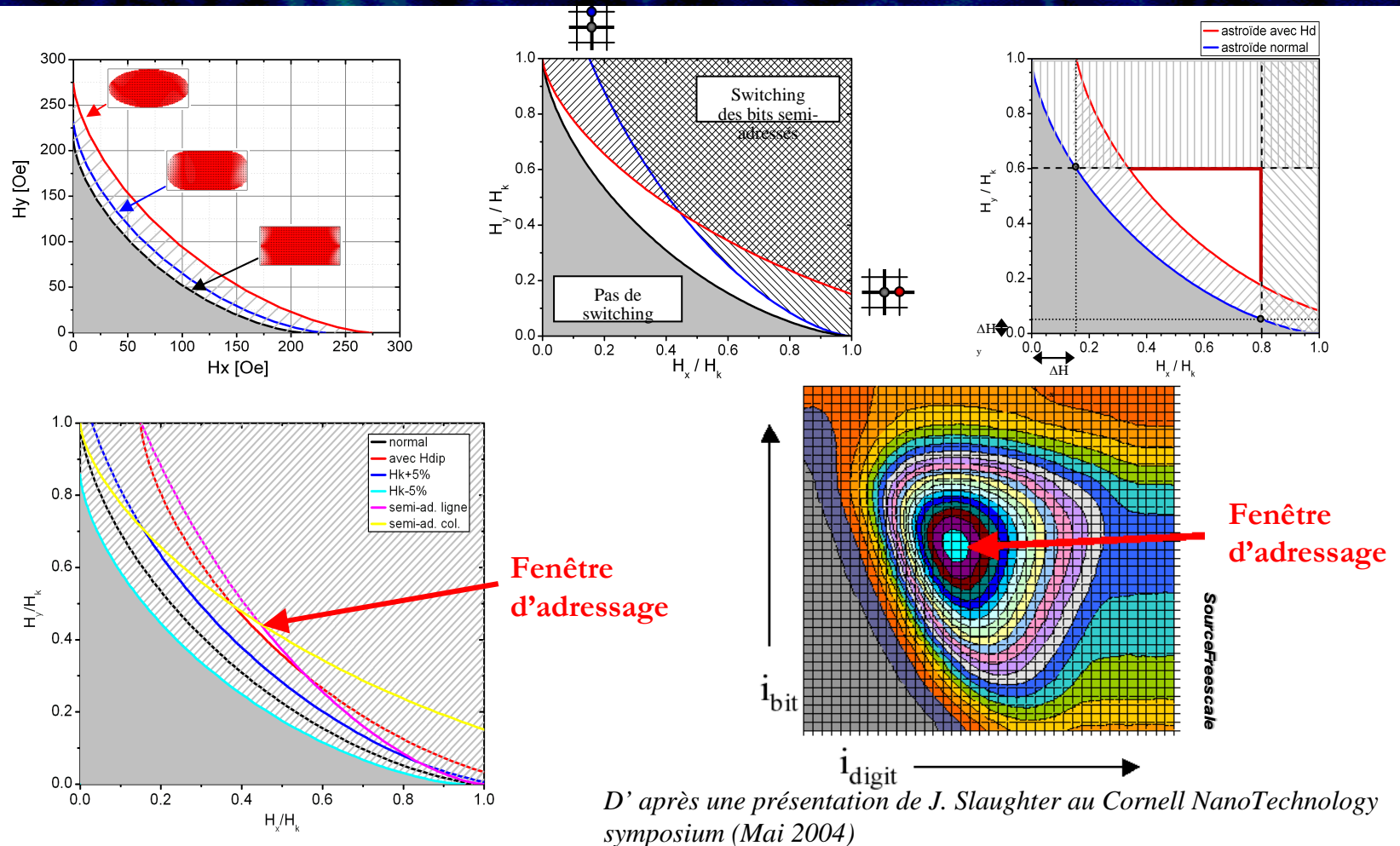


# 1. Approche globale de la fiabilité des MRAM

## Problèmes d'intégration d'une matrice de JTM

→ Impact sur l'écriture

11/18

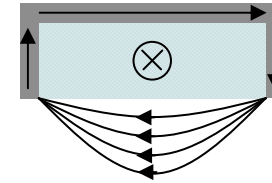


## Problèmes d'intégration d'une matrice de JTM

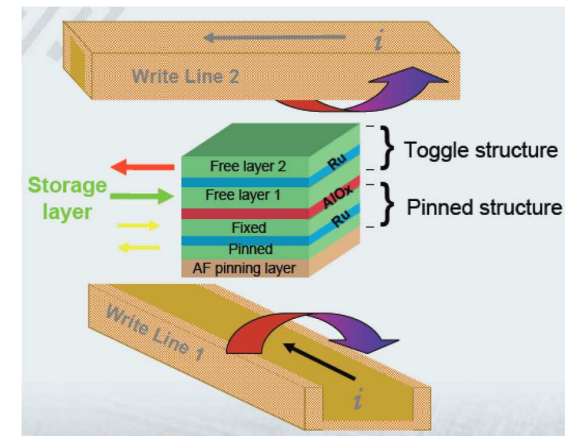
12/18

### Solutions adoptées :

- › « cladding » des bit lines et word lines.  
→ meilleure localisation des champs d'écriture



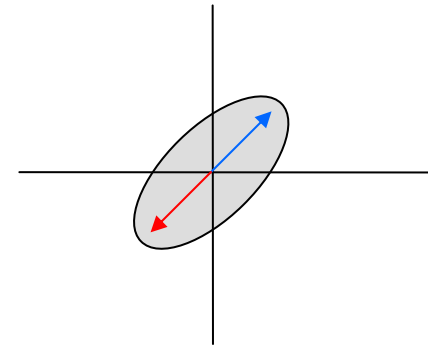
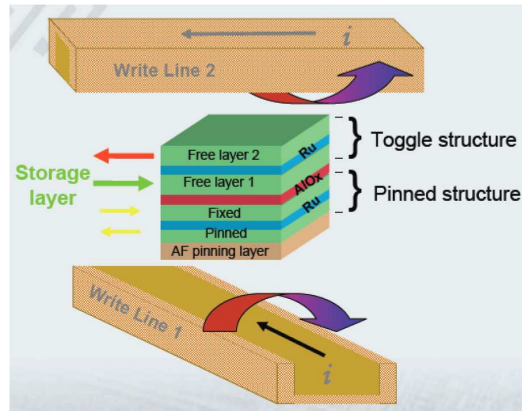
- › architecture « Toggle » :  
structure compensée  $M = 0$
- pas de couplage dipolaire
- insensibilité aux champs magnétiques extérieurs parasites



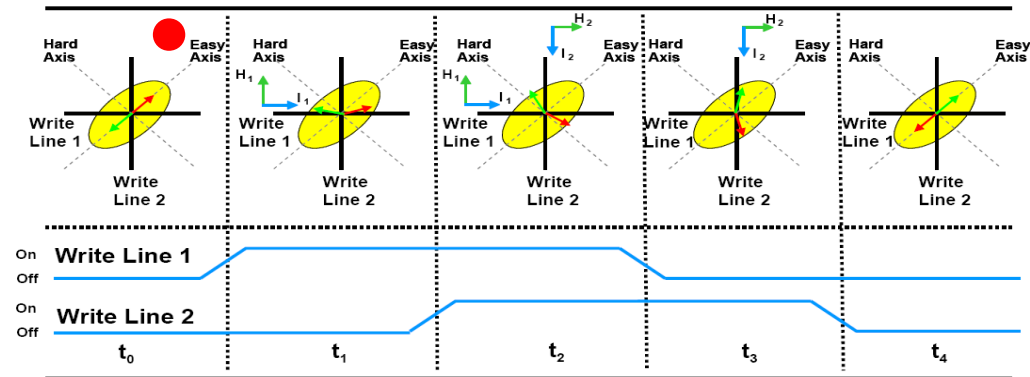
*D'après une présentation de J. Slaughter au Cornell NanoTechnology symposium (Mai 2004)*

# Problèmes d'intégration d'une matrice de JTM

## L'écriture "toggle"

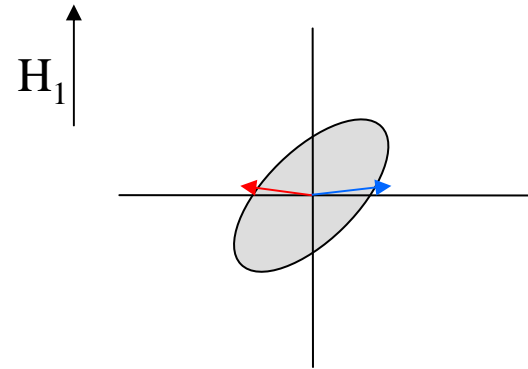
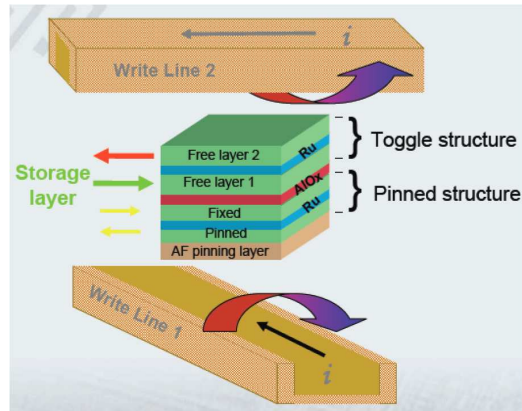


*D'après une présentation de J. Slaughter au Cornell NanoTechnology symposium (Mai 2004)*

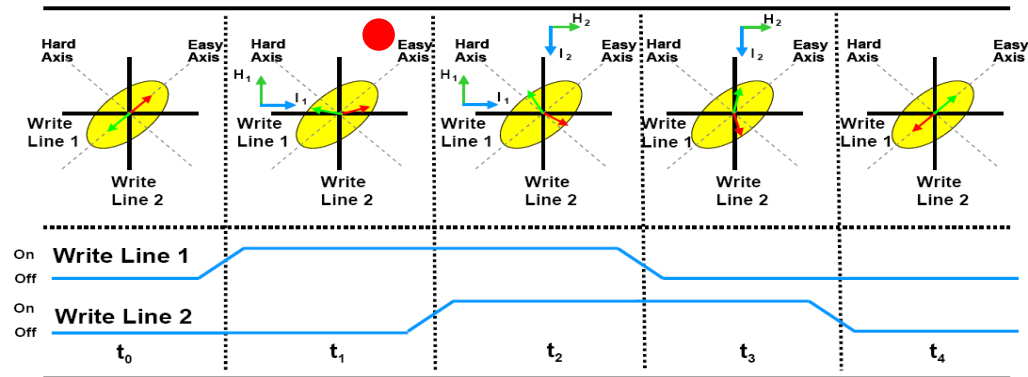


# Problèmes d'intégration d'une matrice de JTM

## L'écriture "toggle"



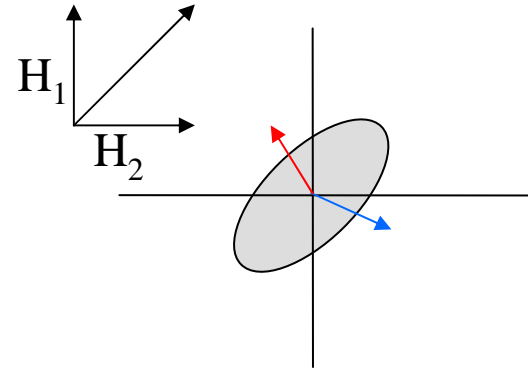
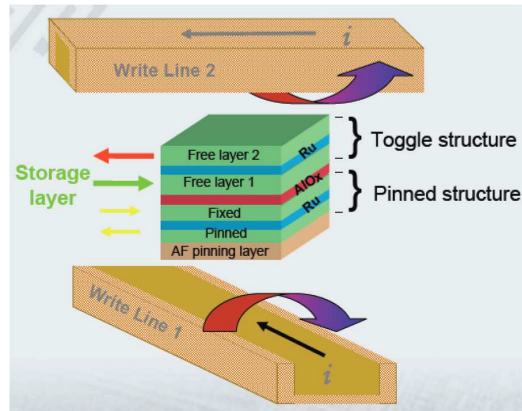
*D'après une présentation de J. Slaughter au Cornell NanoTechnology symposium (Mai 2004)*



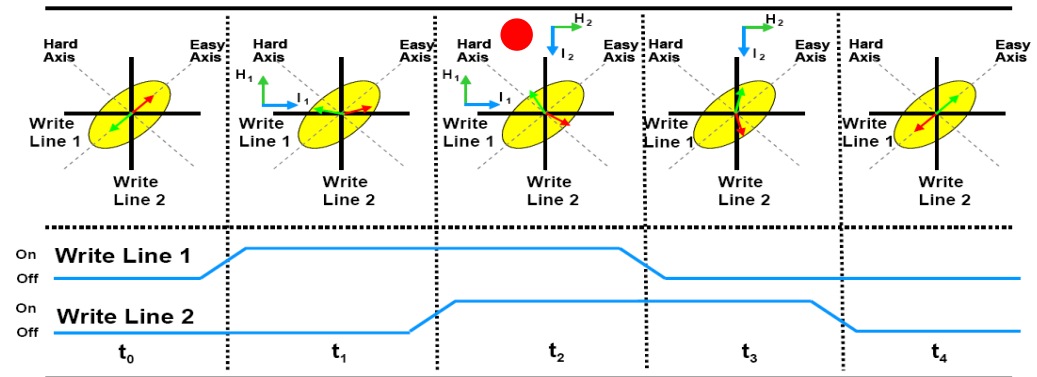


# Problèmes d'intégration d'une matrice de JTM

## L'écriture "toggle"

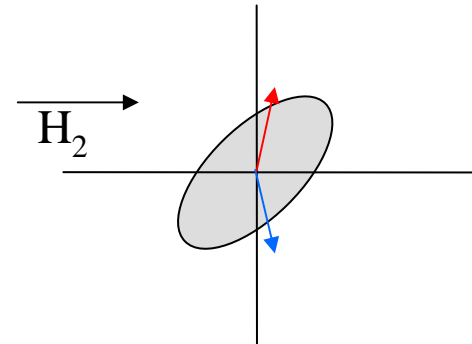
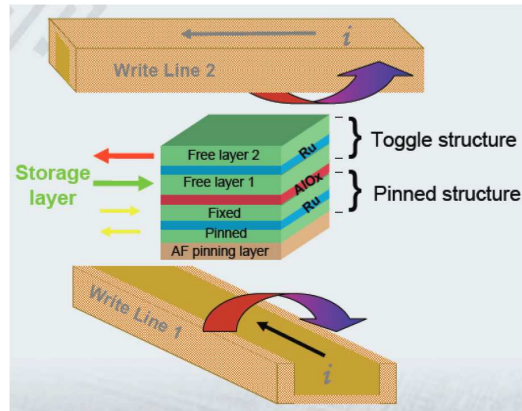


*D'après une présentation de J. Slaughter au Cornell NanoTechnology symposium (Mai 2004)*

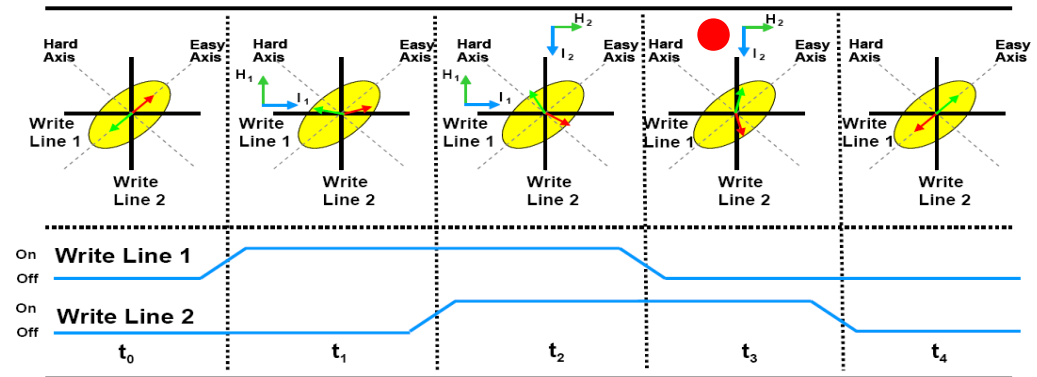


# Problèmes d'intégration d'une matrice de JTM

## L'écriture "toggle"

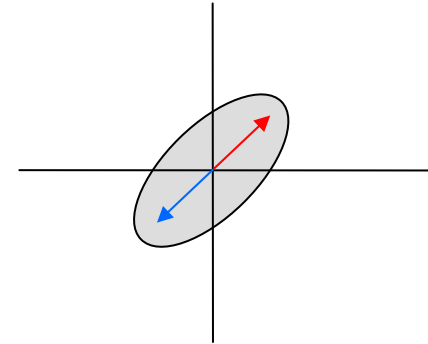
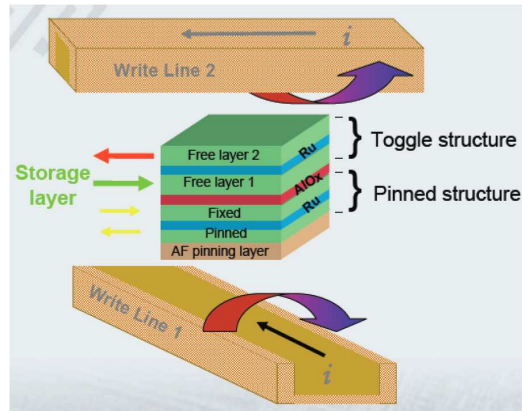


*D'après une présentation de J. Slaughter au Cornell NanoTechnology symposium (Mai 2004)*

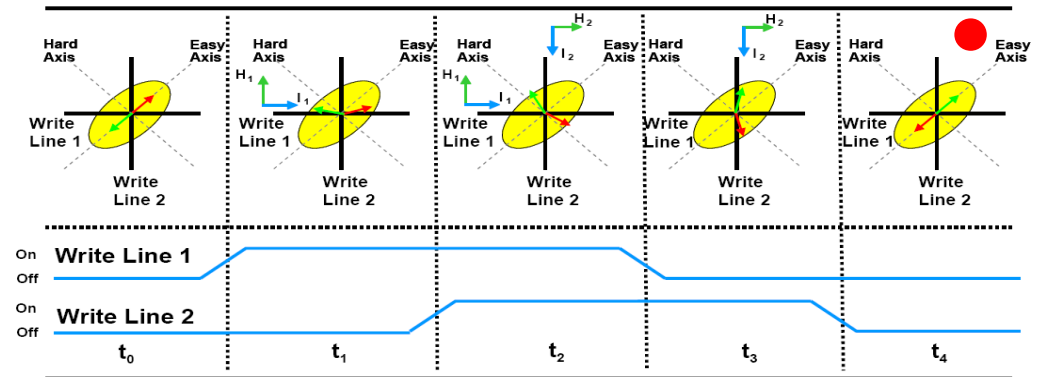


# Problèmes d'intégration d'une matrice de JTM

## L'écriture "toggle"

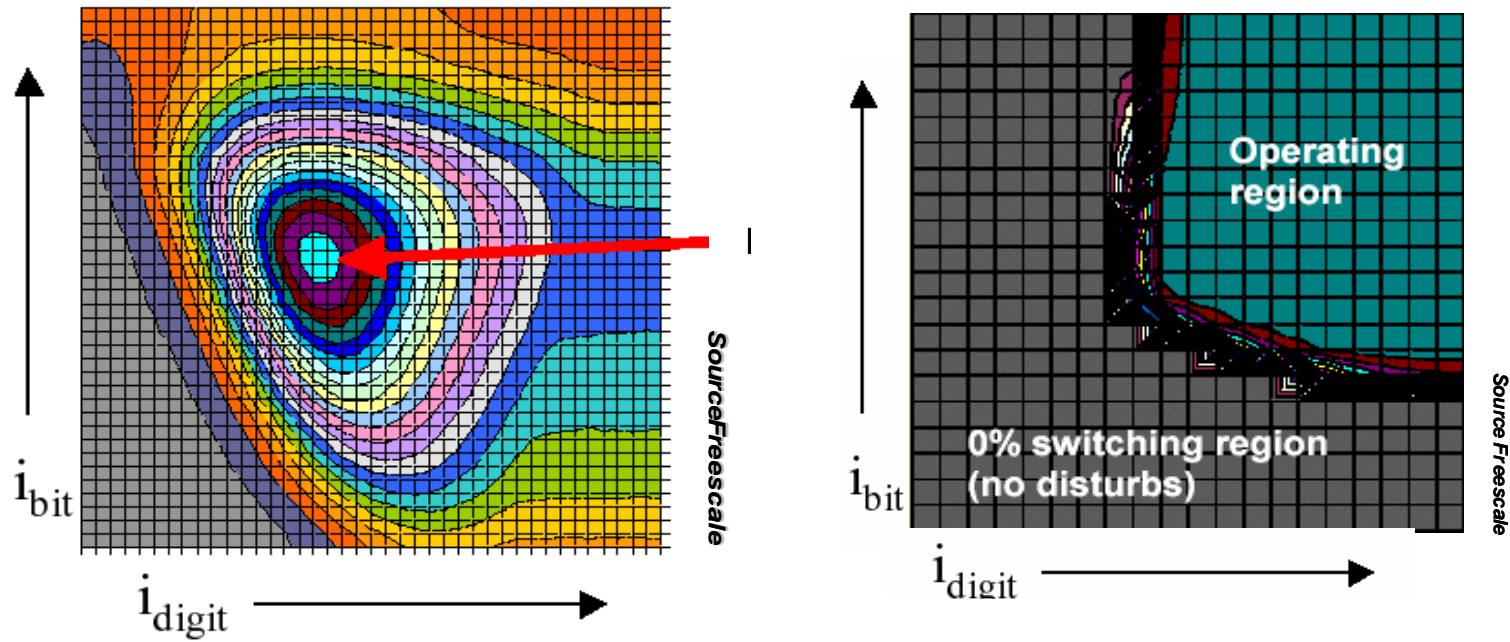


*D'après une présentation de J. Slaughter au Cornell NanoTechnology symposium (Mai 2004)*



# Problèmes d'intégration d'une matrice de JTM

## L'écriture "toggle"



*D'après une présentation de J. Slaughter au Cornell NanoTechnology symposium (Mai 2004)*

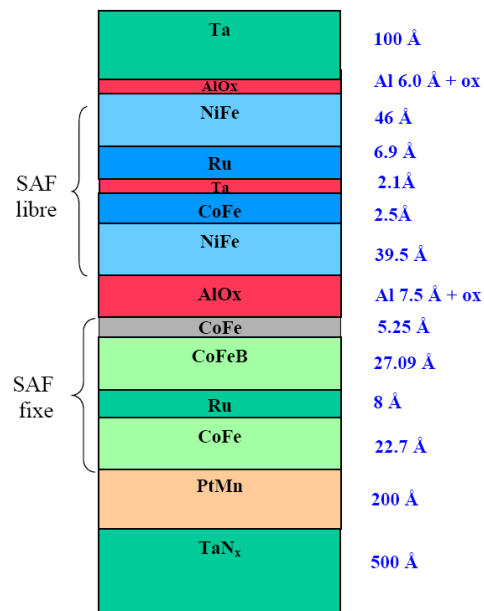
# Plan de l'exposé

---

1. Approche globale de la fiabilité des MRAM
2. **Cas particulier : la stabilité thermique des MRAM 'toggle'**
3. Cas particulier : la stabilité thermique d'un nouveau concept de MRAM
4. Conclusions et perspectives

# Cas particulier : la stabilité thermique de la MRAM « Toggle »

1/37



Structure complexe

→ Nécessite une nouvelle étude

Evaluation de la stabilité thermique d'une cellule MRAM toggle :

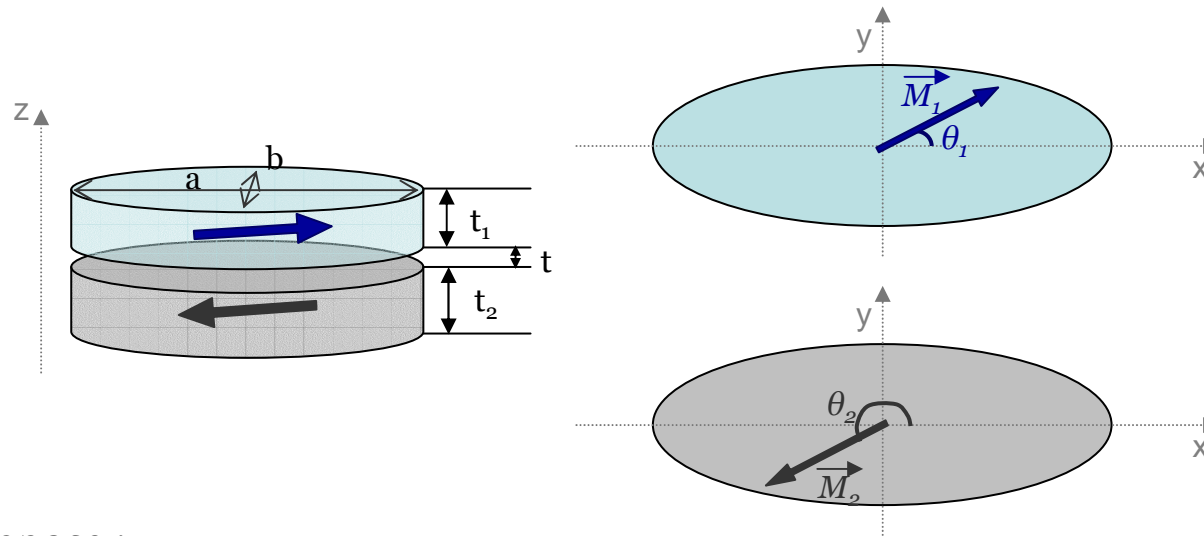
- développement d'un premier **modèle théorique** pour évaluer l'énergie de barrière
- caractérisations expérimentales pour déterminer les **paramètres** des échantillons et mesurer les **probabilités de retournement**

## Modèle théorique pour évaluer l'énergie de barrière

2/37

Calcul de l'énergie totale de la couche libre composée de 2 couches magnétiques couplées antiferromagnétiquement.

D'après Worledge *APL vol 84, 4559 (mai 2004) et 2847 (avril 2004)*



On suppose :

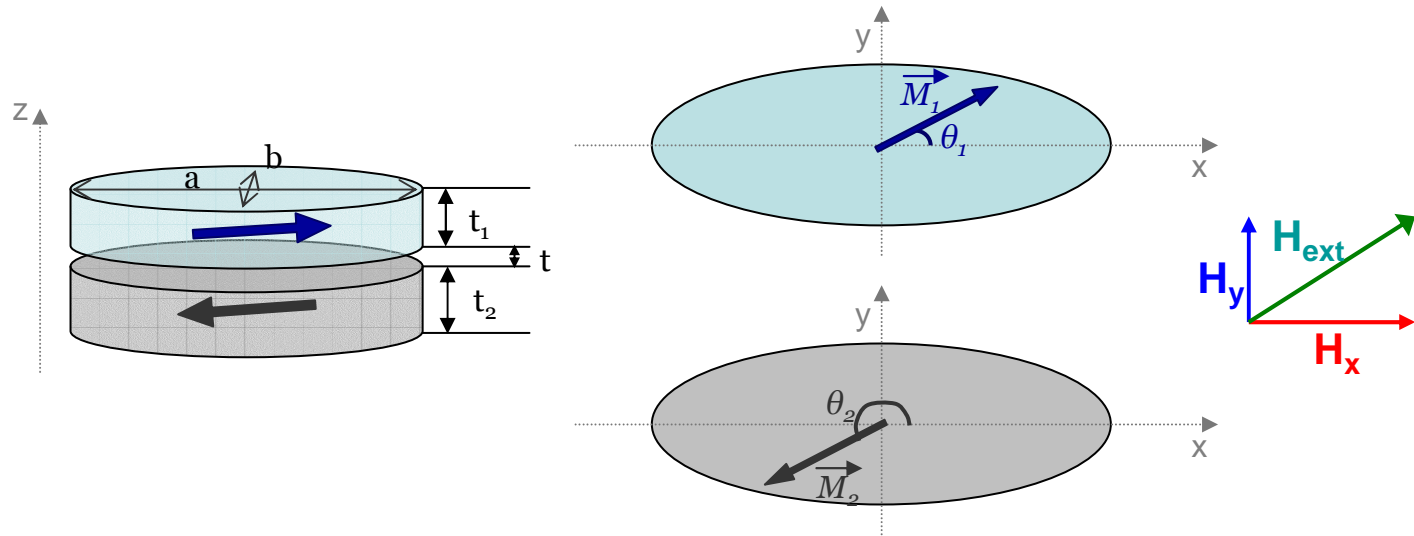
- les **2 couches identiques**
- les **distributions d'aimantation uniformes**
- les **aimantations restent dans le plan des couches**

## Modèle théorique pour évaluer l'énergie de barrière

3/37

**Energie Zeeman** : énergie d'interaction entre le champ magnétique extérieur et la distribution d'aimantation dans l'échantillon.

$$E_Z = -\iiint_V dV \mu_0 \vec{M} \cdot \vec{H}_{ext} = -St_1 \mu_0 \vec{M}_1 \cdot \vec{H}_{ext} - St_2 \mu_0 \vec{M}_2 \cdot \vec{H}_{ext}$$

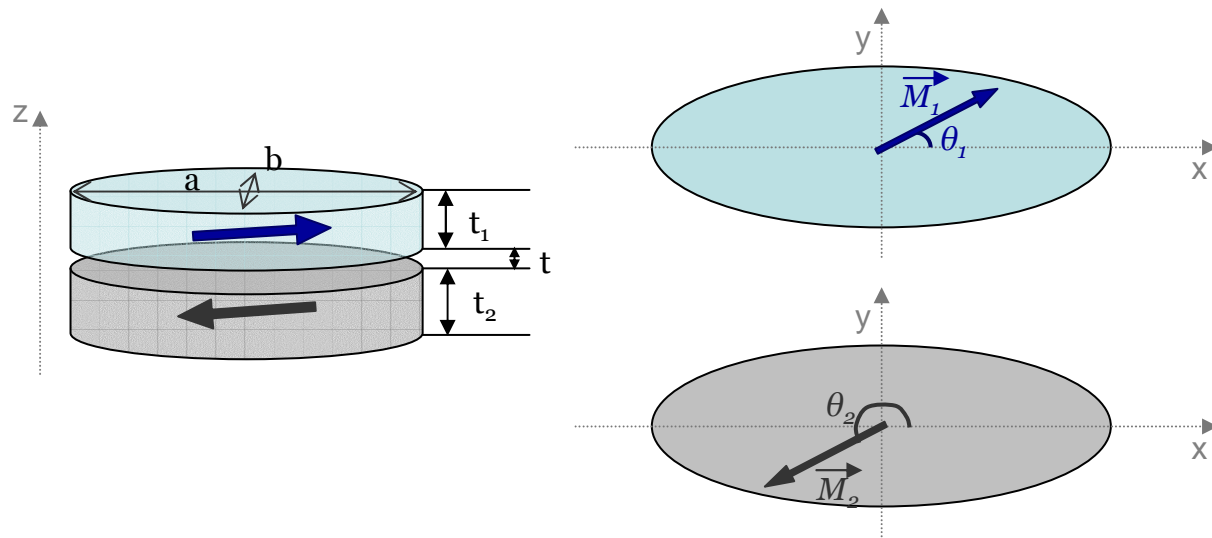




## Modèle théorique pour évaluer l'énergie de barrière

**Energie d'interaction d'échange** : énergie créée lorsqu'on brise le couplage d'échange interfacial entre les 2 couches magnétiques.

$$E_J = -\iint_S dS J \vec{m}_1 \cdot \vec{m}_2 = -S J \vec{m}_1 \cdot \vec{m}_2$$

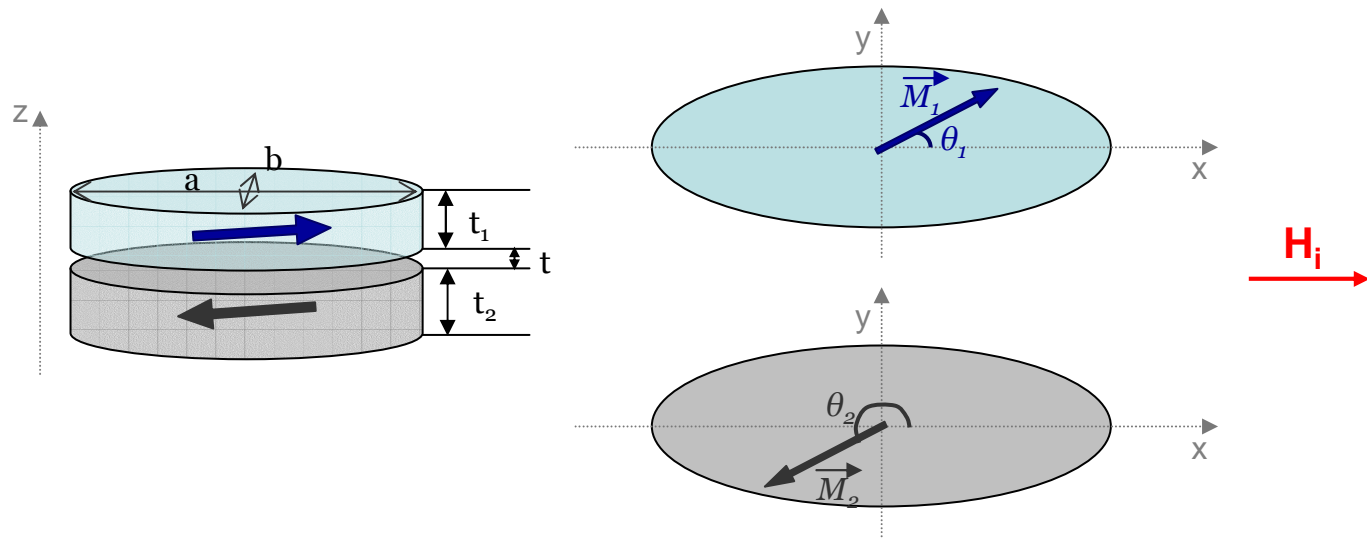


## Modèle théorique pour évaluer l'énergie de barrière

5/37

**Energie d'anisotropie :** énergie d'interaction entre le moment magnétique local et la symétrie de l'environnement atomique dans le matériau magnétique.

$$E_i = \iiint_V dV \cdot \mathbf{M}_s \mathbf{H}_i \cdot \sin^2 \vartheta = St_1 \mathbf{M}_s \mathbf{H}_i \cdot \sin^2 \vartheta_1 + St_2 \mathbf{M}_s \mathbf{H}_i \cdot \sin^2 \vartheta_2$$



## Modèle théorique pour évaluer l'énergie de barrière

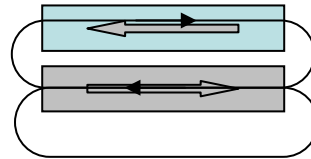
6/37

**Energie dipolaire** : énergie d'interaction entre le champ dipolaire (ou démagnétisant) et la distribution d'aimantation.

$$E_D = -\iiint_V dV \frac{1}{2} \mu_0 \vec{H}_D \cdot \vec{M} \quad \text{avec} \quad \vec{H}_D = \vec{M} \cdot \vec{N}$$

On considère :

- Les 2 couches magnétiques comme des **ellipsoïdes**
- Le champ dipolaire créé par la couche 1 sur la couche 2 est égal à  $H_{\text{demag1}}$  et inversement.



On obtient alors :

$$E_D = -S \frac{t_1 \mu_0}{2} (\vec{M}_1 \cdot \vec{N} \cdot \vec{M}_1 + \vec{M}_1 \cdot \vec{N} \cdot \vec{M}_2) - S \frac{t_2 \mu_0}{2} (\vec{M}_2 \cdot \vec{N} \cdot \vec{M}_2 + \vec{M}_2 \cdot \vec{N} \cdot \vec{M}_1)$$

## Modèle théorique pour évaluer l'énergie de barrière

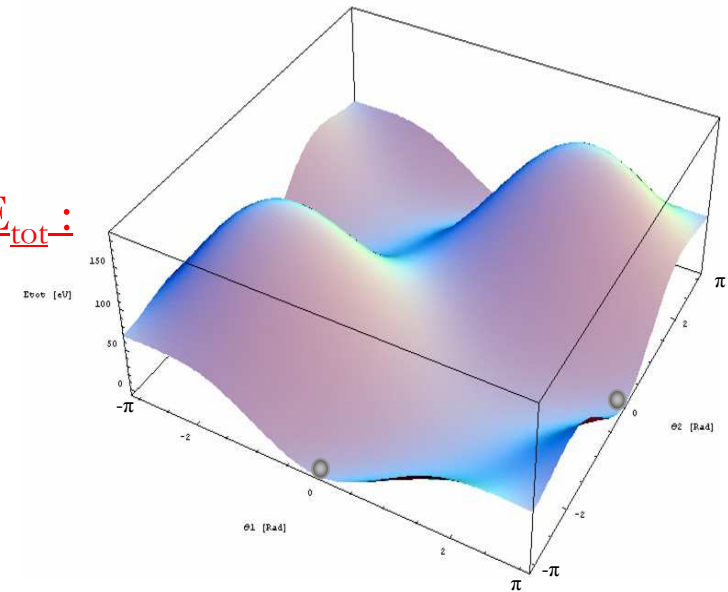
7/37

$$E_{tot}(\theta_1, \theta_2) = \frac{\mu_0 M_s ab \pi}{2 \cdot 4} \cdot \left( \begin{aligned} & t_1 \cdot \left( \begin{aligned} & -2H_x \cos \theta_1 - 2H_y \sin \theta_1 + H_k \sin^2 \theta_1 + M_s N_{x1} \cos^2 \theta_1 + M_s N_{y1} \sin^2 \theta_1 \end{aligned} \right) + \\ & \left( \begin{aligned} & + M_s N_{x2} \cos \theta_1 \cos \theta_2 + M_s N_{y2} \sin \theta_1 \sin \theta_2 \end{aligned} \right) \\ & t_2 \cdot \left( \begin{aligned} & -2H_x \cos \theta_2 - 2H_y \sin \theta_2 + H_k \sin^2 \theta_2 + M_s N_{x2} \cos^2 \theta_2 + M_s N_{y2} \sin^2 \theta_2 \end{aligned} \right) + \\ & \left( \begin{aligned} & + M_s N_{x1} \cos \theta_1 \cos \theta_2 + M_s N_{y1} \sin \theta_1 \sin \theta_2 \end{aligned} \right) \\ & \left( \frac{-2J}{\mu_0 M_s} (\cos \theta_1 \cos \theta_2 + \sin \theta_1 \sin \theta_2) \right) \end{aligned} \right)$$

→ paramètres nécessaires pour calculer  $E_{tot}$ :

Géométriques : a, b,  $t_1$  et  $t_2$

Magnétiques :  $M_s$ , J, et  $H_i$



## Modèle théorique pour évaluer l'énergie de barrière

8/37

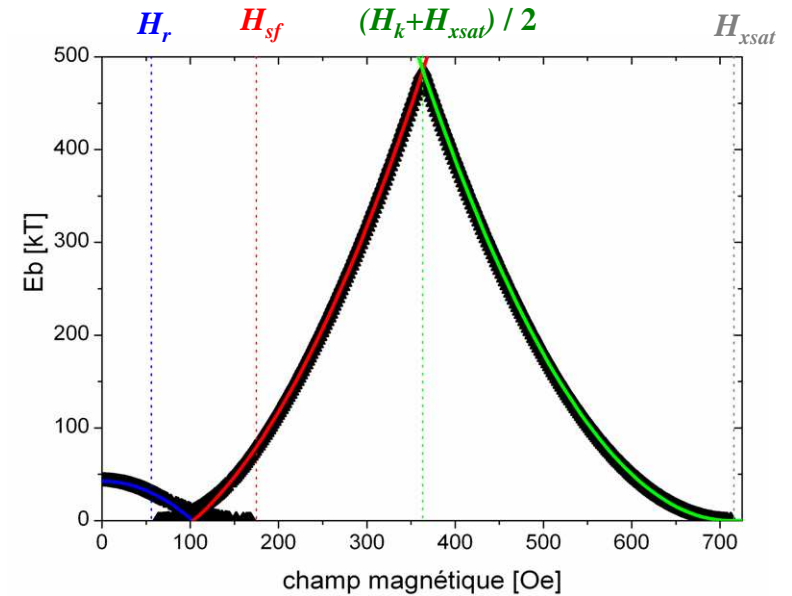
Calcul numérique pour évaluer l'énergie de barrière à partir de l'énergie totale :

Validation du calcul : cas particulier  $t_1=t_2$  et  $H=H_x$

Une solution analytique existe.

Comparaison des résultats :

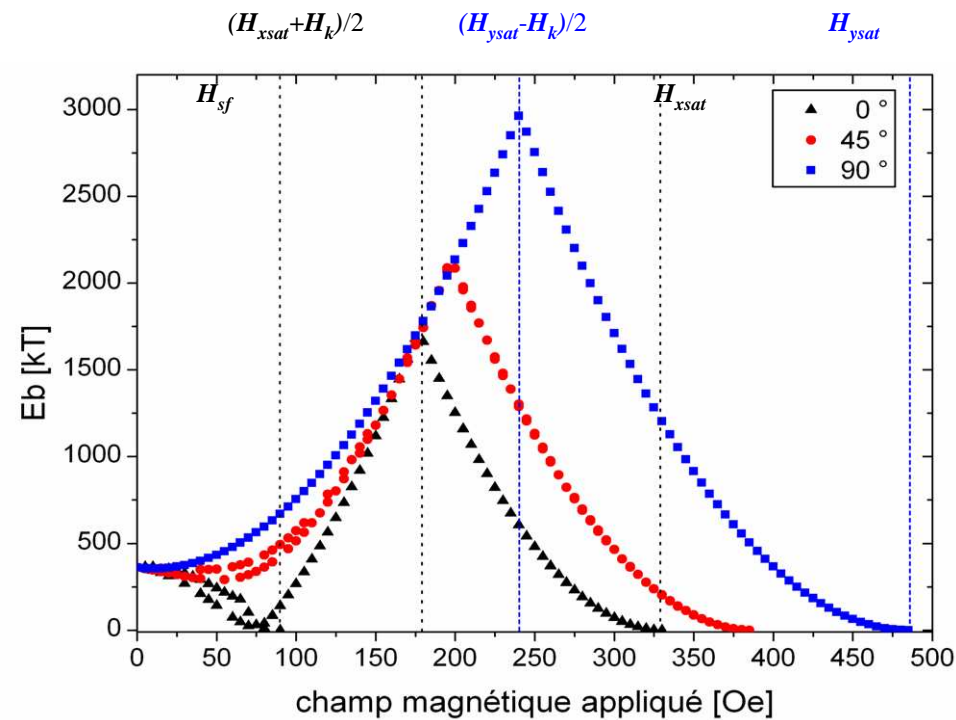
$$\left\{ \begin{array}{l} E_{b1} = \mu_0 M_s \frac{\pi a b t}{4} \left( H_k - \frac{H_x^2}{H_{xsat}} \right) \text{ pour } 0 < H_x < H_r \\ E_{b2} = \mu_0 M_s \frac{\pi a b t}{4} \left( \frac{H_x^2}{H_{xsat}} - H_k \right) \text{ pour } H_{sf} < H_x < \frac{H_{xsat} + H_k}{2} \\ E_{b3} = \mu_0 M_s \frac{\pi a b t}{4} \left( \frac{(H_x - H_{xsat})^2}{H_{xsat}} \right) \text{ pour } \frac{H_{xsat} + H_k}{2} < H_x < H_{xsat} \end{array} \right.$$



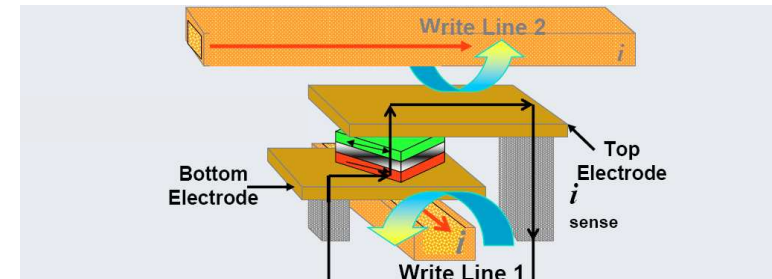
# Modèle théorique pour évaluer l'énergie de barrière

Calcul numérique pour évaluer l'énergie de barrière à partir de l'énergie totale :

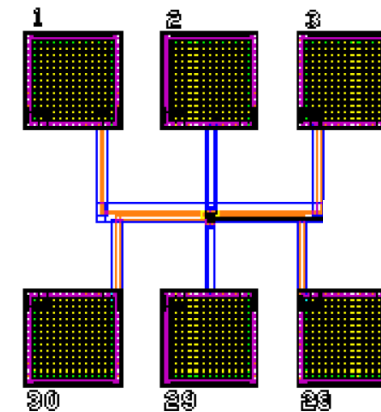
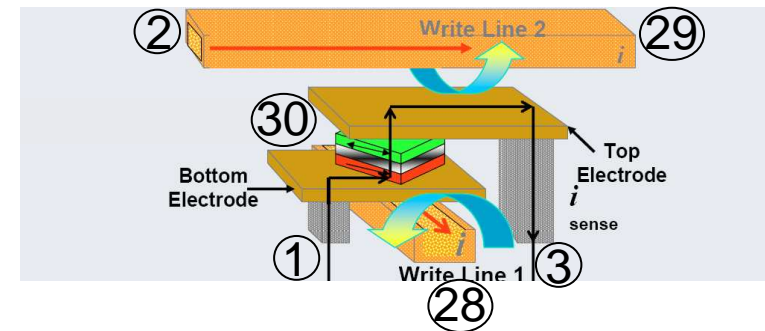
Résultats dans un cas plus réaliste



# Caractérisations expérimentales et mesures de probabilités de retournement

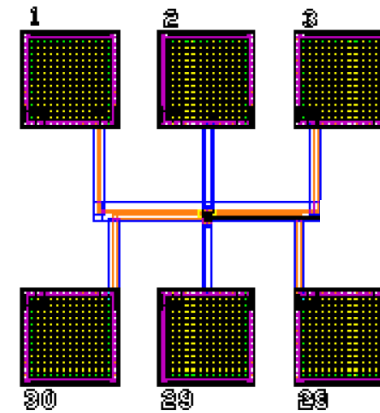
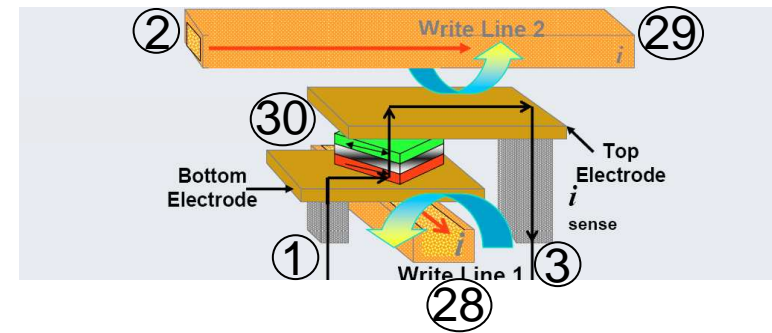


# Caractérisations expérimentales et mesures de probabilités de retournement



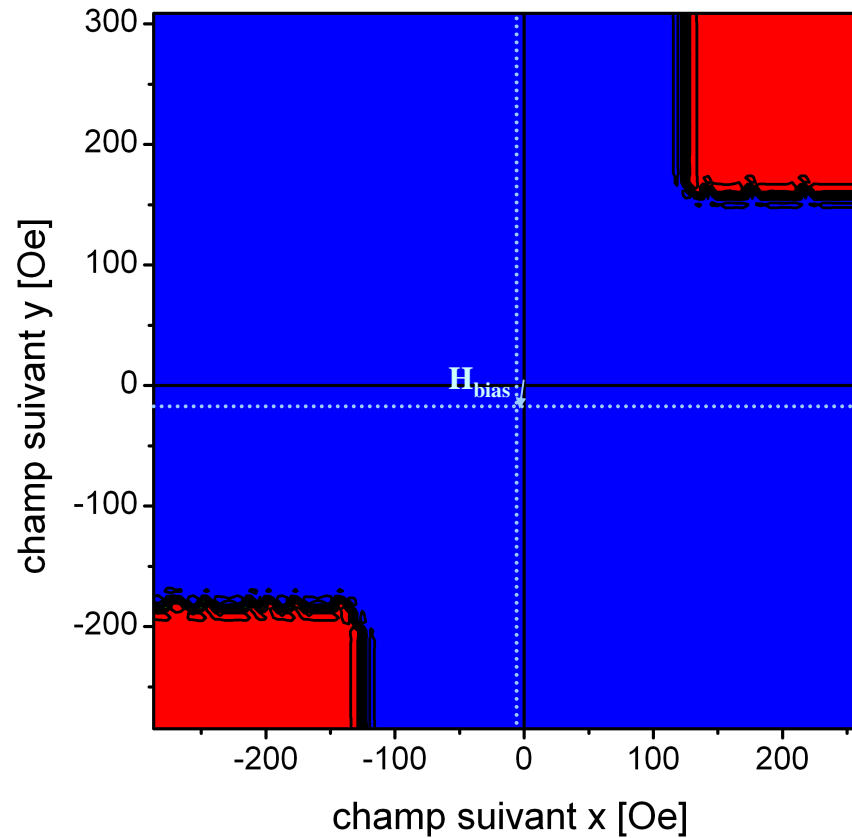


# Caractérisations expérimentales et mesures de probabilités de retournement



# Caractérisations expérimentales et mesures de probabilités de retournement

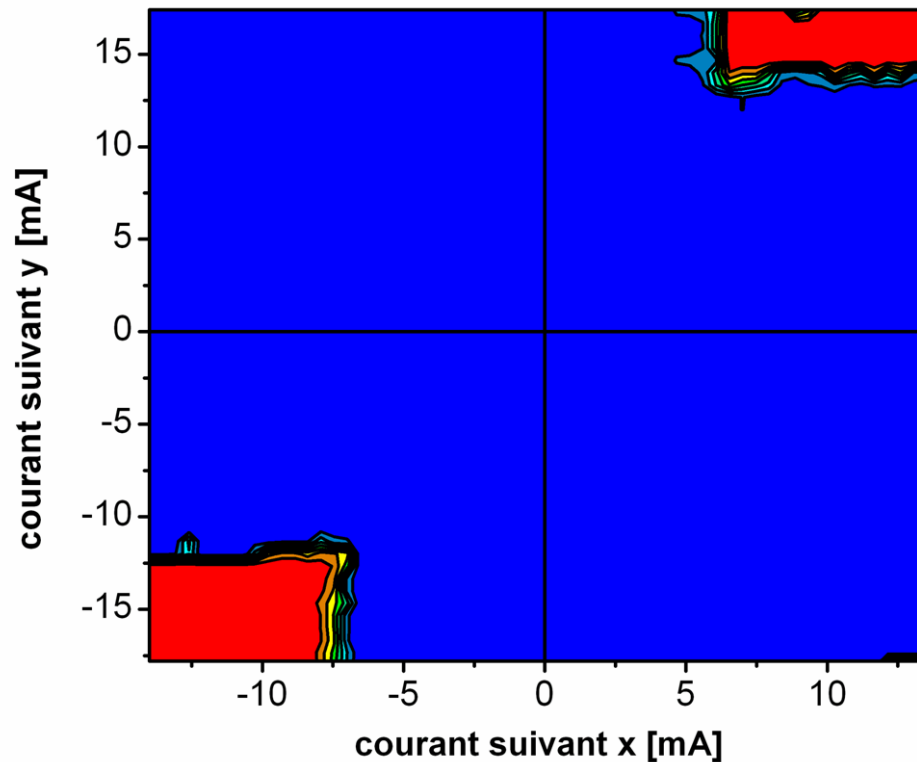
Mesures de la fenêtre d'adressage en appliquant un **champ magnétique extérieur** :



Pb : étalonner les lignes d'adressage

# Caractérisations expérimentales et mesures de probabilités de retournement

Mesures de la fenêtre d'adressage en faisant circuler un **courant** dans les bit/word lines :

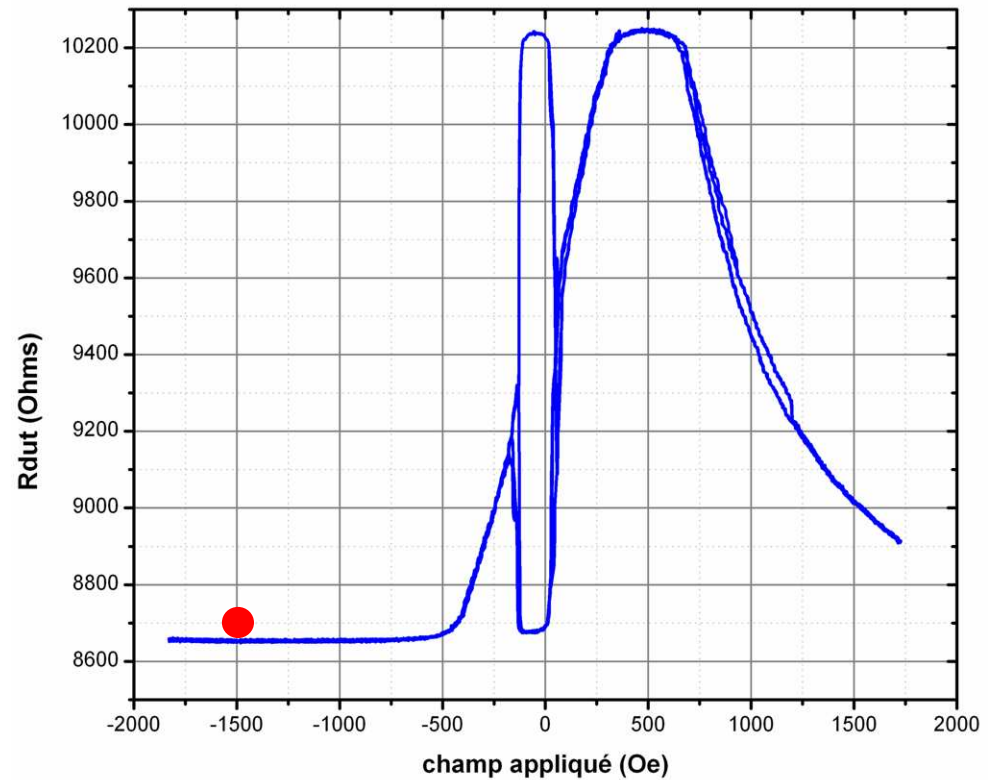
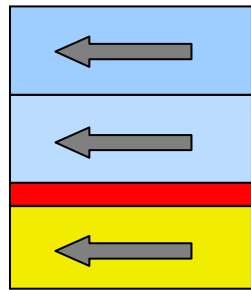


En comparant les 2 diagrammes pour la même cellule :

$$\begin{cases} I_x [mA] = 0.0525 \cdot H_x [Oe] \\ I_y [mA] = 0.081 \cdot H_y [Oe] \end{cases}$$

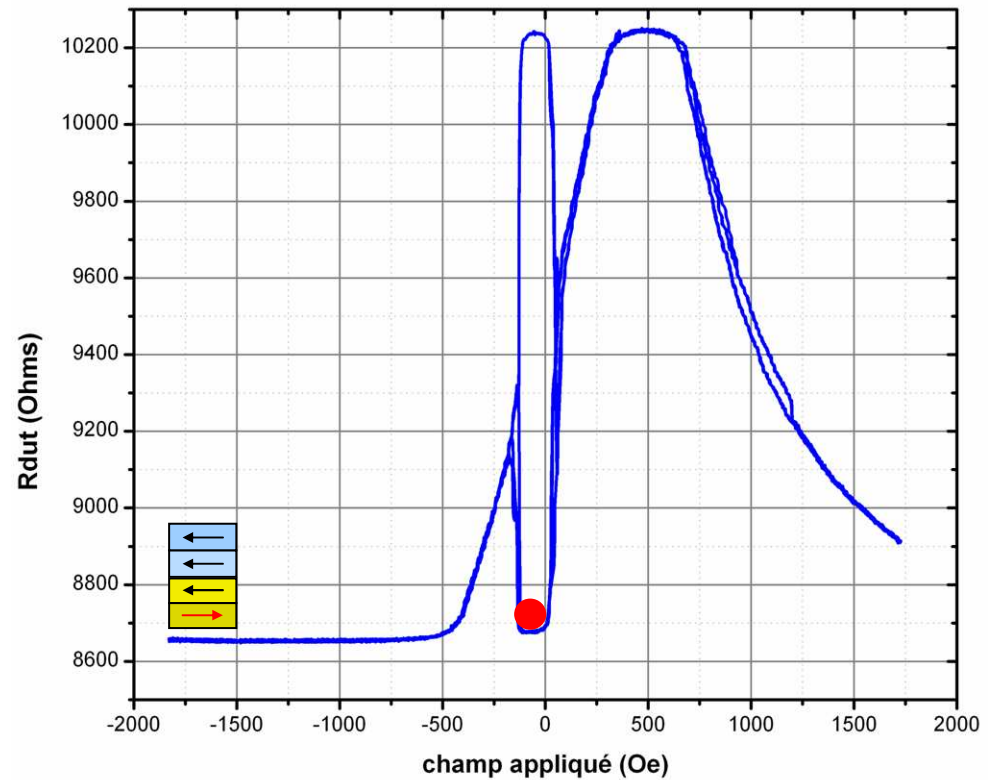
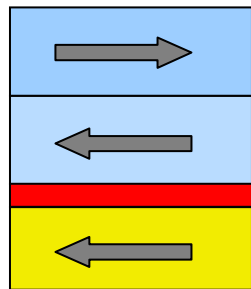
# Caractérisations expérimentales et mesures de probabilités de retournement

Mesure d'un cycle d'hystérésis suivant l'axe facile :



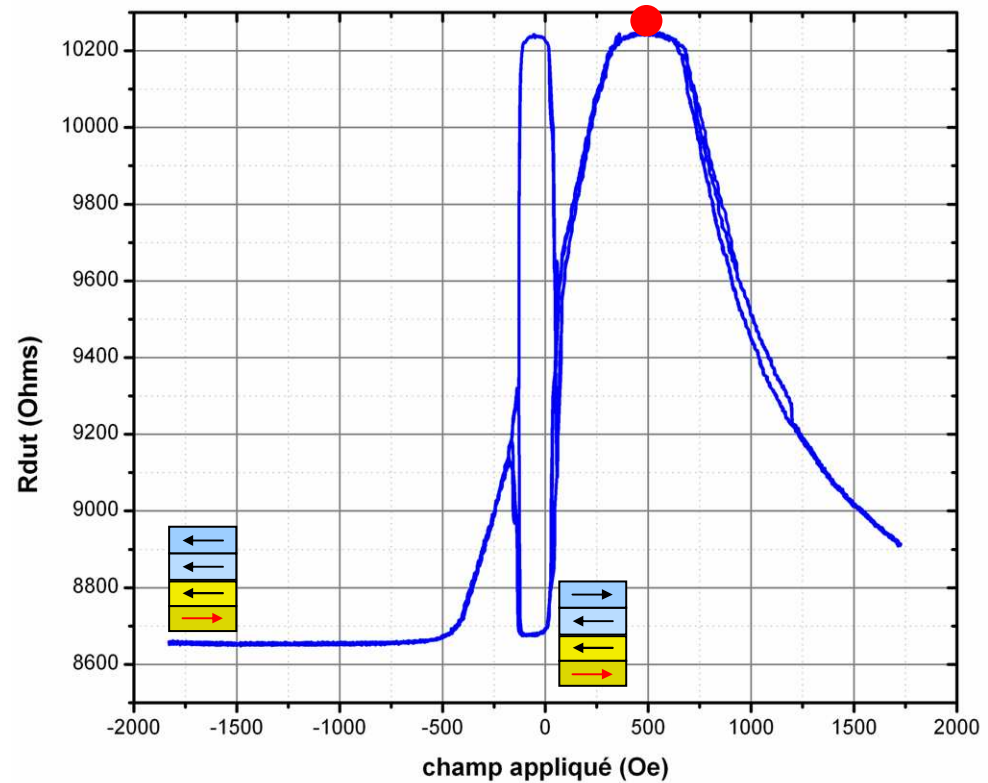
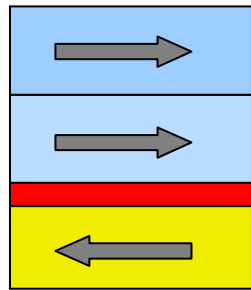
# Caractérisations expérimentales et mesures de probabilités de retournement

Mesure d'un cycle d'hystérésis suivant l'axe facile :



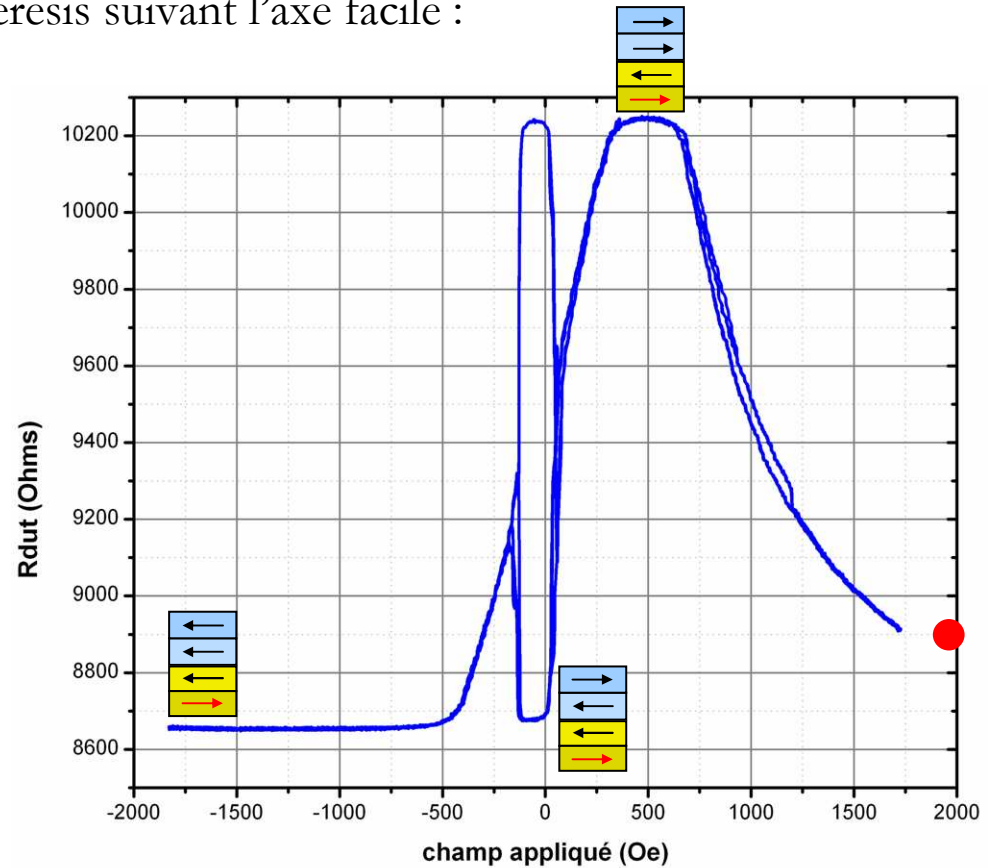
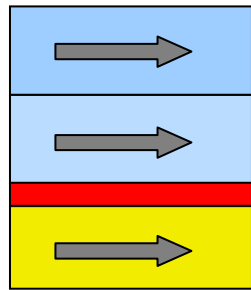
# Caractérisations expérimentales et mesures de probabilités de retournement

Mesure d'un cycle d'hystérésis suivant l'axe facile :



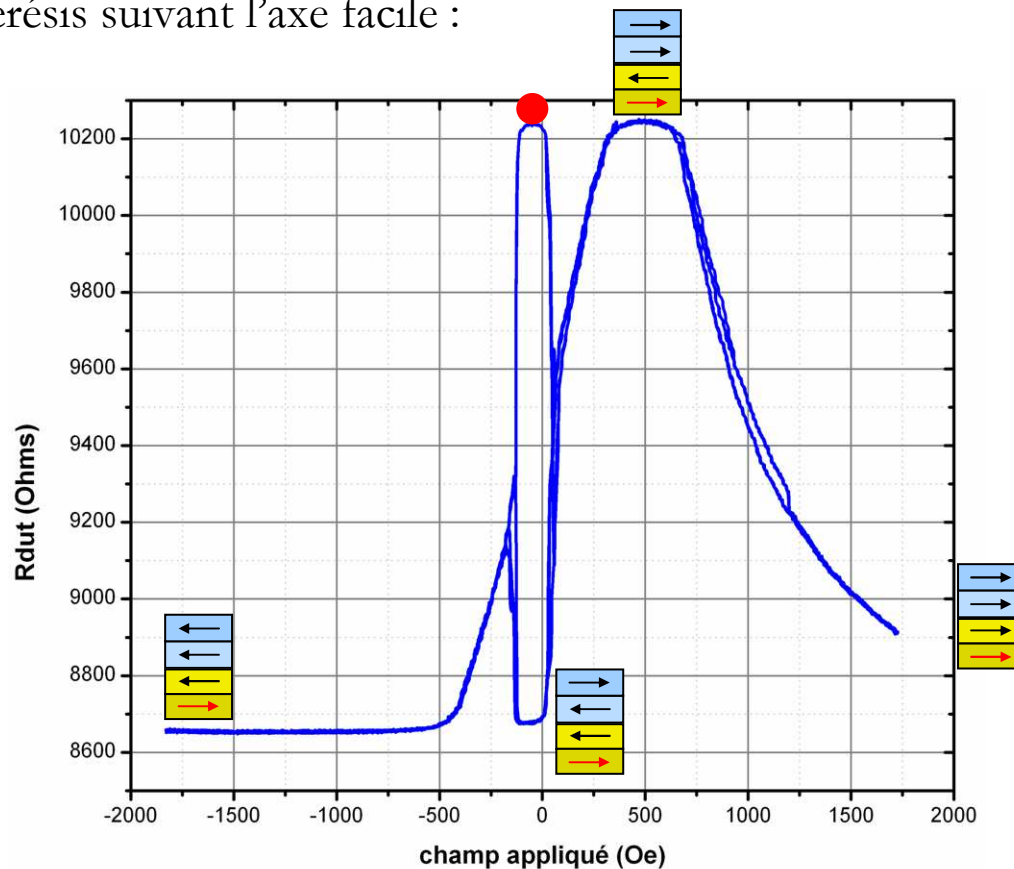
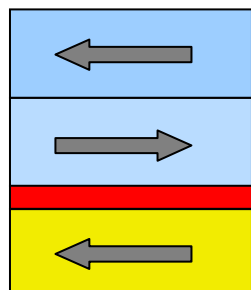
# Caractérisations expérimentales et mesures de probabilités de retournement

Mesure d'un cycle d'hystérésis suivant l'axe facile :



# Caractérisations expérimentales et mesures de probabilités de retournement

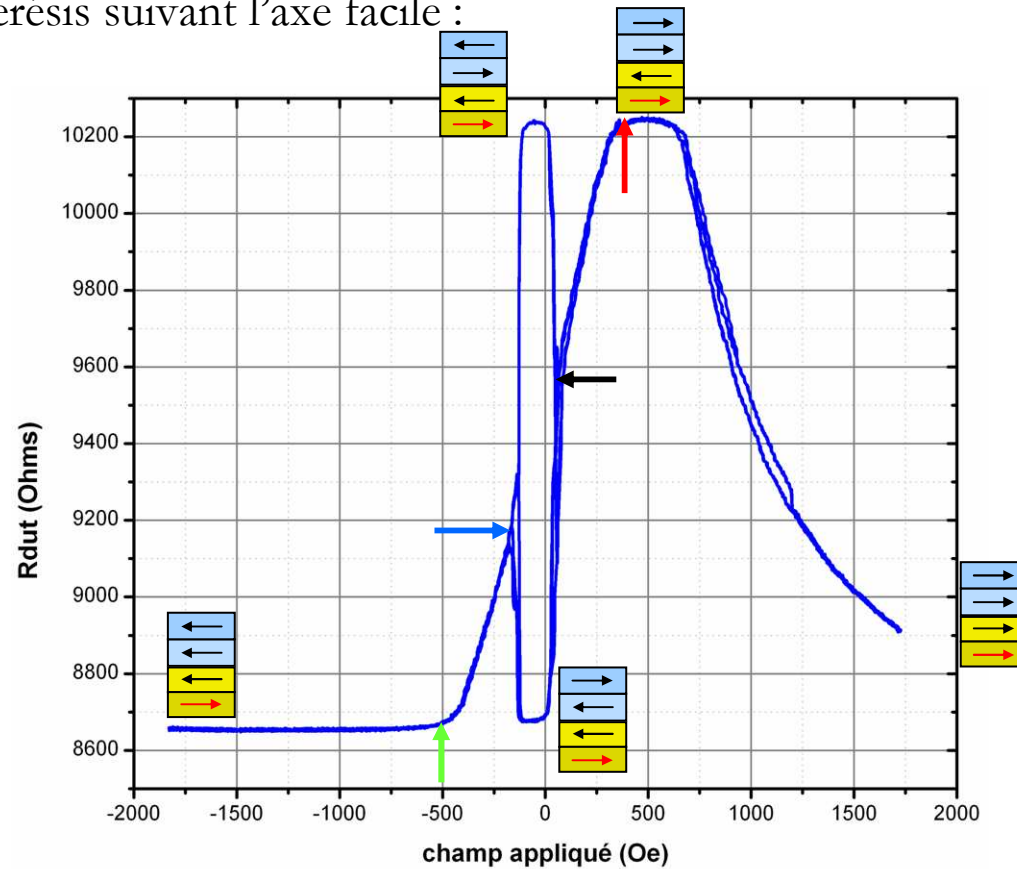
Mesure d'un cycle d'hystérésis suivant l'axe facile :





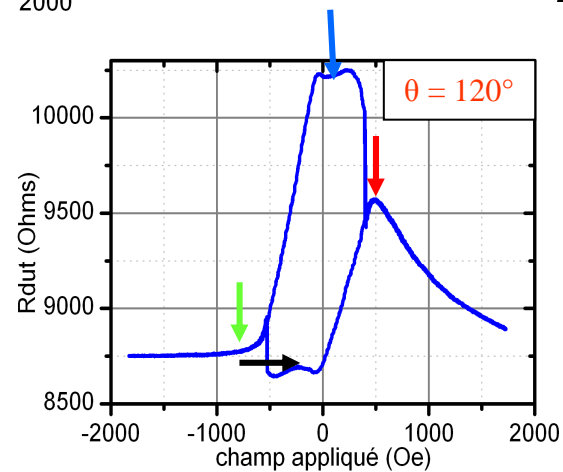
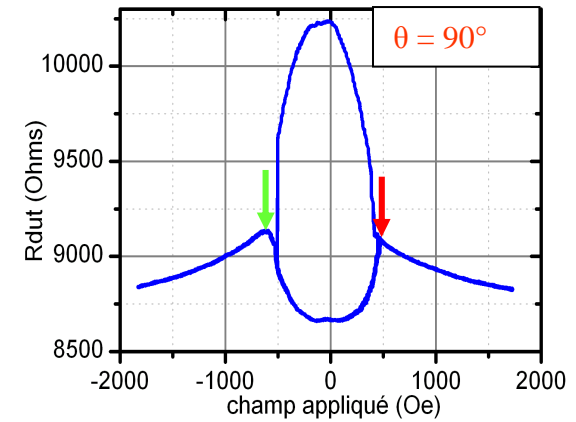
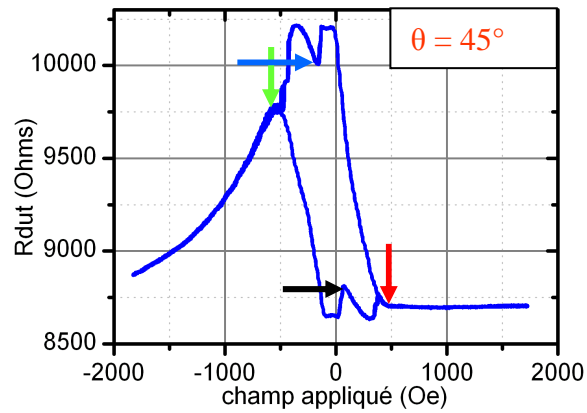
# Caractérisations expérimentales et mesures de probabilités de retournement

Mesure d'un cycle d'hystérésis suivant l'axe facile :



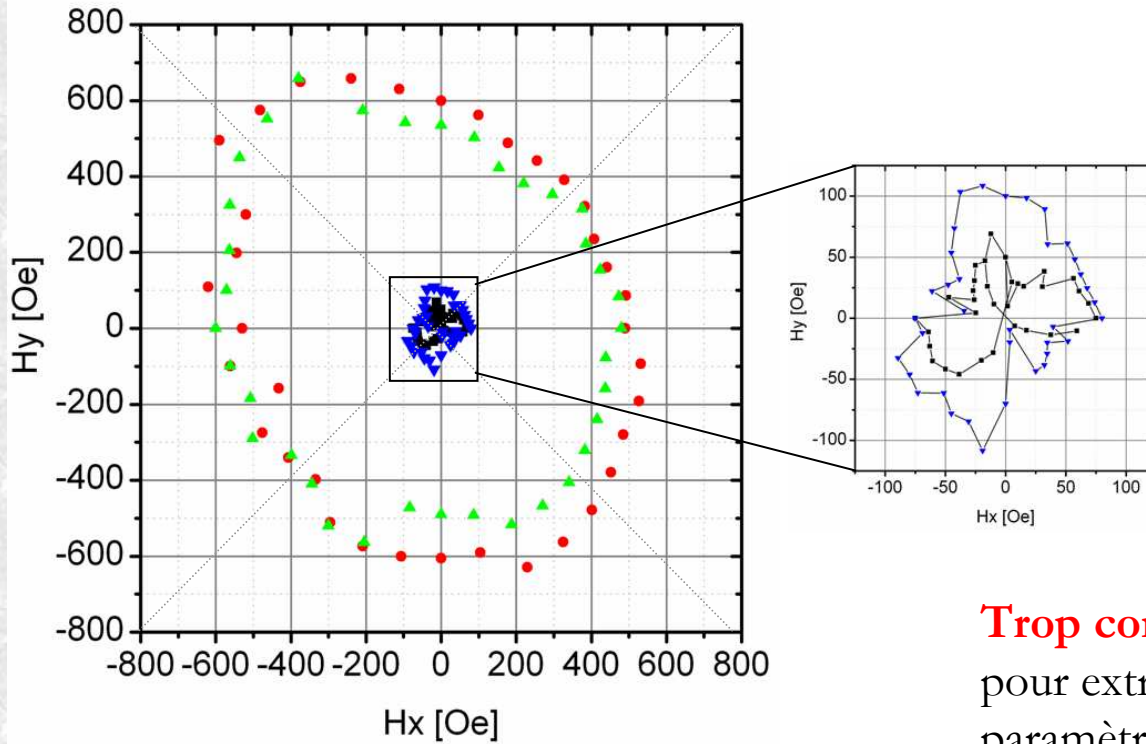
# Caractérisations expérimentales et mesures de probabilités de retournement

Mesure d'un cycle d'hystérésis suivant différentes directions :



# Caractérisations expérimentales et mesures de probabilités de retournement

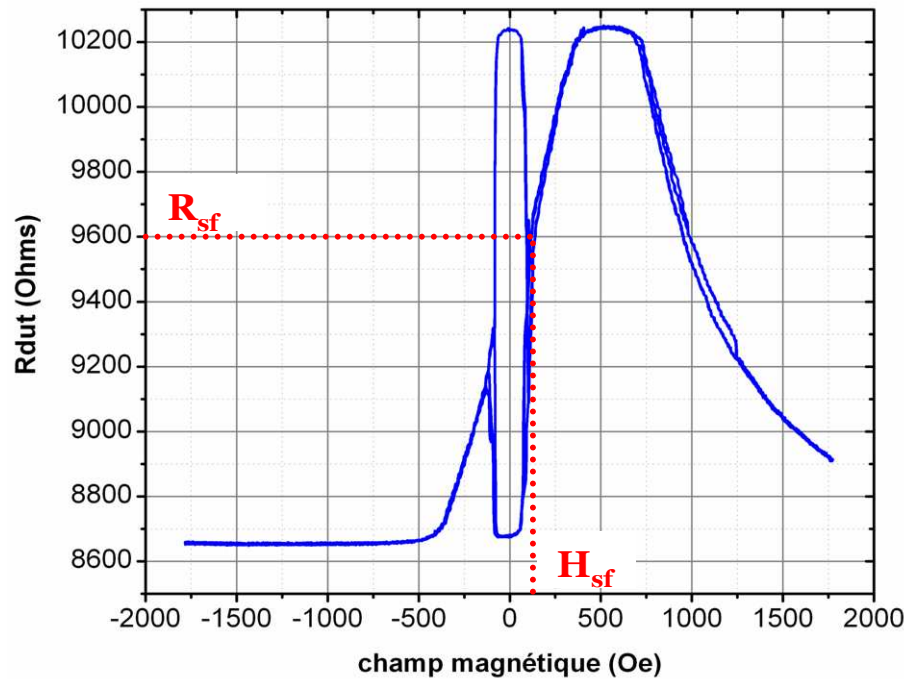
Astroïde magnétique d'une cellule :



**Trop complexe et trop bruyant**  
pour extraire précisément des  
paramètres magnétiques...

# Caractérisations expérimentales et mesures de probabilités de retournement

Cycle d'hystérésis suivant l'axe facile :

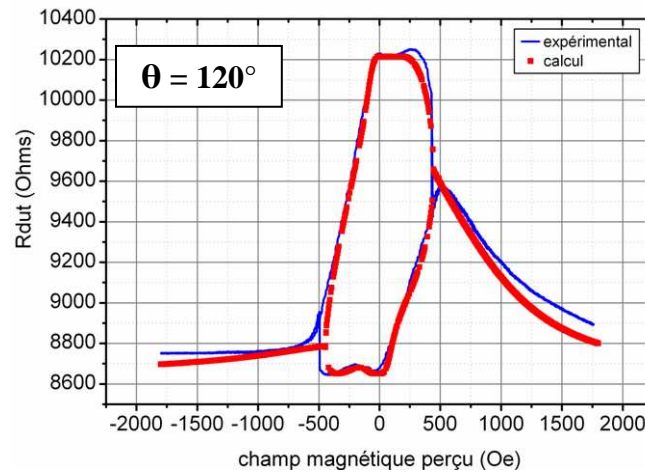
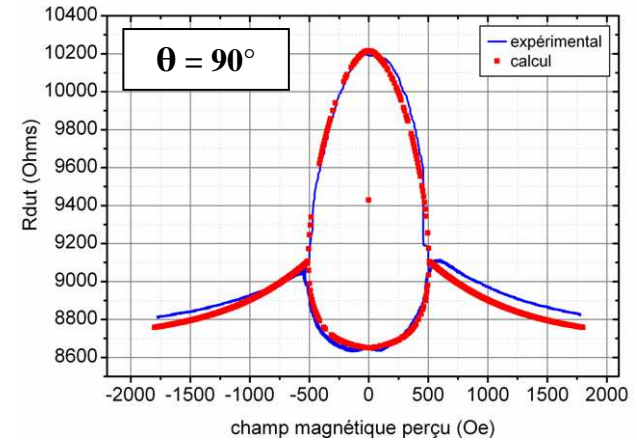
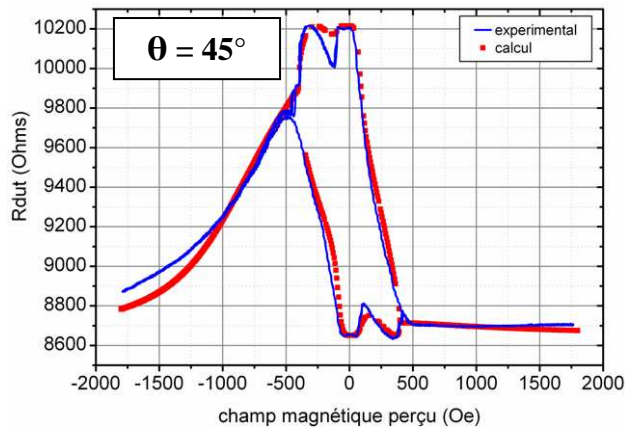


A l'aide des valeurs de  $H_{\text{spinflop}}$  et  $R_{\text{spinflop}}$ , et des conditions de stabilité dérivées du modèle précédent, on trouve :

$$H_i = 15 \text{ Oe et } J = -0.05 \text{ erg/cm}^2$$

Ce qui correspond à un champ d'échange :  $H_j = 136.6 \text{ Oe}$ .

# Caractérisations expérimentales et mesures de probabilités de retournement

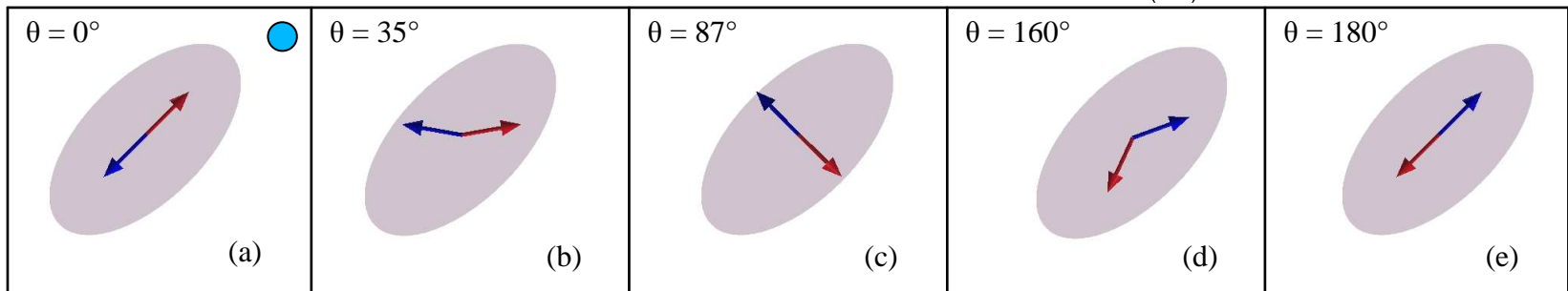
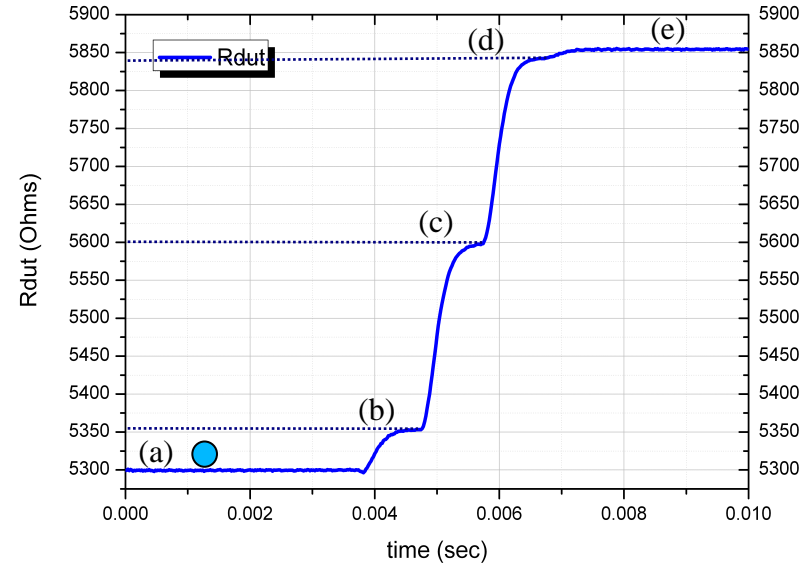


# Caractérisations expérimentales et mesures de probabilités de retournement

## Retournement d'une cellule :

$\theta$  : angle entre les 2 aimantations de chaque côté de la barrière tunnel.

$$\cos(\theta) = \frac{2 \cdot R(\theta) - (R_{ini} + R_{max})}{R_{ini} - R_{max}}$$

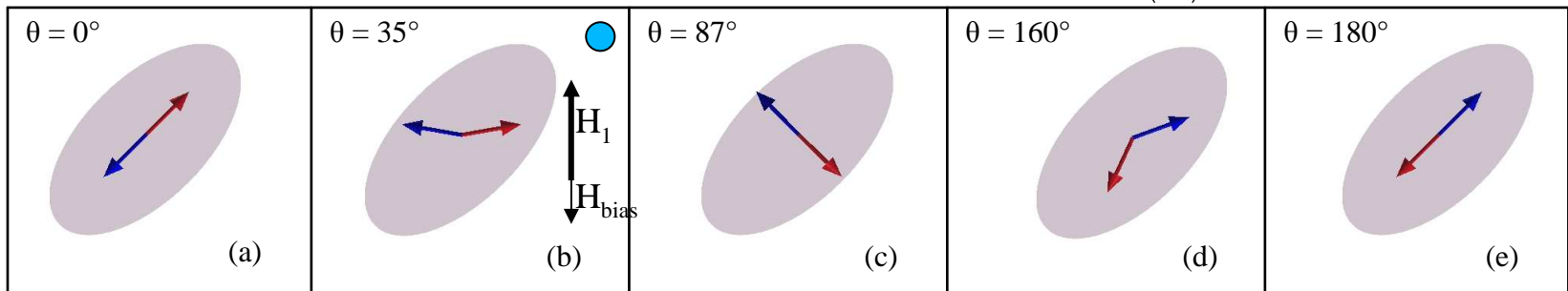
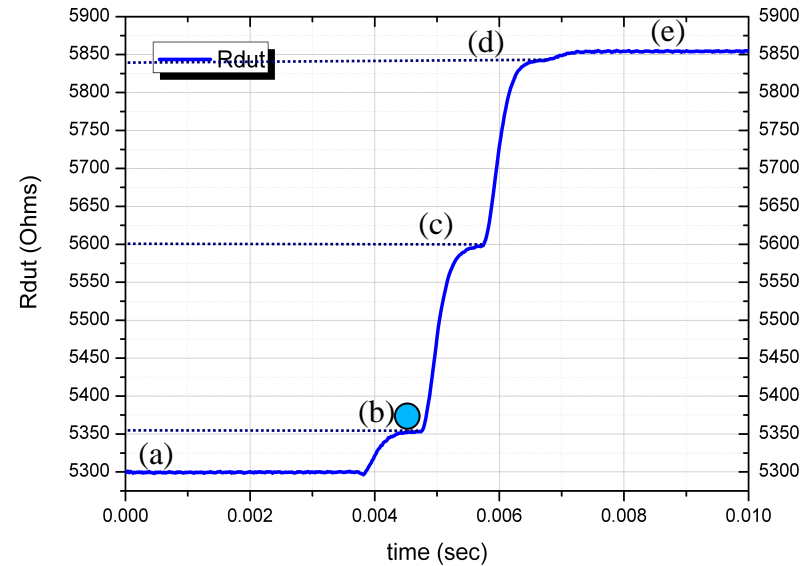


# Caractérisations expérimentales et mesures de probabilités de retournement

## Retournement d'une cellule :

$\theta$  : angle entre les 2 aimantations de chaque côté de la barrière tunnel.

$$\cos(\theta) = \frac{2 \cdot R(\theta) - (R_{ini} + R_{max})}{R_{ini} - R_{max}}$$



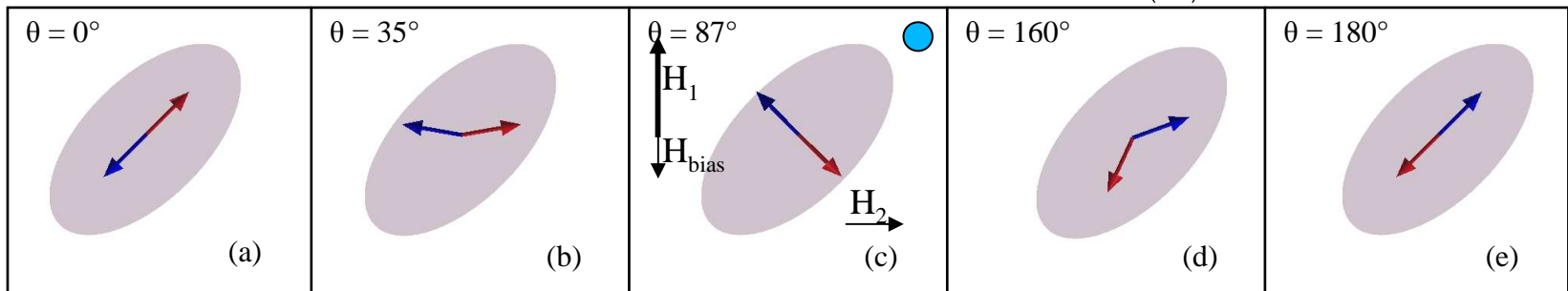
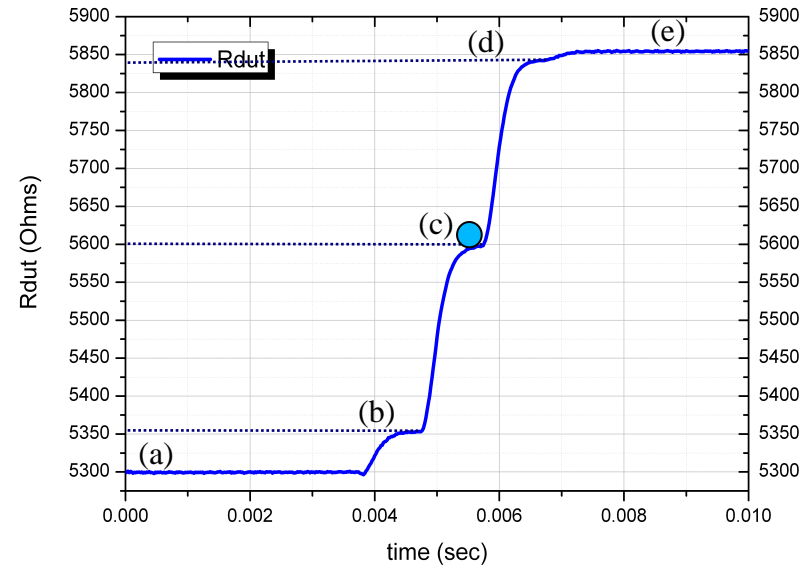
# Caractérisations expérimentales et mesures de probabilités de retournement

27/37

## Retournement d'une cellule :

$\theta$  : angle entre les 2 aimantations de chaque côté de la barrière tunnel.

$$\cos(\theta) = \frac{2 \cdot R(\theta) - (R_{ini} + R_{max})}{R_{ini} - R_{max}}$$



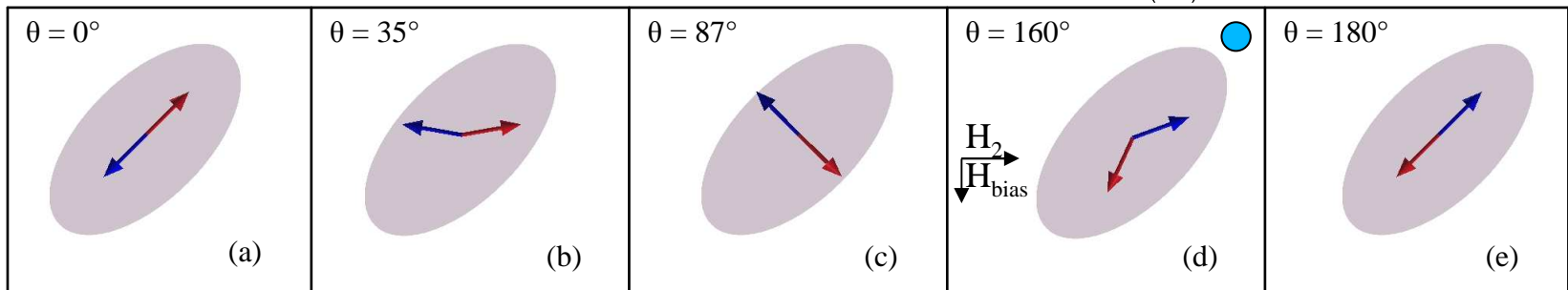
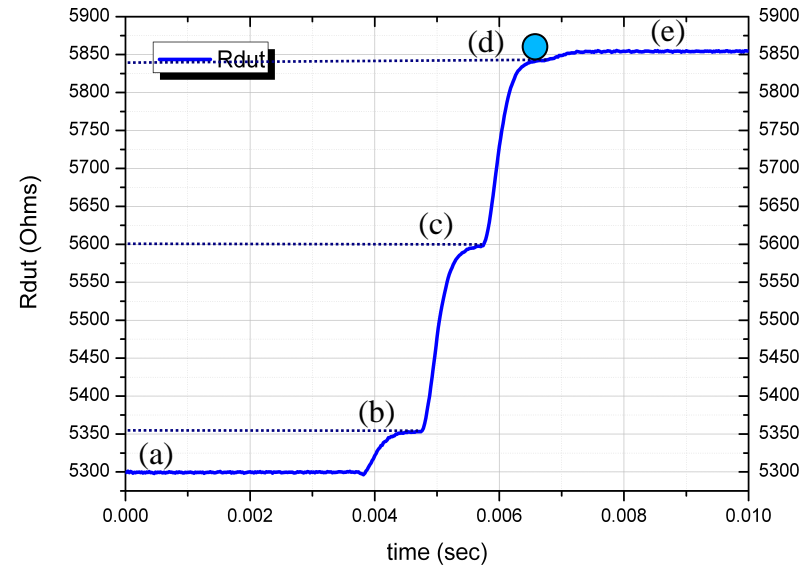


# Caractérisations expérimentales et mesures de probabilités de retournement

## Retournement d'une cellule :

$\theta$  : angle entre les 2 aimantations de chaque côté de la barrière tunnel.

$$\cos(\theta) = \frac{2 \cdot R(\theta) - (R_{ini} + R_{max})}{R_{ini} - R_{max}}$$

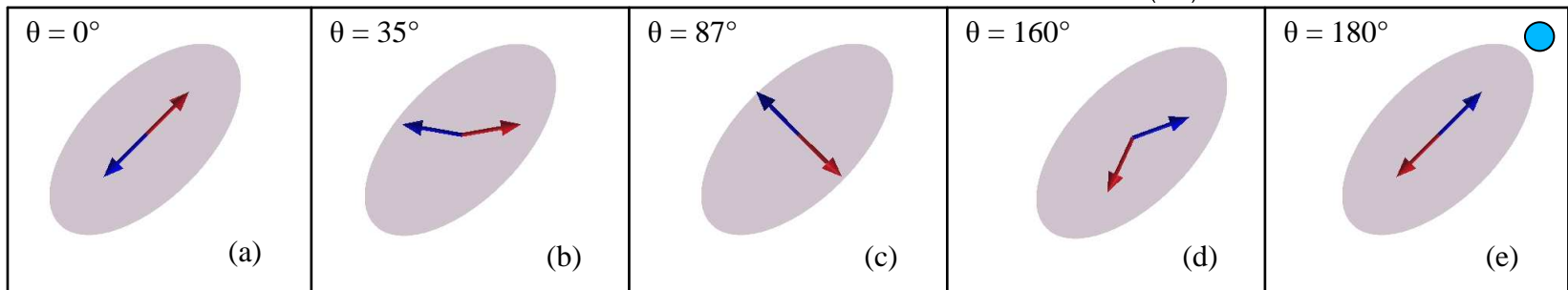
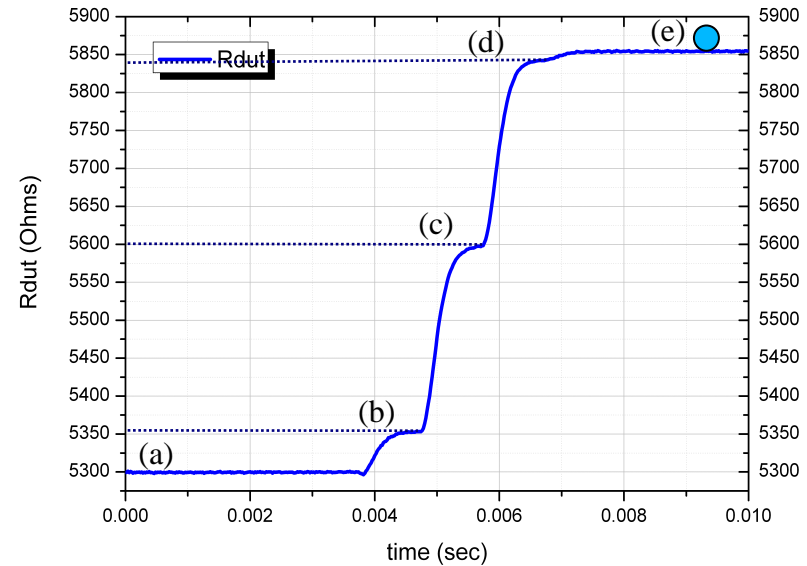


# Caractérisations expérimentales et mesures de probabilités de retournement

## Retournement d'une cellule :

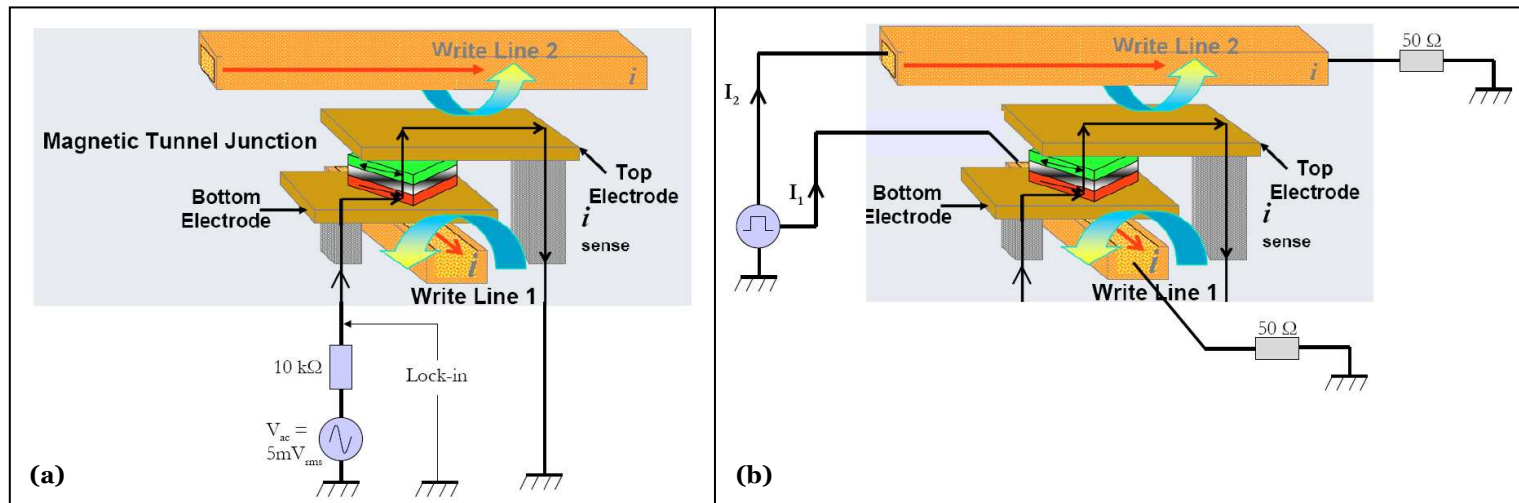
$\theta$  : angle entre les 2 aimantations de chaque côté de la barrière tunnel.

$$\cos(\theta) = \frac{2 \cdot R(\theta) - (R_{ini} + R_{max})}{R_{ini} - R_{max}}$$



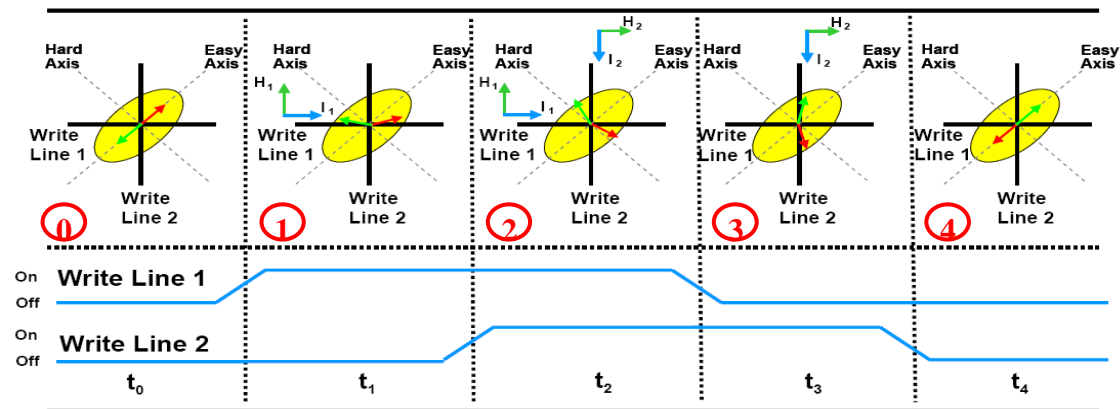
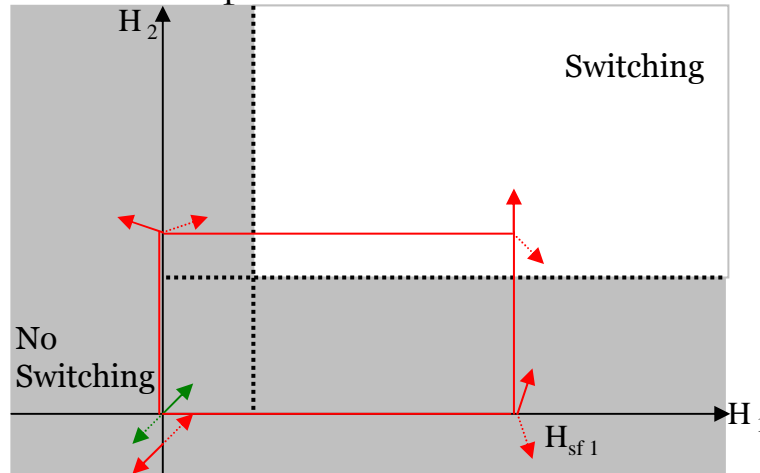
# Caractérisations expérimentales et mesures de probabilités de retournement

Mesures de probabilité de retournement :



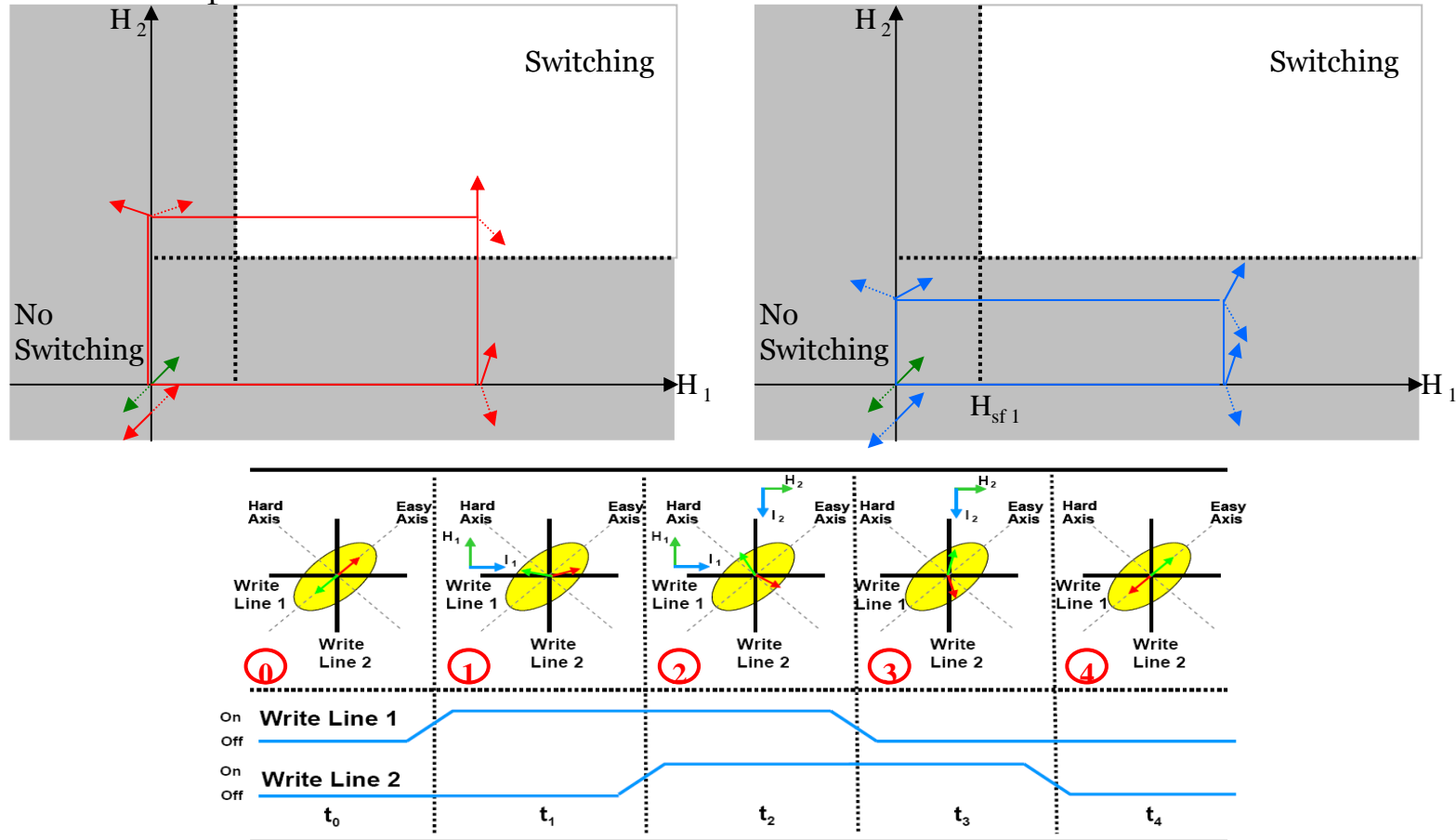
# Caractérisations expérimentales et mesures de probabilités de retournement

Mesures de probabilité de retournement :



# Caractérisations expérimentales et mesures de probabilités de retournement

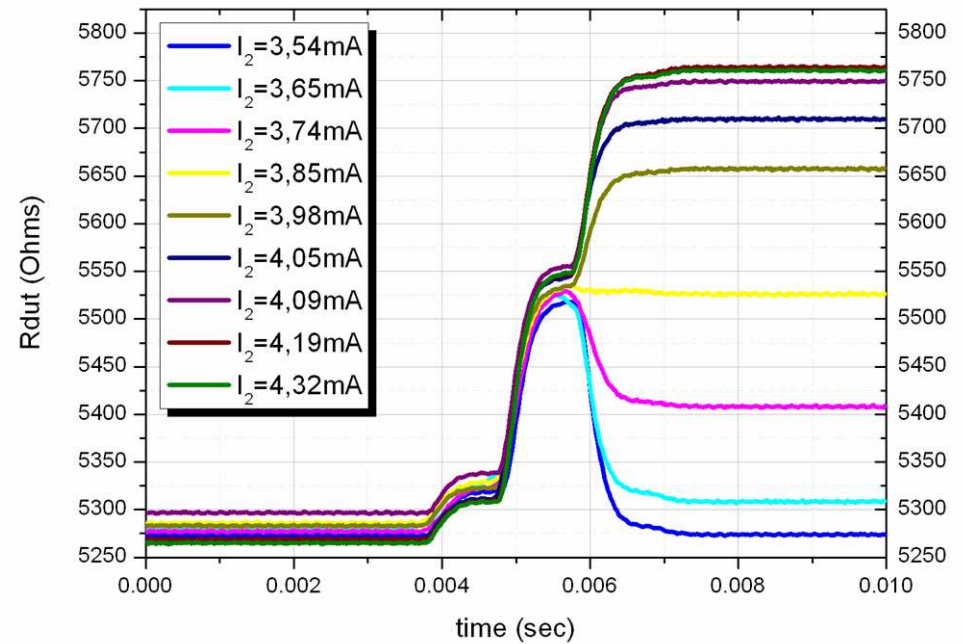
Mesures de probabilité de retournement :



# Caractérisations expérimentales et mesures de probabilités de retournement

Retournement d'une cellule :  
 Résistance moyenne pendant une série de séquences de retournement

$I_1 = 16\text{mA}$	$I_2$ variable
$t_1 = 1\text{ms}$	$t_2 = 1\text{ms}$
$T = 300\text{K}$	

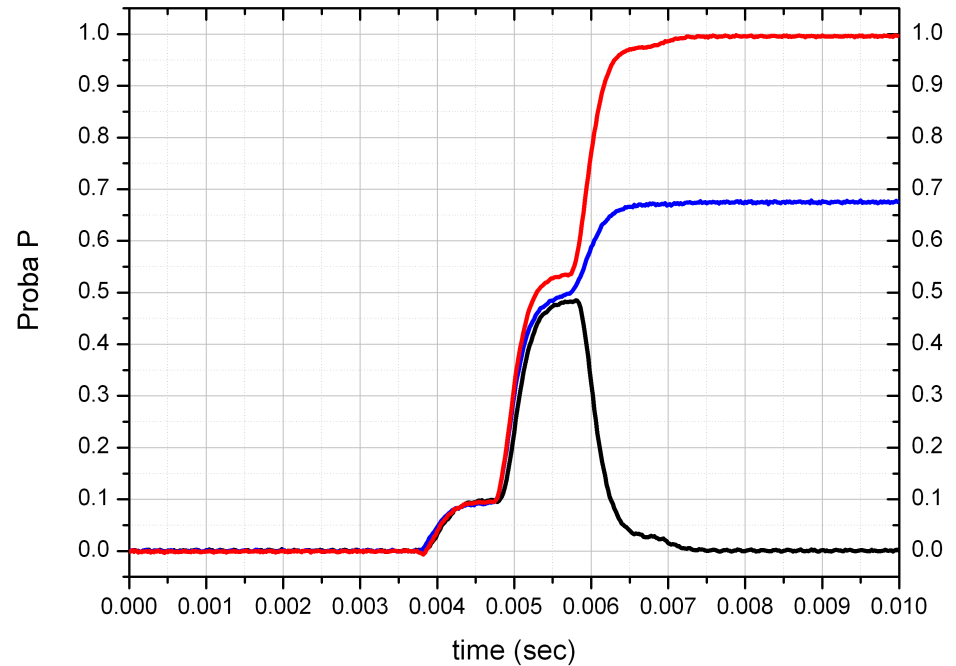


# Caractérisations expérimentales et mesures de probabilités de retournement

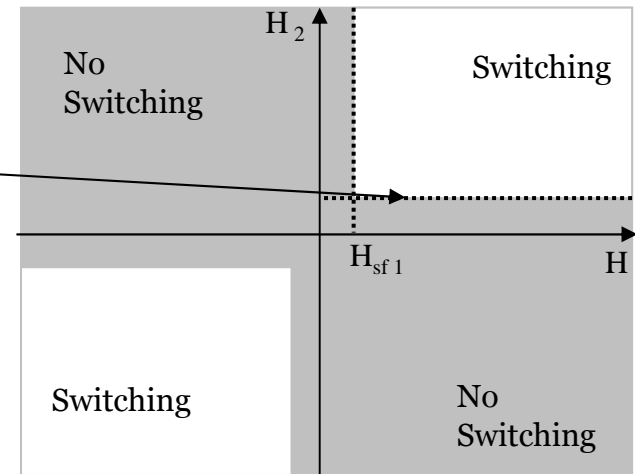
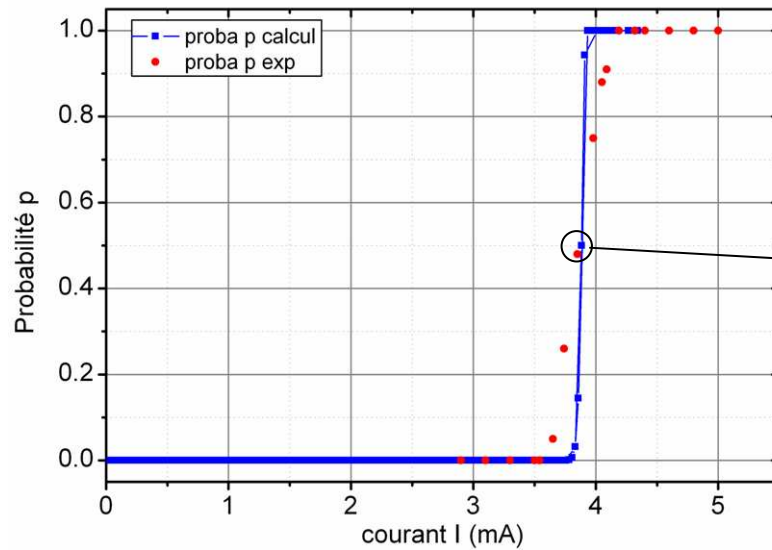
Retournement d'une cellule :  
 Probabilité de retournement s  
 5000 essais pour différentes  
 valeurs de  $I_2$ .

On évalue p tel que :

$$p = \frac{R - R_{ini}}{R_{max} - R_{ini}}$$



# Caractérisations expérimentales et mesures de probabilités de retournement



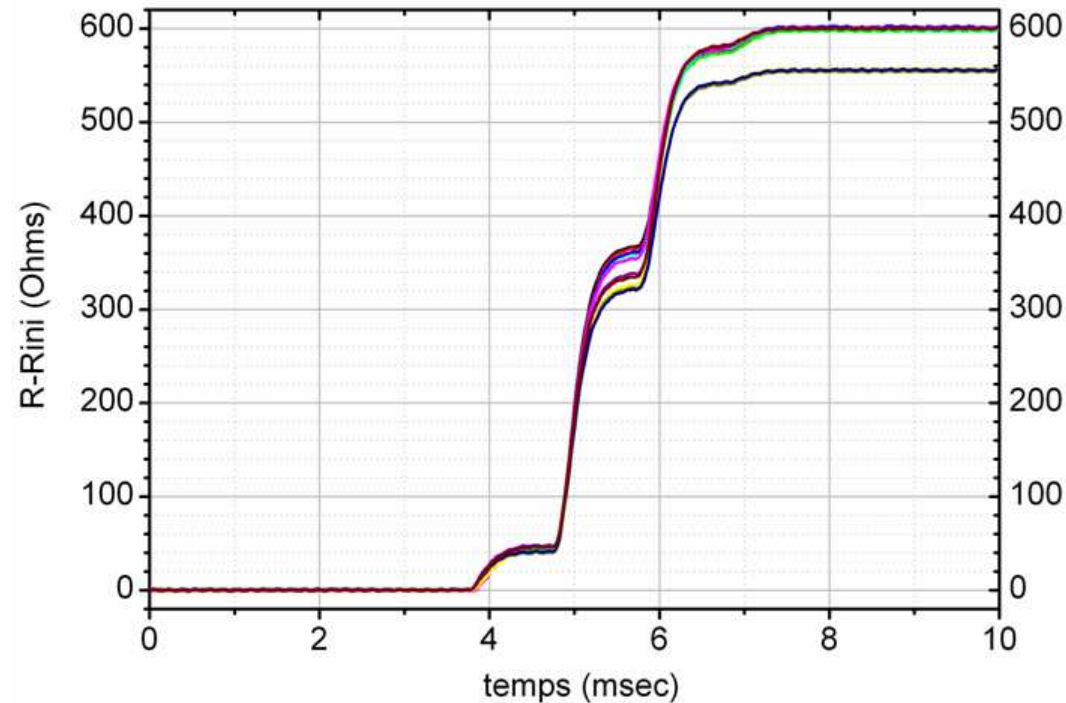
Très bonne prédiction du comportement de retournement de la cellule MRAM.

Bon accord qualitatif pour l'énergie de barrière mais pas encore suffisamment quantitatif.



## Caractérisations expérimentales et mesures de probabilités de retournement

36/37

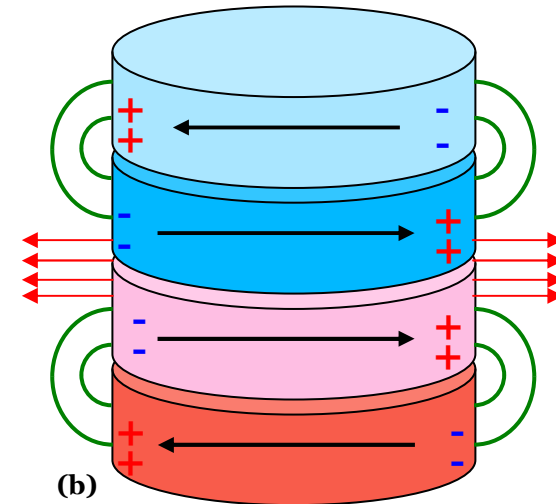
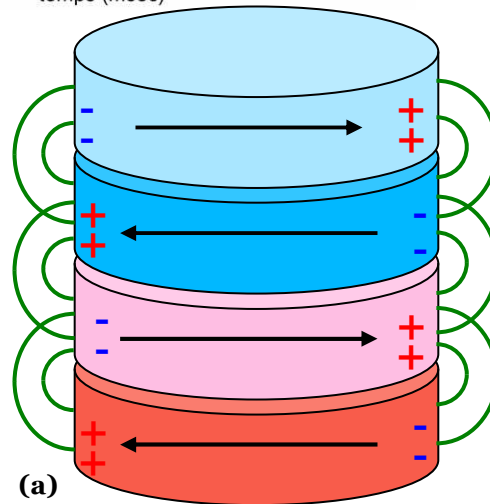
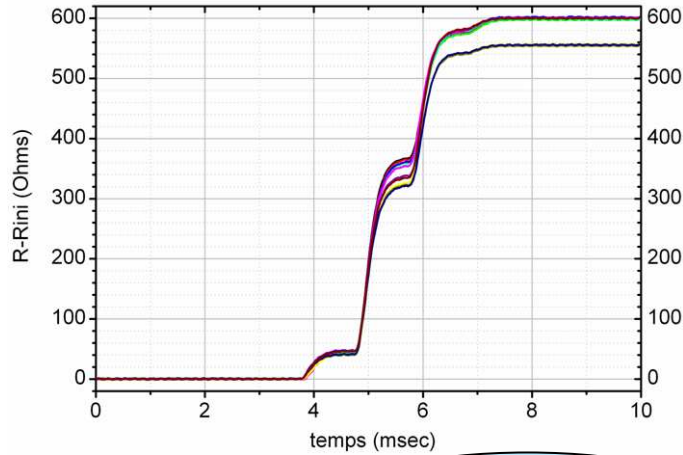


On suppose un état initial bien défini :

Problème :

Il existe 2 valeurs de résistance finale : certainement dues à la présence de conformations de la distribution d'aimantations dans l'échantillon.

# Caractérisations expérimentales et mesures de probabilités de retournement

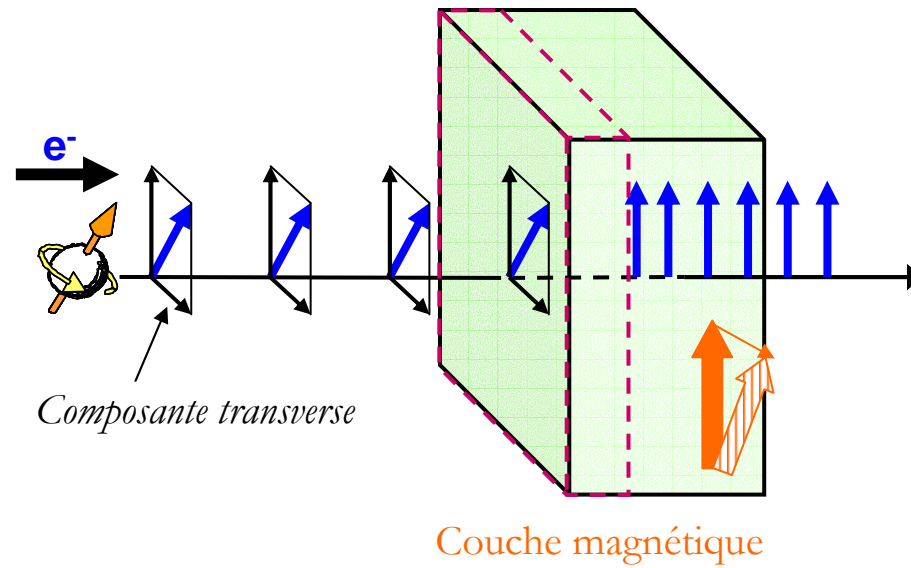


# Plan de l'exposé

1. Approche globale de la fiabilité des MRAM
2. Cas particulier : la stabilité thermique des MRAM 'toggle'
3. **Cas particulier : la stabilité thermique d'un nouveau concept de MRAM**
4. Conclusions et perspectives

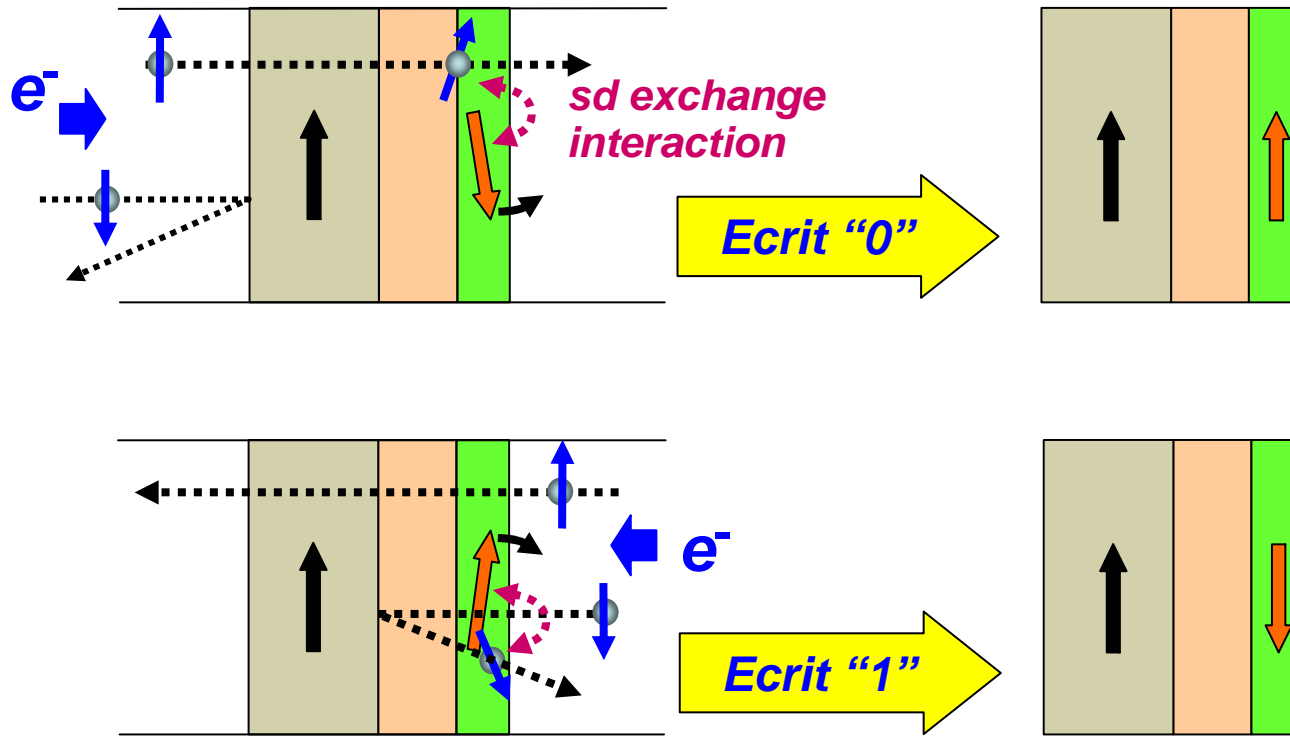
# Principe du nouveau type de MRAM

Le transfert de spin :



# Principe du nouveau type de MRAM

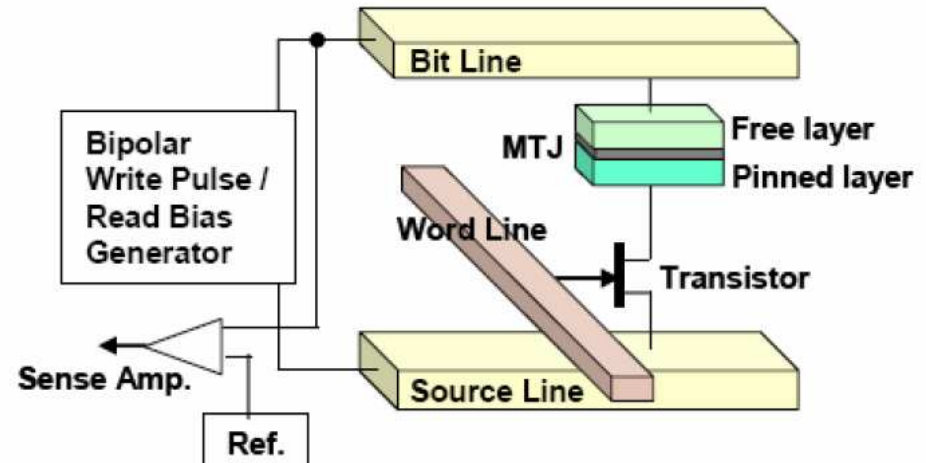
Le transfert de spin :



# Principe du nouveau type de MRAM

## Le transfert de spin :

- JTM

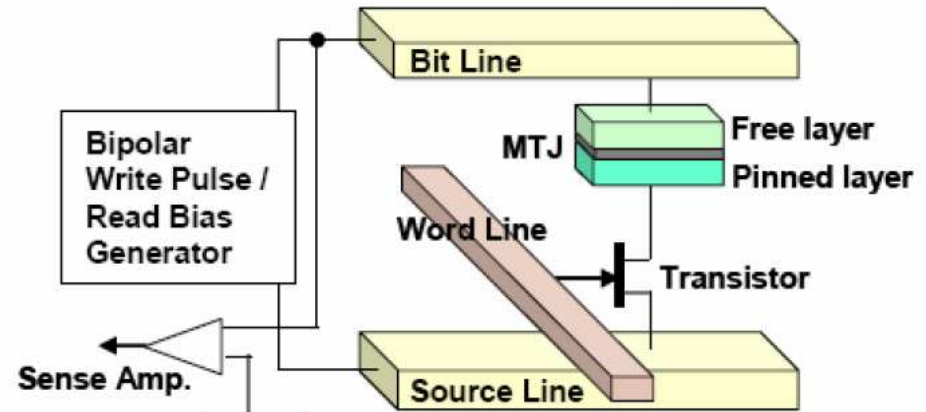


Source : SpinRAM SONY, IEEE 2005

# Principe du nouveau type de MRAM

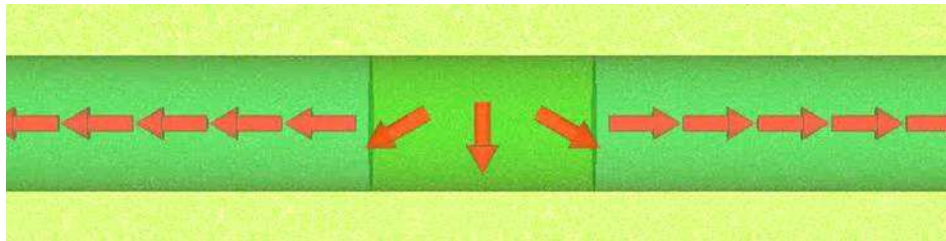
## Le transfert de spin :

- JTM



Source : SpinRAM SONY, IEEE 2005

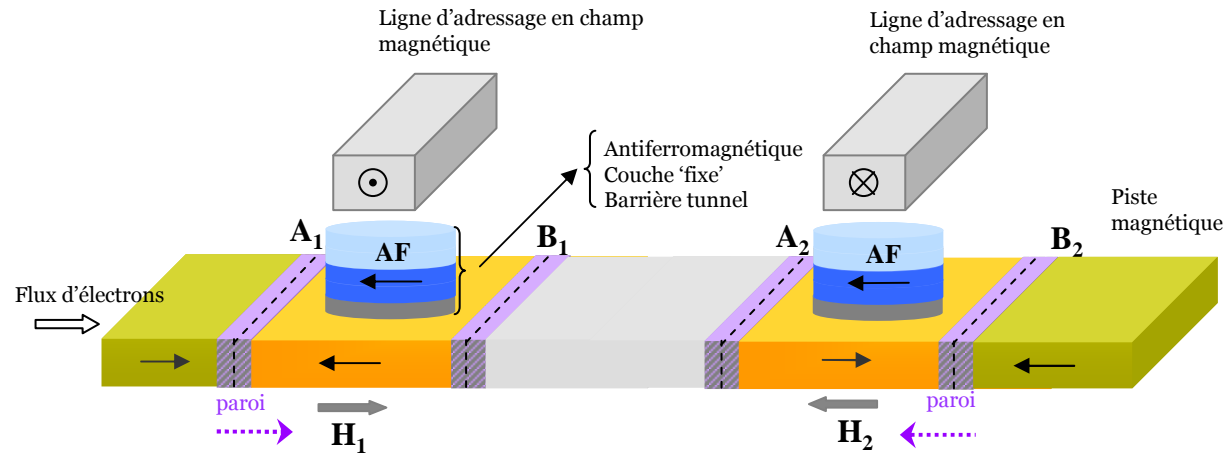
- Paroi de domaine



G. Tatara et al., Phys. Rev. Lett., 92, 086601 (2004)

# Principe du nouveau type de MRAM

Utilisation du déplacement de parois de domaines magnétiques à l'aide d'un courant et d'un faible champ magnétique pour un nouveau type de MRAM.

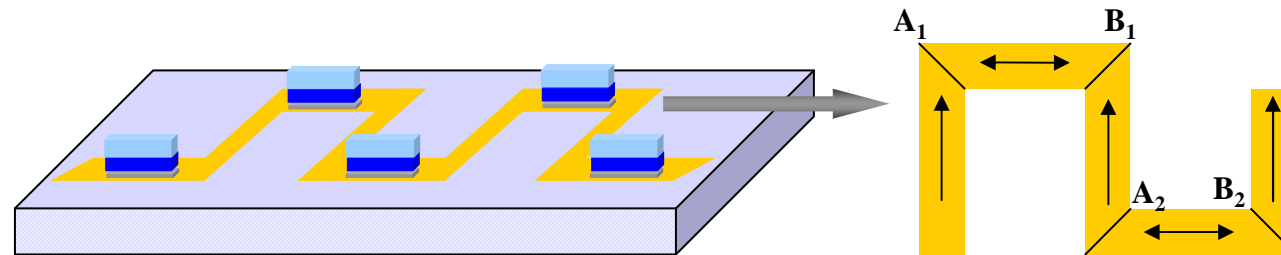




# Principe du nouveau type de MRAM

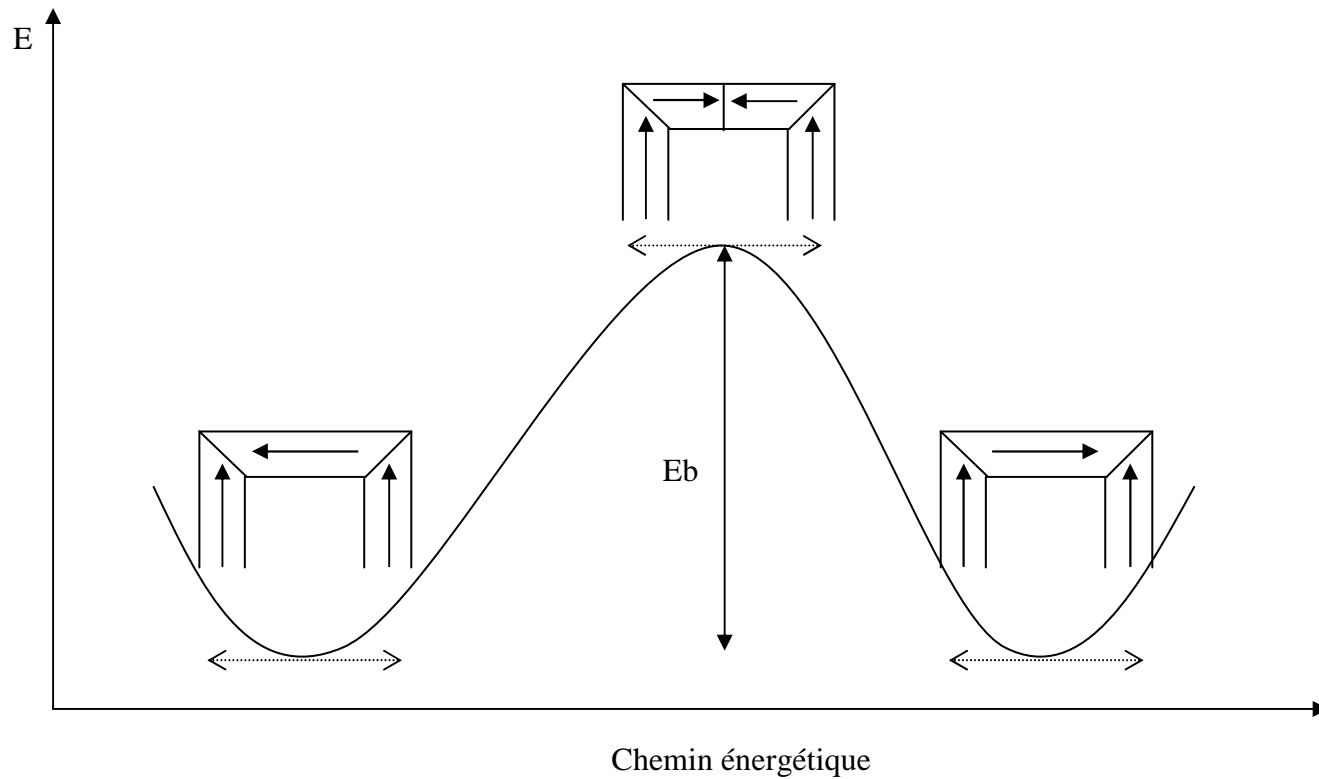
Point d'ancrage de la paroi + état initial reproductible :

Il existe plusieurs solutions, nous avons choisi la suivante :



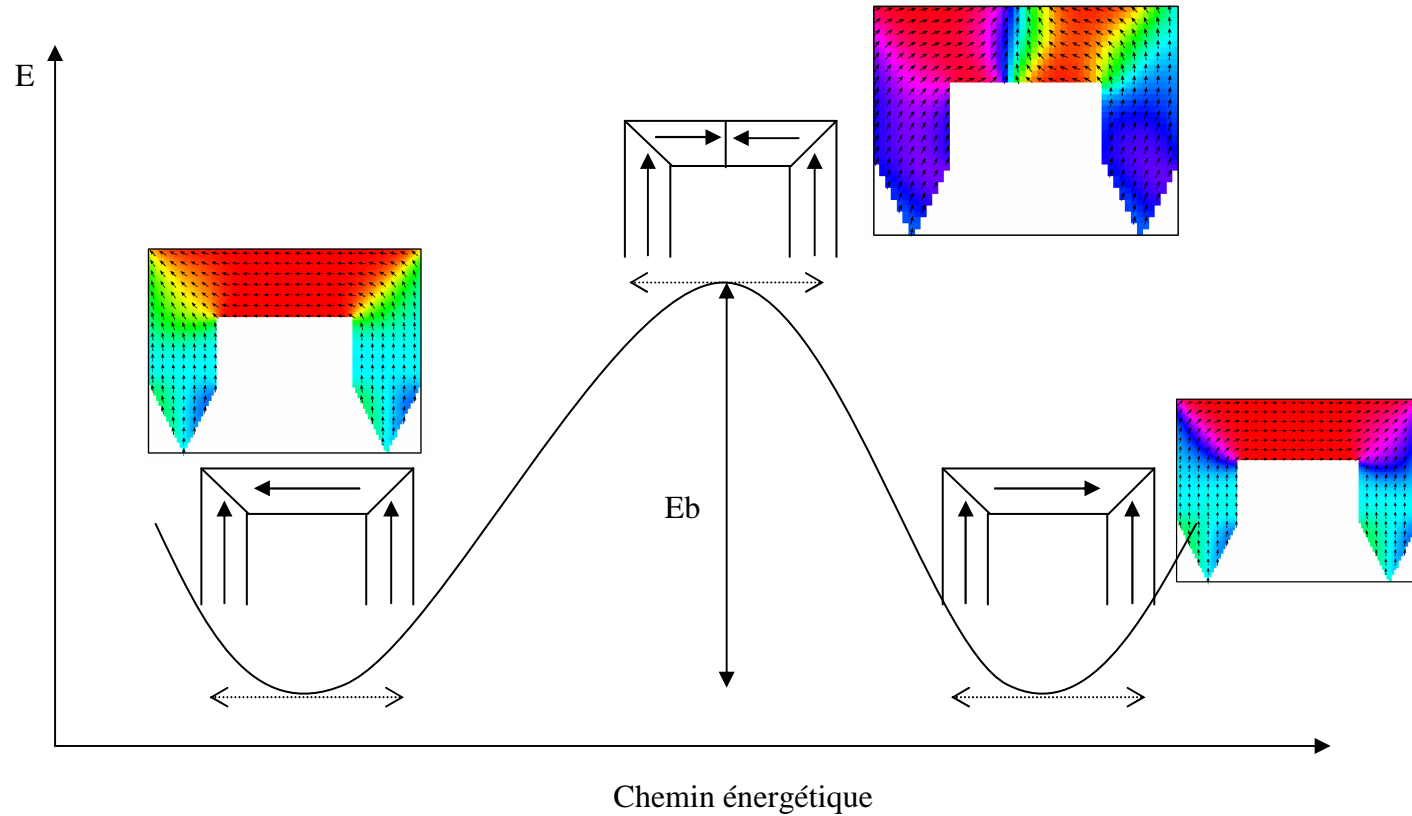
# Principe du nouveau type de MRAM

But de l'étude : estimation de l'énergie de barrière



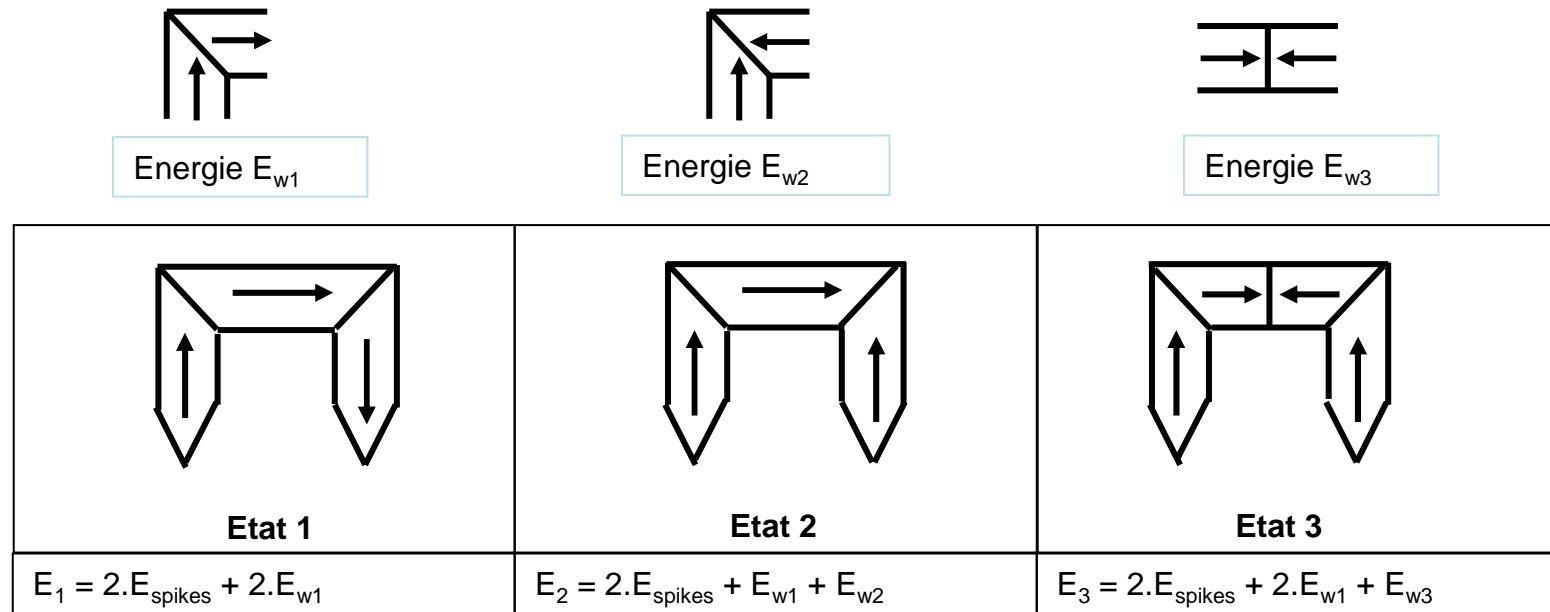
# Principe du nouveau type de MRAM

But de l'étude : estimation de l'énergie de barrière



# Calcul de la stabilité thermique d'un nouveau type de MRAM

Méthode d'approximation :

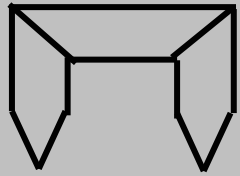


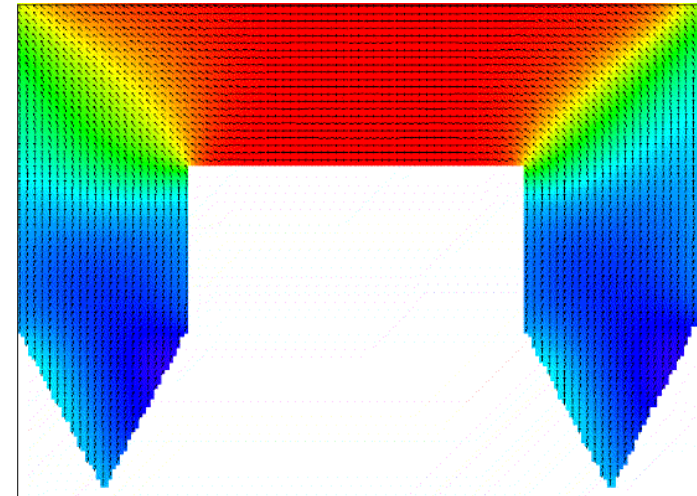
$$E_{b2} = E_3 - E_2 = E_{w3} + E_1 - E_2$$

Calculs d'après McMichael et Donahue, *IEEE*, 33, 4167 (1997)

# Calcul de la stabilité thermique d'un nouveau type de MRAM

Résultats :

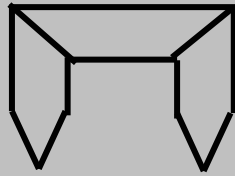
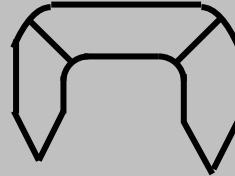
F (nm)	
130	19.74 eV
90	13.88 eV
65	10.79 eV
45	7.10 eV

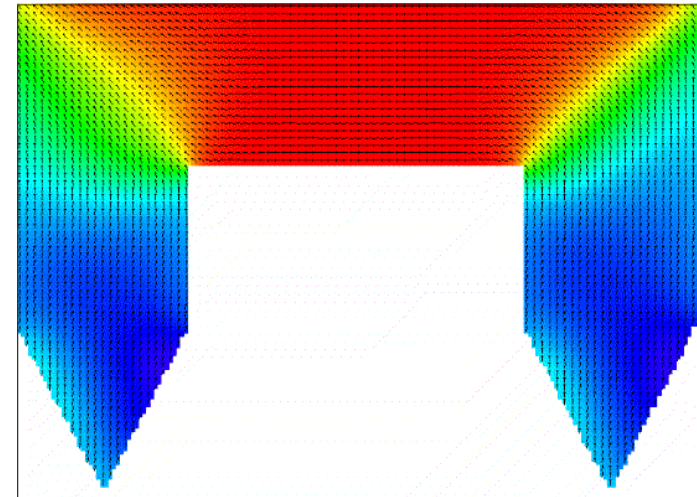


Pour  $T=125^{\circ}\text{C}$  ,  $k_B T = 0.0345 \text{ eV}$ , soit  $206 k_B T \leq E_b \leq 572 k_B T$ ,  
 équivalent à  $4,05 \cdot 10^{+78} \leq \exp(E_b / k_B T) \leq 2,61 \cdot 10^{+248} !!$

# Calcul de la stabilité thermique d'un nouveau type de MRAM

Résultats :

F (nm)		
130	19.74 eV	17.26 eV
90	13.88 eV	12.22 eV
65	10.79 eV	9.13 eV
45	7.10 eV	6.26 eV



Pour  $T=125^{\circ}\text{C}$  ,  $k_B T = 0.0345 \text{ eV}$ , soit  $181 k_B T \leq E_b \leq 500 k_B T$ ,  
 équivalent à  $4,05 \cdot 10^{+78} \leq \exp(E_b / k_B T) \leq 2,61 \cdot 10^{+248} !!$

# Plan de l'exposé

---

1. Approche globale de la fiabilité des MRAM
2. Cas particulier : la stabilité thermique des MRAM 'toggle'
3. Cas particulier : la stabilité thermique d'un nouveau concept de MRAM
4. **Conclusions et perspectives**

# Conclusions

1/3

## 4. Conclusions et perspectives

- Etude générale des problèmes de fiabilité susceptibles d'intervenir dans les circuits MRAM
- Conception et réalisation d'un banc de test expérimental pour caractériser les propriétés électriques et magnétiques des cellules MRAM
- Réalisation d'un premier modèle théorique pour évaluer la stabilité thermique d'une MRAM toggle
- Caractérisations expérimentales des propriétés électriques et magnétiques ainsi que de la stabilité thermique des échantillons toggle de l'Alliance Crolles 2
- Etude de la stabilité thermique d'un successeur potentiel pour la technologie MRAM

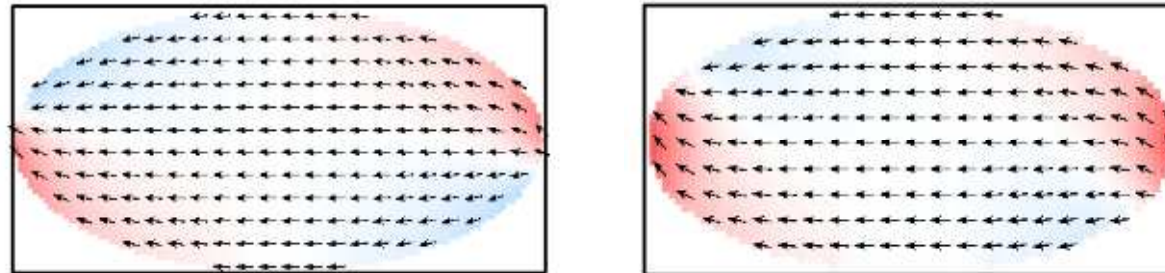


# Perspectives

2/3

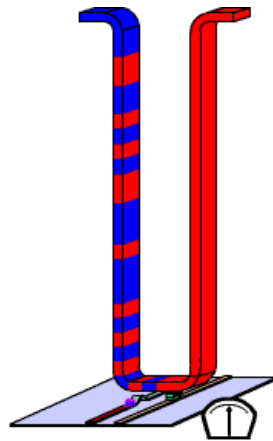
## 4. Conclusions et perspectives

- Le premier modèle théorique permet une meilleure compréhension du système et prédit précisément le comportement hystérétique des cellules MRAM toggle.
- De manière à obtenir un accord plus quantitatif pour l'énergie de barrière, il faudrait mener à bien une analyse à l'aide de simulations micromagnétiques.

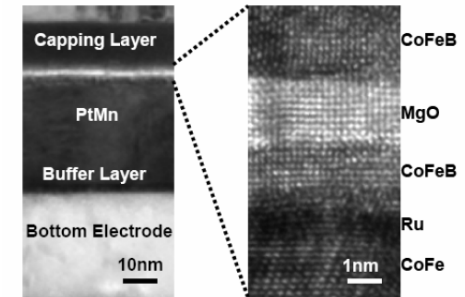
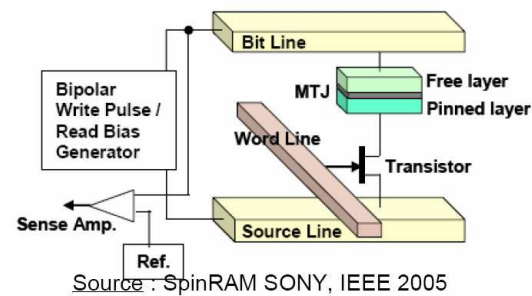


# Perspectives

- Il reste de nombreux effets à étudier plus en détail sur la fiabilité des MRAM : les effets du vieillissement sur la diffusion aux interfaces, les effets sur la dispersion des propriétés... Ces études doivent évoluer avec l'avancement des nouveaux développements de la technologie MRAM.



*D'après S. Parkin US patent 6,834,005B1 (Dec 2004)*



Merci !

Merci à toutes et à tous pour votre attention