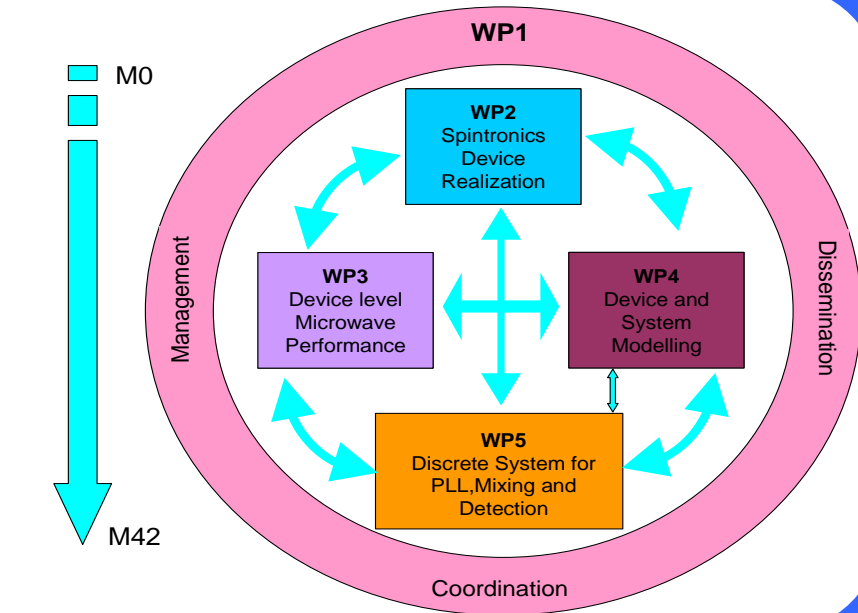
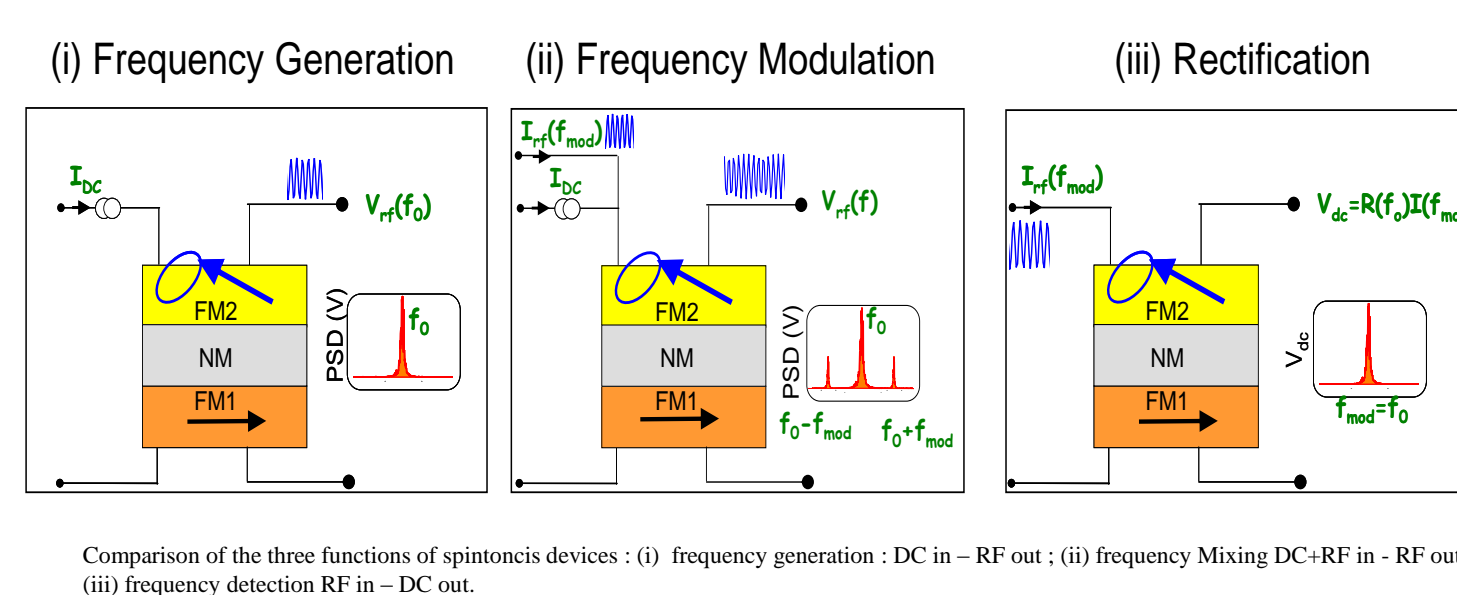


# SPINNOVA: Dispositifs SPINtroniques inNOVAnts : des excitations collectives vers les systèmes microondes miniaturisés

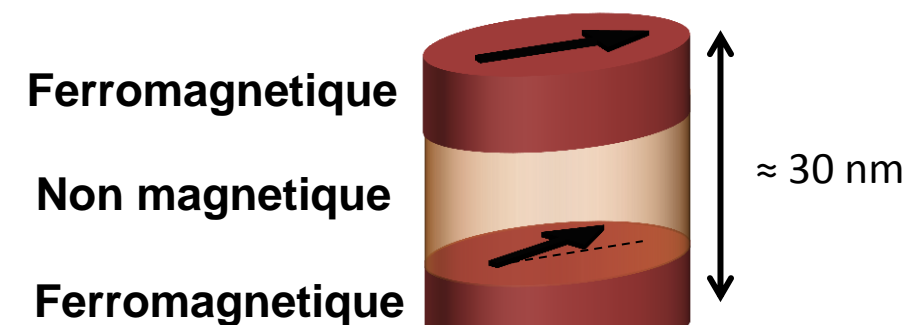
## P2N 2011

Objectif: Le but de SPINNOVA est de proposer une nouvelle génération de composants Spintroniques pour la génération, la modulation et la détection de fréquences



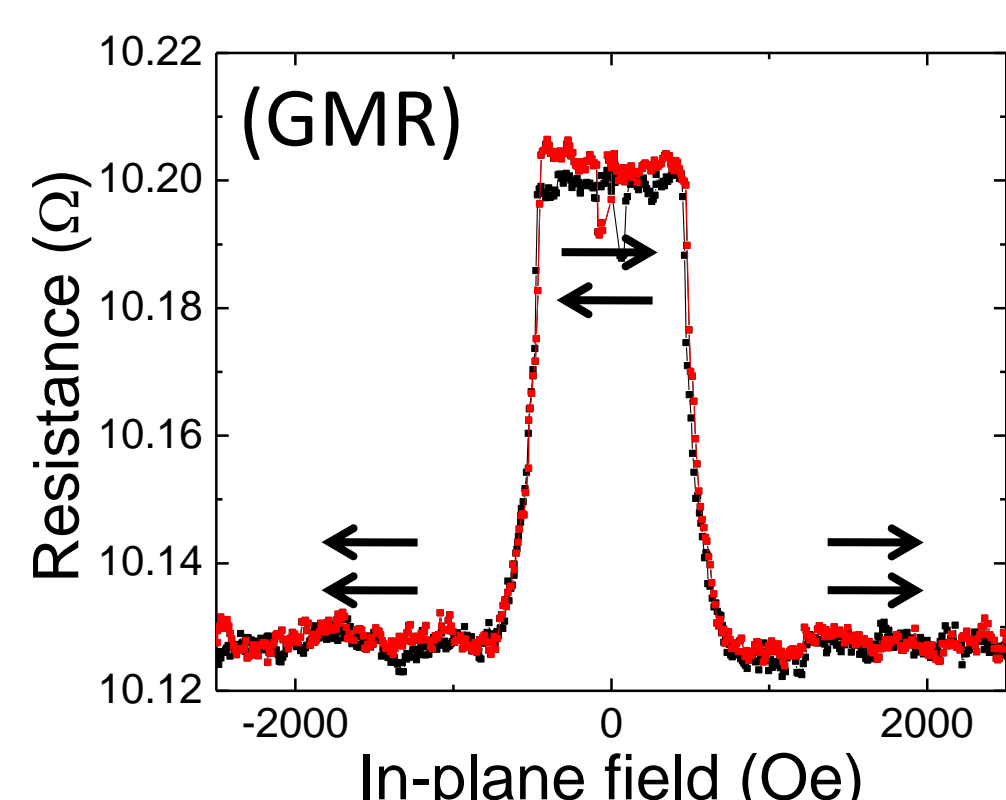
### Principe des nano-oscillateurs à transfert de spin :

#### L'effet de magnétorésistance géante (GMR) :



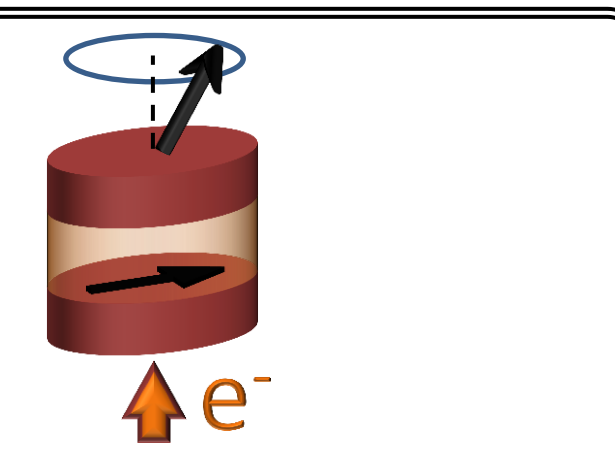
Variation continue de la résistance en fonction de l'angle entre les aimantations de chacune des couches magnétiques

$$\Rightarrow R(\theta), \text{GMR} = \frac{R_{AP} - R_P}{R_P}$$

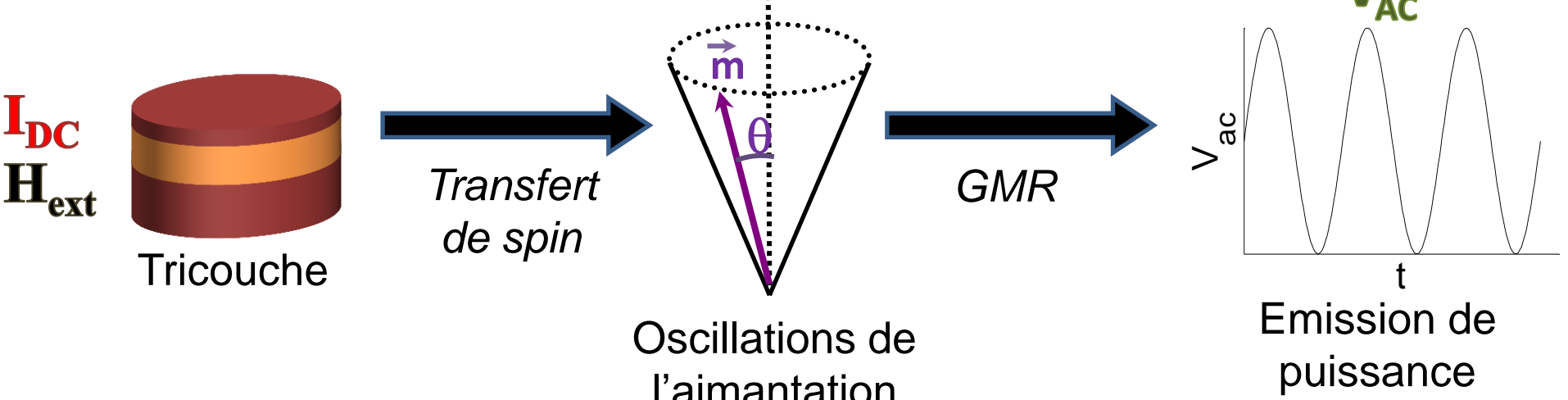


#### L'effet de transfert de spin :

Un courant polarisé en spin traversant une couche magnétique peut entraîner le démarrage d'oscillations de son aimantation



#### Principe des oscillateurs :



#### Une nouvelle classe de sources hyperfréquences :

→ Simples, intégrables, large bande, agiles et rapides

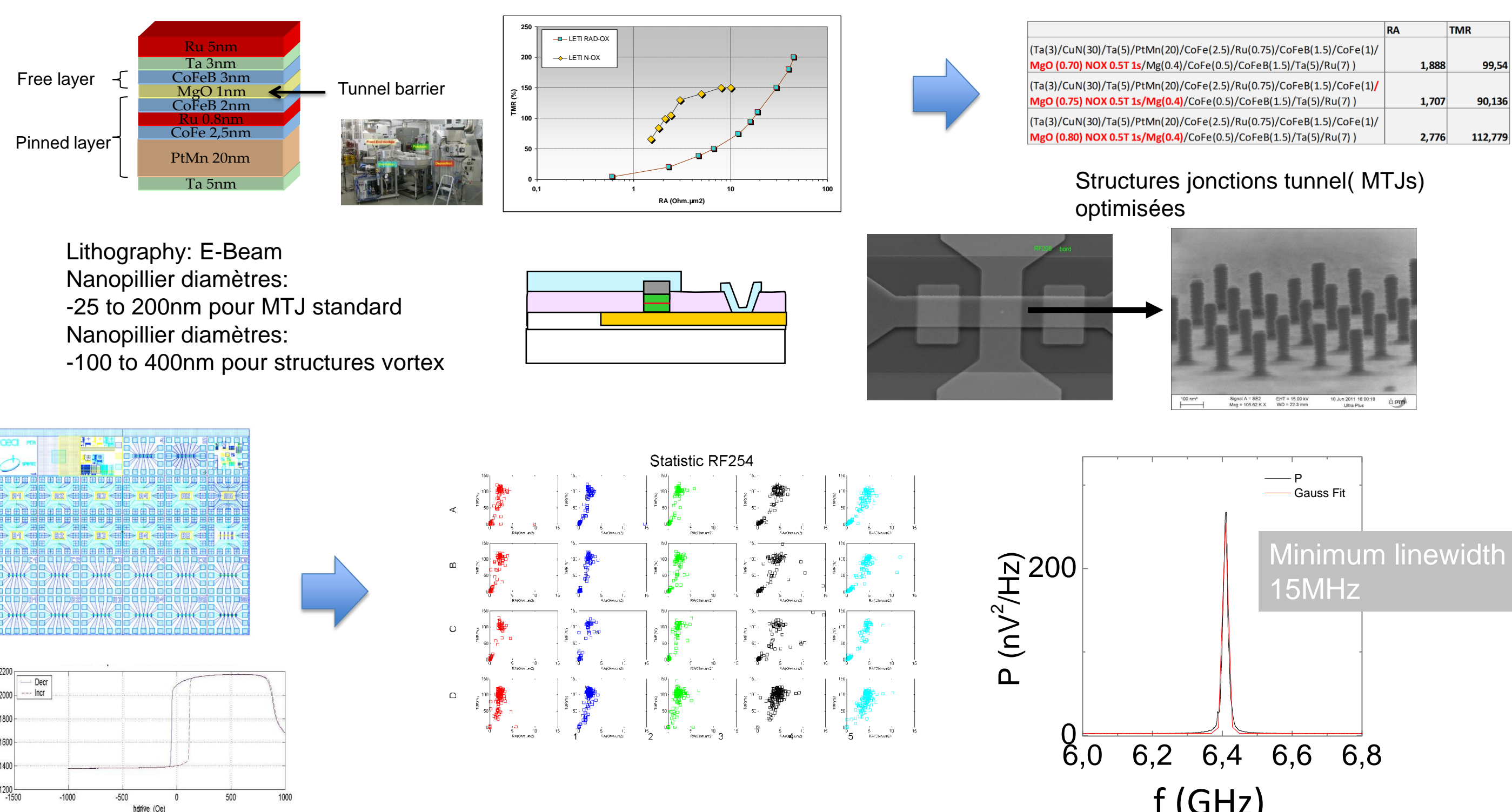
- Oscillateurs non-linéaires ( $I_{dc} \rightarrow V_{ac}$ )
- Forte accordabilité
- Emission directe aux fréquences télécom
- Composants fortement intégrables

#### Vers les applications... :

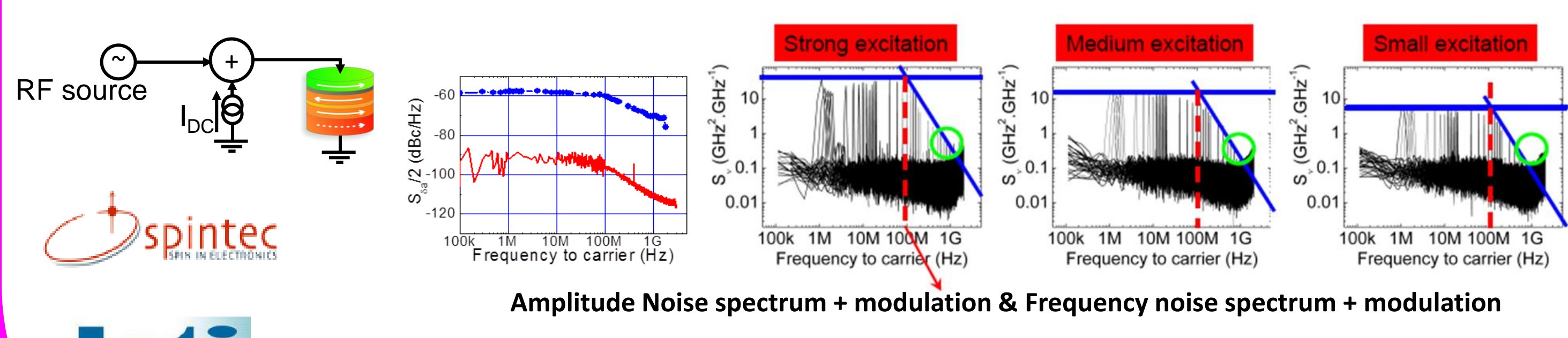
les améliorations nécessaires :

- Augmentation de la puissance
- Diminution du bruit de phase
- Diminution du courant critique
- Emissions possibles à champ nul

### Etudes Matériaux et Nanofabrication



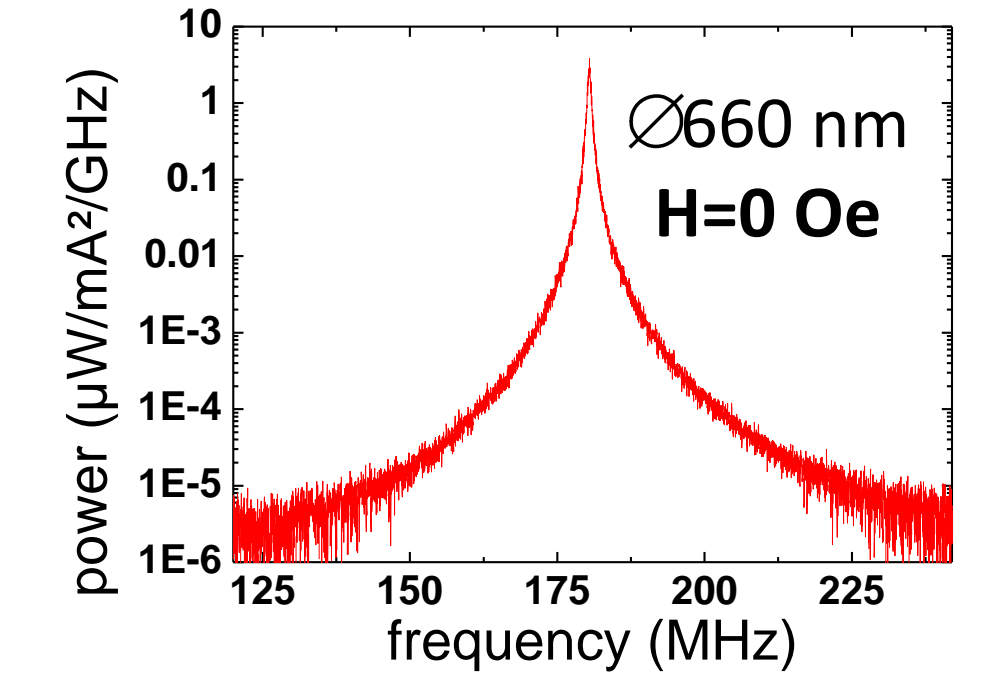
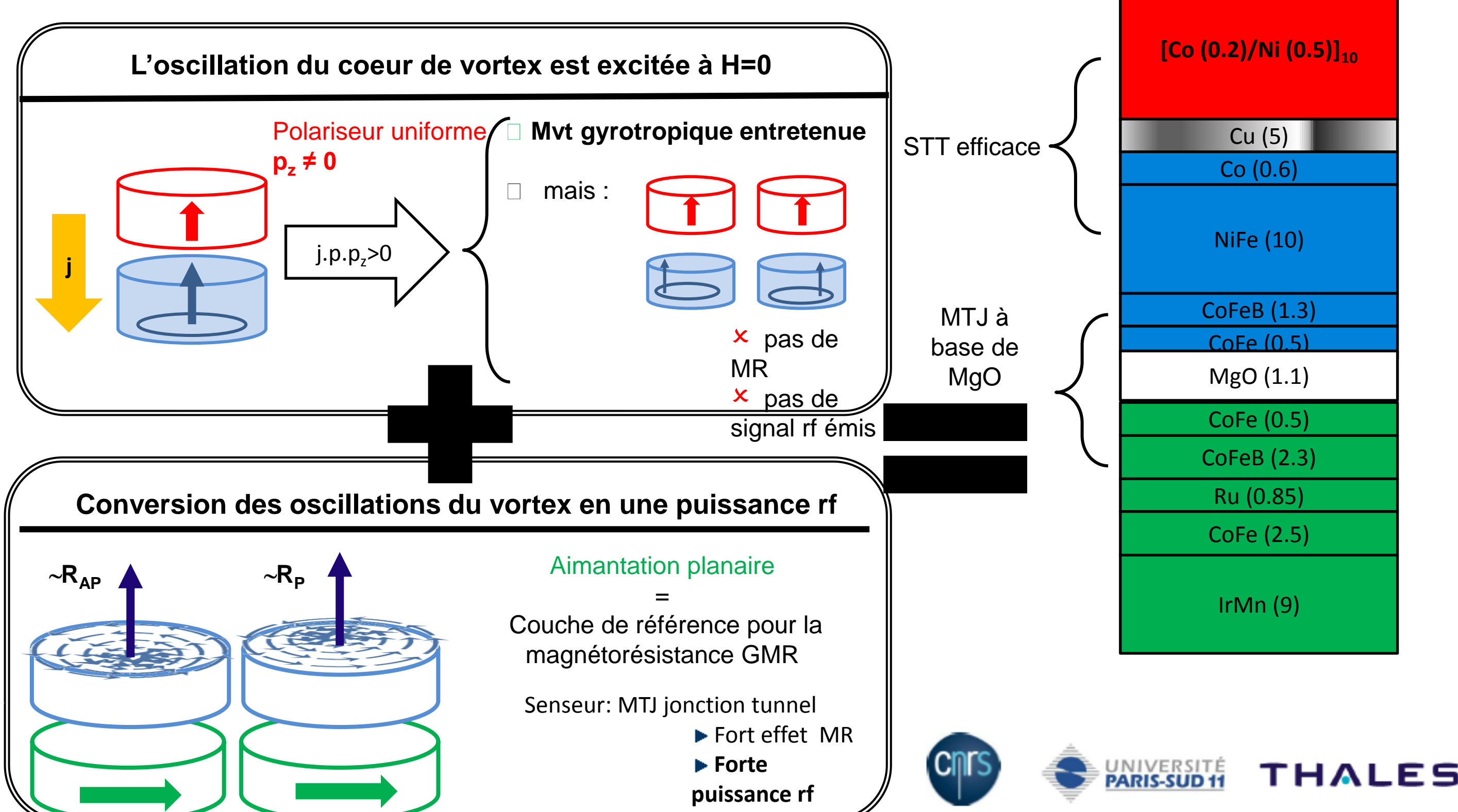
### Etudes de Modulation par courant RF



Roll off @  $G_p$  (amplitude relaxation rate)  
 $G_p$  caractérise l'Agilité en amplitude et via le couplage amplitude - phase, l'Agilité en fréquence.

### Etude de systèmes STNOs basés sur la dynamique de vortex magnétique

#### Structures STNO optimisées : hybride GMR/TMR

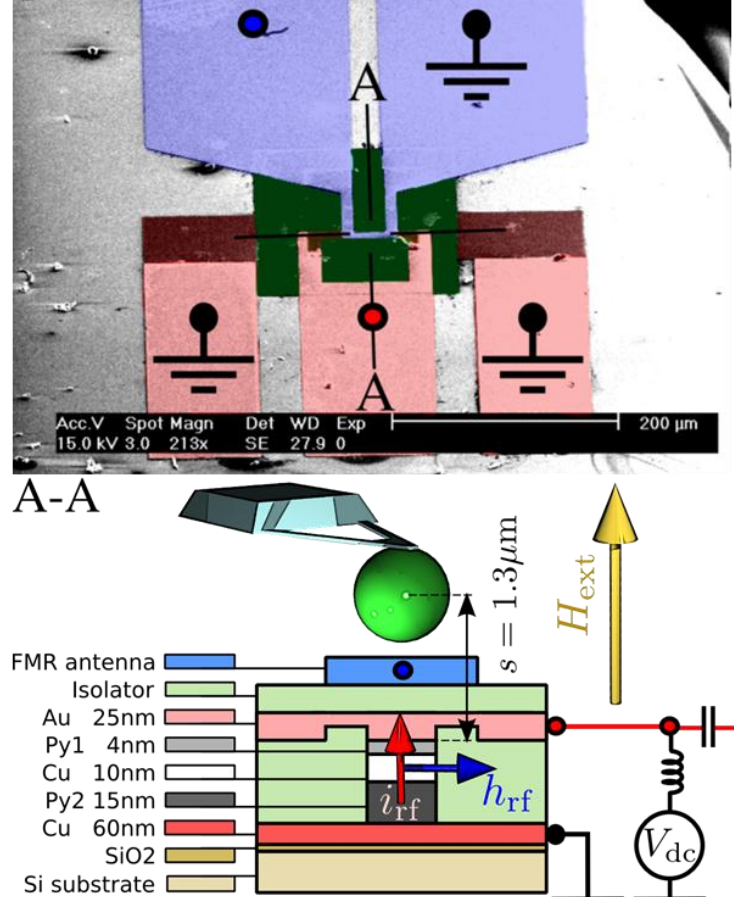


Fréquence	180 MHz
Largeur de raie	590 kHz
Puissance	0.6 μW

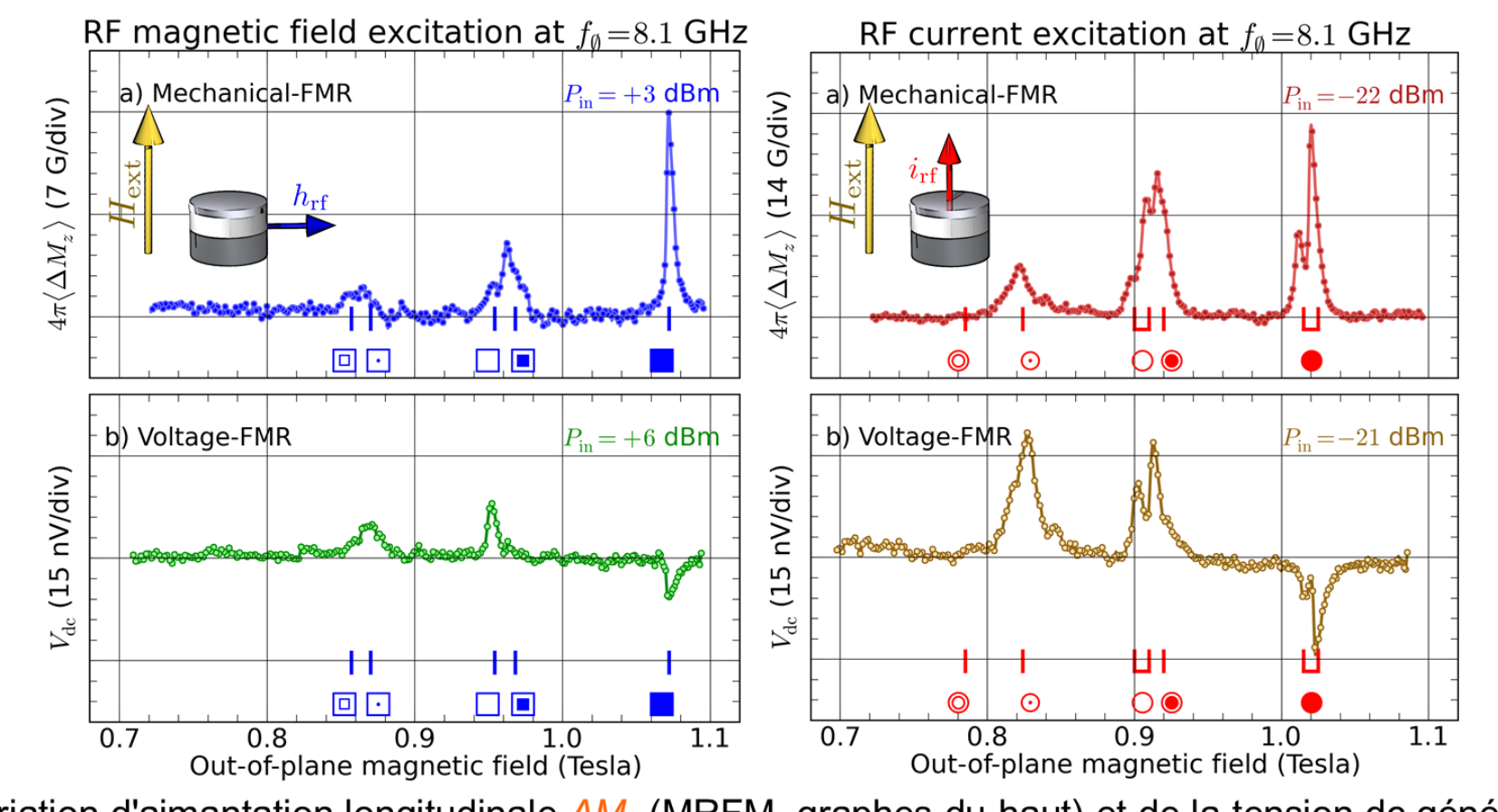
Meilleures caractéristiques rf obtenues pour des STNOs à H = 0

### Caractérisation d'un STNO par microscopie de force à résonance magnétique (MRFM)

#### Optimisation du design

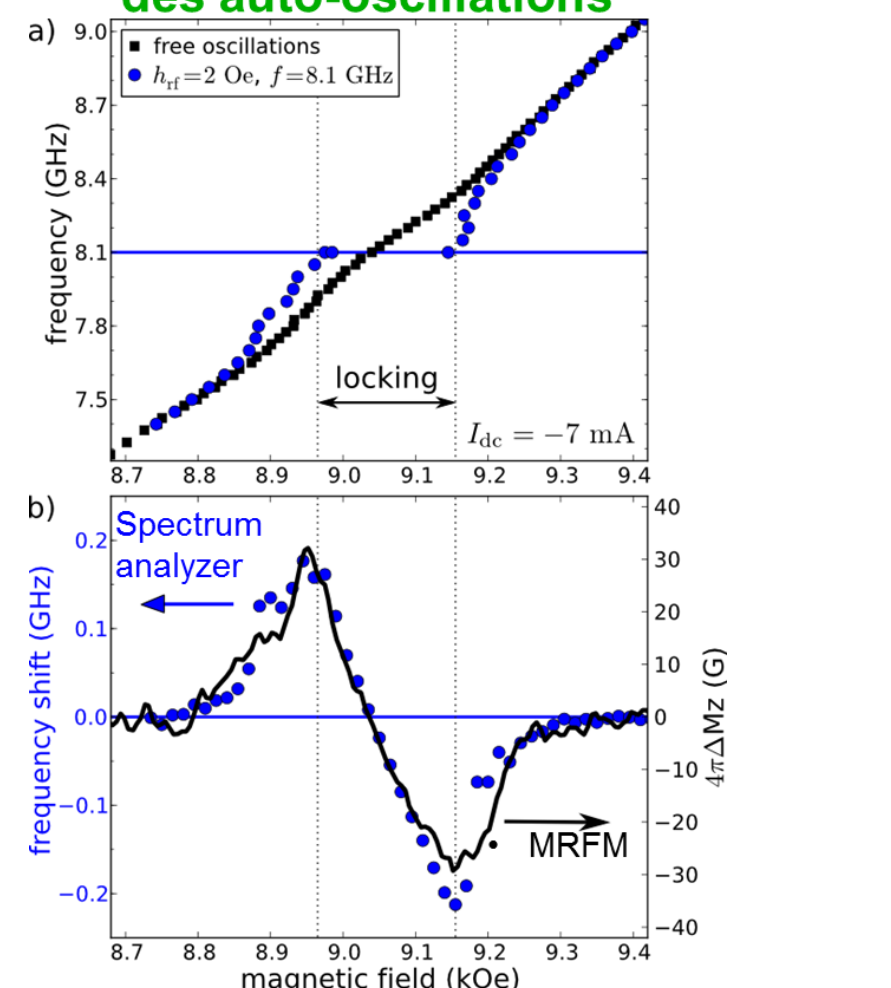


#### Règles de sélection et effet spin-diode



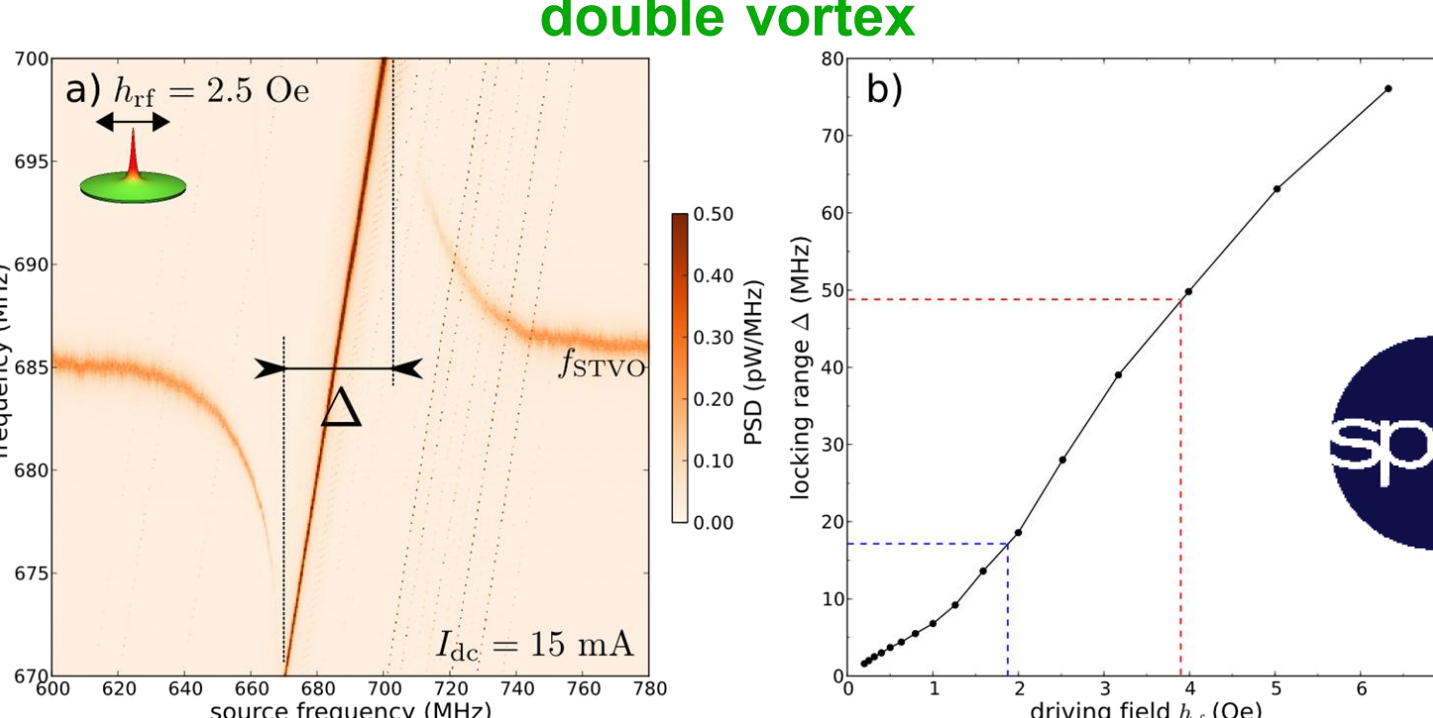
Variation d'aimantation longitudinale  $\Delta M_z$  (MRFM, graphes du haut) et de la tension dc générée aux bornes de l'échantillon  $V_{dc}$  (transport, graphes du bas) lorsque le STNO est excité par  $H_{rf}$  (à gauche) et par  $I_{dc}$  (à droite). L'identification des différents modes détectés par MRFM [V. Naletov et al., PRB 84, 224423 (2011)] permet de déterminer leurs règles de sélection (tâche 3.3). La tension dc générée par la précession dans les 2 couches de Py du nano-pilier est opposée : couche épaisse,  $V_{dc} < 0$ , couche fine,  $V_{dc} > 0$ . C'est une signature de l'effet spin-diode, qui est un effet de rectification RF-DC produit par l'accumulation de spin aux interfaces (tâche 3.5). L'amplitude de l'effet en fonction du courant de injecté dans le STNO a également été mesurée.

#### Synchronisation des auto-oscillations



Le mode qui auto-oscille dans la couche fine est identifié par MRFM : c'est le mode uniforme [A. Hamadeh et al., PRB 85, 140408 (2012)]. Pour des raisons de symétrie, seul  $H_x$  permet de le synchroniser. Les mesures MRFM et de transport haute fréquence, qui sont en accord quantitatif (locking range ~ 400 MHz) le démontrent (tâche 3.2).

#### Synchronisation des auto-oscillations dans l'état double vortex



Ce même échantillon étudié par MRFM dans l'état saturé perpendiculaire présente un état « double vortex » à rémanence (les 2 couches de Py sont dans l'état vortex). Dans ce cas, il est possible d'exciter par transfert de spin un mode basse fréquence (~ 700 MHz) de très faible largeur de raie (~ 100 kHz) correspondant à un mode gyrotrope collectif des 2 vortex [N. Locatelli et al., APL 98, 062501 (2011)].

Tâche 3.2 : De même que dans l'état saturé, seul le champ micro-onde  $H_x$  généré par l'antenne permet de synchroniser les auto-oscillations dans l'état double vortex (a). De façon remarquable, le locking range peut atteindre 10 % de la fréquence d'auto-oscillation pour des amplitudes modérées de la source,  $H_x \sim 7$  Oe (b). L'étude approfondie de ce phénomène est en cours dans le cadre du projet Spinnova.

Production scientifique  
1 article de revue (Phys. Rev B.), 10 communications en conférence dont 8 invitées

#### Remerciements



CONTACT: marie-claire.cyrille@cea.fr

