

Quantum and spin-based nanoelectronics

Partenaires

- » Institut d'Electronique Fondamentale
- » Laboratoire de Photonique et Nanostructures
- » CEA-IRAMIS@NanoINNOV
- » CEA-IRAMIS@Saclay
- » Laboratoire d'Intégration des Systèmes et des Technologies
- » Institut de Chimie Moléculaire et des Matériaux d'Orsay
- » Unité Mixte de Physique CNRS Thales
- » Laboratoire de Physique de la Matière Condensée
- » Laboratoire des Solides Irradiés
- » Laboratoire de Physique des Solides
- » Ecole Centrale Paris
- » Thales Research & Technology



Approches stratégiques

Quatre approches stratégiques sélectionnées pour leurs potentialités à répondre aux défis suivants :

- Réduction significative de la consommation des dispositifs
- Aborder de nouveaux concepts de dispositif et/ou d'architecture de calcul

- 1) Un nouveau composant pour le nanodesign : les memristors**
- 2) Nanocomposants spintroniques à très faible consommation**
- 3) Spintronique moléculaire**
- 4) Nanoelectronique de charge - transport quantique**

Approches stratégiques

Quatre approches stratégiques sélectionnées pour leurs potentialités à répondre aux défis suivants :

- Réduction significative de la consommation des dispositifs
- Aborder de nouveaux concepts de dispositif et/ou d'architecture de calcul

- 1) Un nouveau composant pour le nanodesign : les memristors**
- 2) Nanocomposants spintroniques à très faible consommation**
- 3) Spintronique moléculaire**
- 4) Nanoelectronique de charge - transport quantique**

Budget (k€)

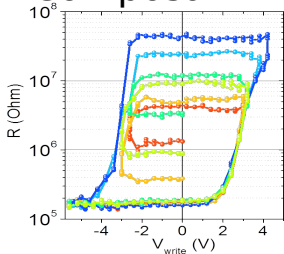
	2013	2014	2015	2016	Total
memristors			90	60	150
Composants spintroniques			90	60	150
Spintronique Moléculaire	60	60	30		150
Nanoélectronique		90	60		150
travel			8		8
International standing		40	40	40	120
workshop	50			50	100
Total	110	190	318	210	828

Axe 1: memristors

du composant au réseau de neurone artificiel

Implication de plusieurs groupes en physique (CNRS/Thales, CEA-IRAMIS), et en circuits et conception de systèmes (IEF, CEA-LIST, Labex Nanodesign).

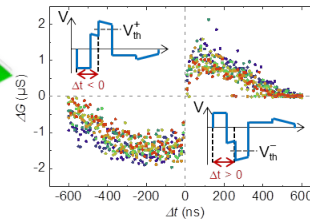
Composant memristor: plusieurs réalisations



Memristor ferroélectrique
Memristor spintronique
Jonctions tunnel magnétiques stochastiques
Memristors OxRAM et organiques



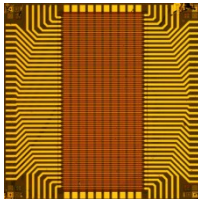
Synapse: apprentissage et mémoire



démonstration
expérimentale de lois
d'apprentissage non-
supervisé

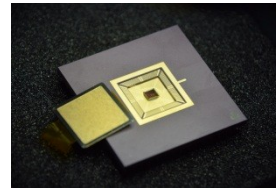
Crossbar:

Lithographie
de réseau
denses
synaptiques



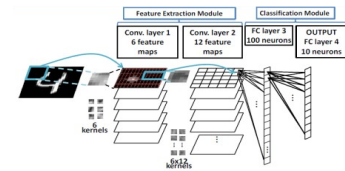
Circuits:

Réalisation de réseaux
de neurones CMOS
adaptés aux
spécificités des
memristors



Simulations grande échelle:

Théorie des circuits de neurones
Performances applications réelles



Perspectives: apprentissage autonome dans un réseau de neurone hardware combinant neurones CMOS et réseaux synaptiques memristifs

2 post-doc fin 2014

Spin-Transfer Torque Magnetic Memory as a Stochastic Memristive Synapse for Neuromorphic Systems
Vincent, A.F. et al; IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems, 9, 166 (2015)

Variability-tolerant Convolutional Neural Network for Pattern Recognition Applications based on OxRAM Synapses, Variability-tolerant Convolutional Neural Network for Pattern Recognition Applications based on OxRAM Synapses

D. Garbin, IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM), 2014 E International Electron Devices Meeting (IEDM), 2014

Plasticity in memristive devices for spiking neural networks, Sylvain Saïghi, et al, Frontiers in neuroscience, 9 (2015)

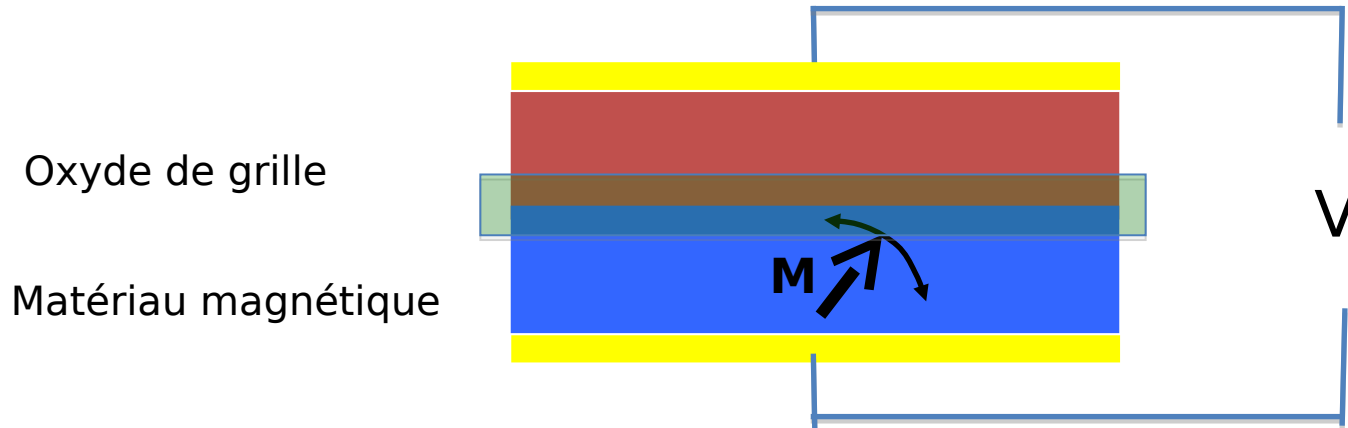
Axe 2 : Nanospintronique

Vers des composants spintroniques à ultra basse consommation

- Institut d'Electronique Fondamentale
- UMR Thales CNRS
- CEA-SPEC
- Ecole Polytechnique
- Laboratoire de Physique des solide
- Ecole Centrale Paris
- Laboratoire photonique et Nanostructures

Effet du champ électrique dans des structures Metal/Oxyde/Ferromagnetique

But utiliser le champ électrique pour manipuler le spin



Oxyde de grille

- Dielectrique : effet de charge
- Piezoelectrique : effet de contrainte

Matériaux magnétiques

- Métaux
- Semiconducteurs

- 3 postdocs fin 2014
- preuves de concept d'effet du champ électrique mesurés
- 1 LIA CNRS avec les US (UCLA)
- 1 ANR et 2 EU proposals soumis

RO Cherifi et al, Electric field control of magnetic order above room temperature, Nature Materials 13, 345 (2014)
W.Lin et al, Electric field control of DW motion in CoFeB-MgO films with perpendicular anisotropy, under consideration in Nat Communication (2015)

Axe 2 : Nanospintronique

Voir exposé de Fouad Maroun :

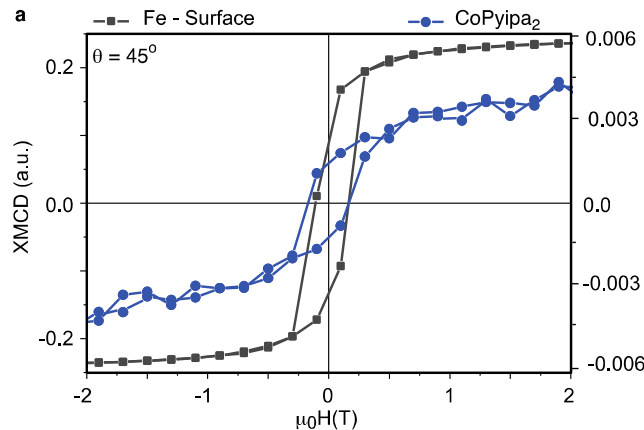
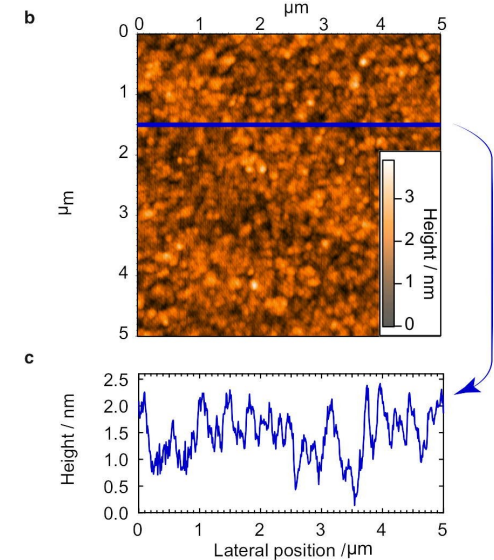
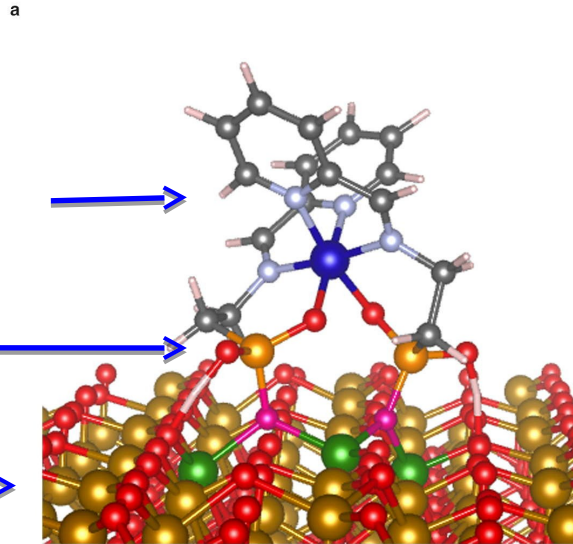
Influence du champ électrique sur l'interaction
Dzyaloshinskii-Moriya dans les couches
ferromagnétiques ultraminces

Axe 3 : Spintronique moléculaire

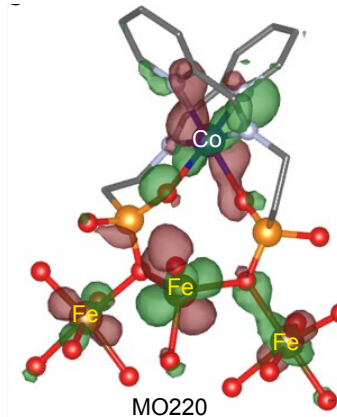
Co^{II}_molécule magnétique

greffé **chimiquement** par
phosphonate sur

111 epitaxial **Fe₃O₄**



Hysteresis from XMCD on Co and Fe L_{2,3} edges
showing Co/ligand/Fe₃O₄ ferromagnetic coupling



Orbital pathway for the ferro-
magnetic coupling on the interface

Axe 4 : Nanoélectronique de charge

Communauté forte et bien organisée (GdR méso et GdR Nanofils), forte interaction avec PALM

De nombreux laboratoires sont impliqués :

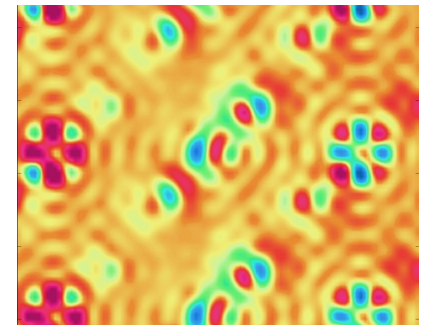
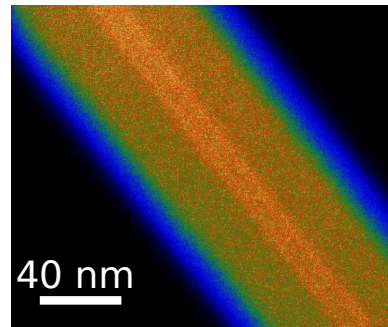
- » Institut d'Electronique Fondamentale
- » Laboratoire de Photonique et Nanostructures
- » CEA-IRAMIS@Saclay
- » Unité Mixte de Physique CNRS Thales
- » Laboratoire de Physique de la Matière Condensée
- » Laboratoire de Physique des Interfaces et Couches Minces
- » Laboratoire des Solides Irradiés
- » Laboratoire de Physique des Solides

Des systèmes phares :

Nanofils semiconducteurs

Nanodispositifs à base de carbone

Théorie&modélisation



Nous avons privilégié l'aide aux plateformes : **2014 ALD**

Nanoélectronique de charge : FIB Hélium

Objectif : développer la nanofabrication sub 10nm en utilisant un nouvel équipement FIB Hélium. Lithographie sub 10nm, dépôt localisé sans pollution, nano-usinage, microscopie.

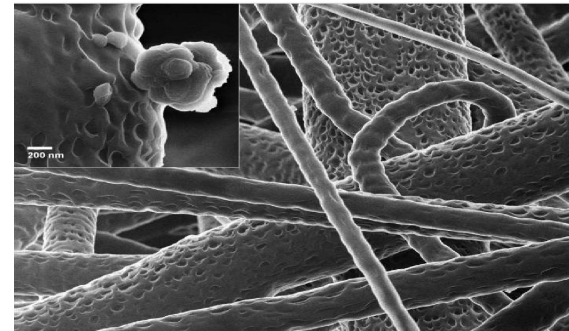
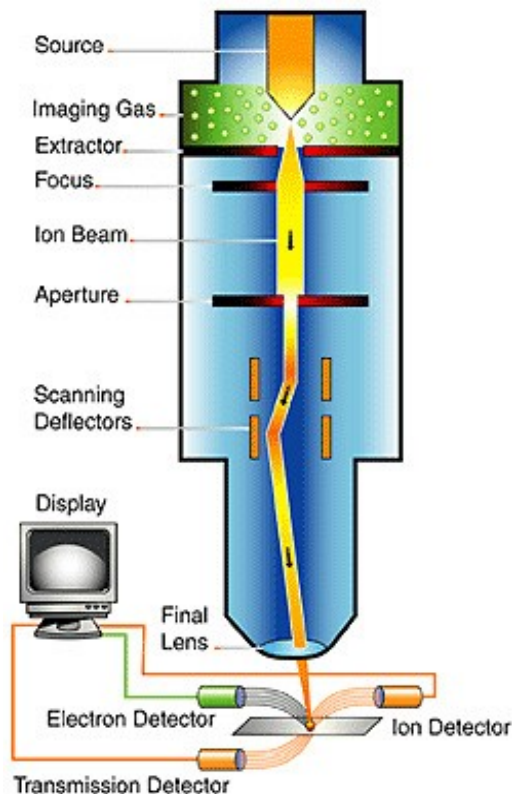
Partenaires : LPS, CEA - IRAMIS

Équipement

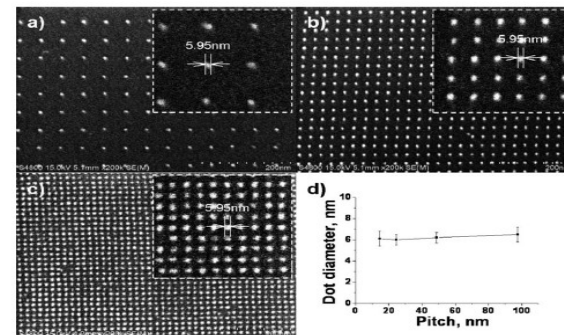
Système Orion de Zeiss. Sonde FIB Hélium de diamètre $< 1\text{nm}$. Aucun appareil encore en France. Sera installé dans la salle blanche du LPN \rightarrow C2N afin de bénéficier de l'infrastructure.

Financement :

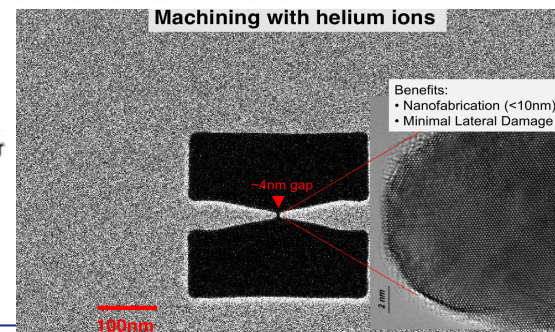
INP+ CEA+UPSud+ NanoSaclay+PALM + DIM NanoK



imagerie



lithographie



usinage

Actions vers la visibilité à l'internationale

AAP international standing

Chercheurs invités :

- Massiliano VENTURA fev/mars 2015 IEF/CEA
- Alex ZUNGER sept 2014 Upsud, X, ECP

Soutiens aux conférences :

- Colloque Franco-Tunisien Nanomatériaux Hammamet fev 2015
- Symposium OMNT sur les matériaux 2D Paris mai 2015
- European Theoretical Spectroscopy Facility
conférence jeunes chercheurs Paris juin 2015
- ICON2 :International Conference on Novel Nano-Materials
engineering and Properties SOLEIL sept 2015

Petit déjeuner avec les industriels :

PSA

Thalès

EDF

Horiba

MBDA-System

SODERN

SAGEM

ALTIS-semiconducteur

BOWEN