

# 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€)

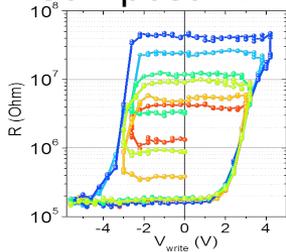
	2013	2014	2015	2016	Total
memristors			90	60	150
Composants spintroniques			90	60	150
Spintronique Moléculaire	60	60	30		150
Nanoélectronique		90	60		150
travel			8		8
International standing		40	40	40	120
workshop	50			50	100
Total	110	190	318	210	828

# 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).

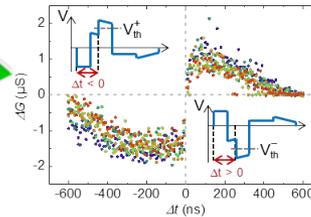
Composant memristor: plusieurs réalisations



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



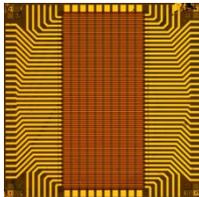
Synapse: apprentissage et mémoire



démonstration expérimentale de lois d'apprentissage non-supervisé

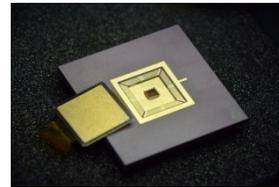
Crossbar:

Lithographie de réseau denses synaptiques



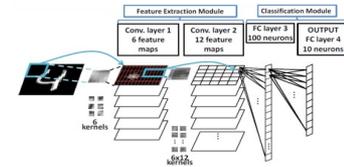
Circuits:

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)

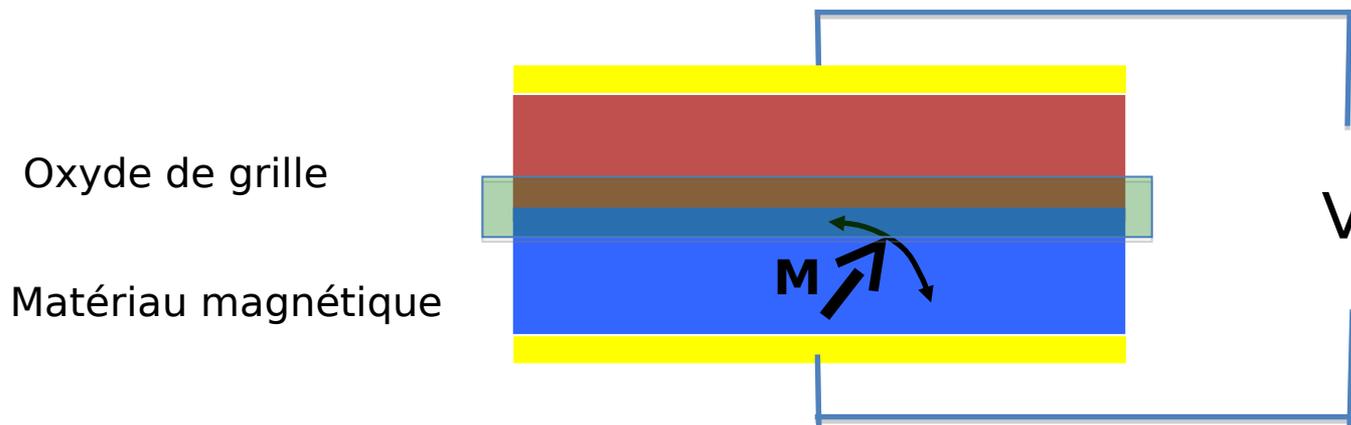
# Axe 2 : Nanospintronique

## 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/Ferromagnétique

**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)

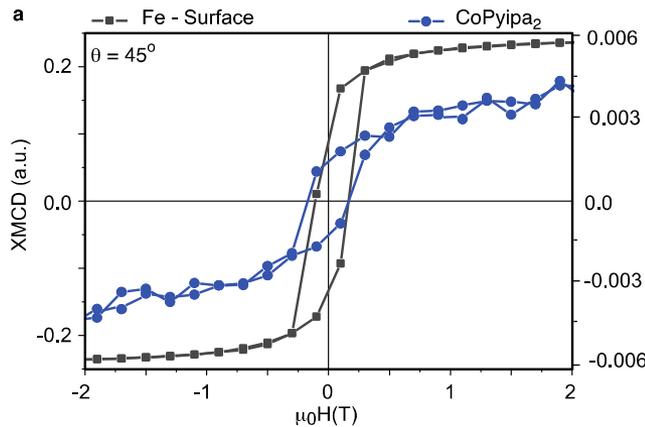
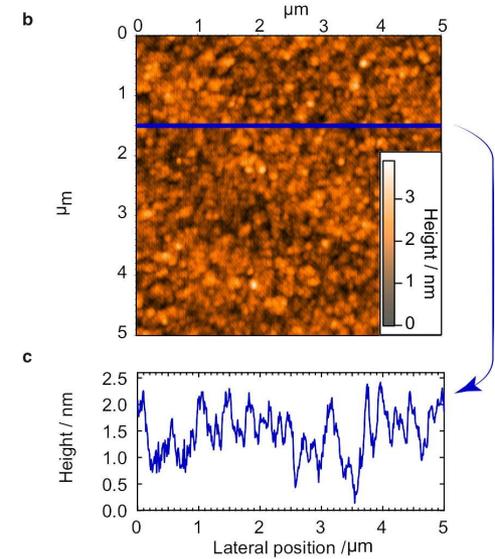
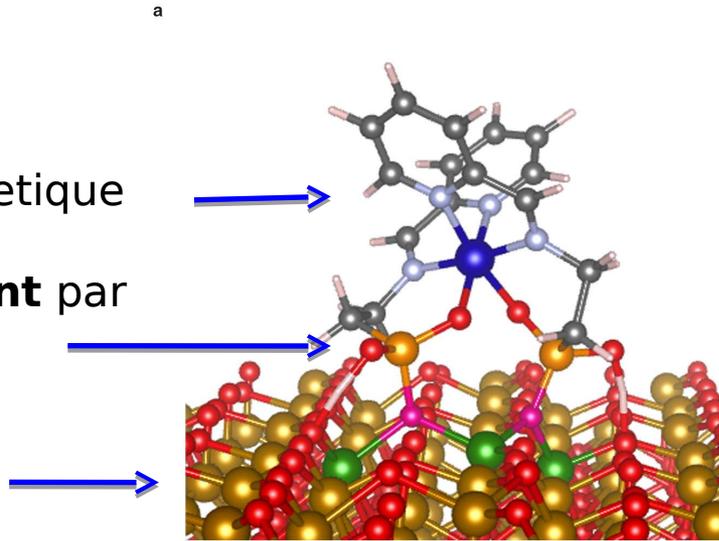
# Axe 2 : Nanospintronique

Voir exposé de Fouad Maroun :

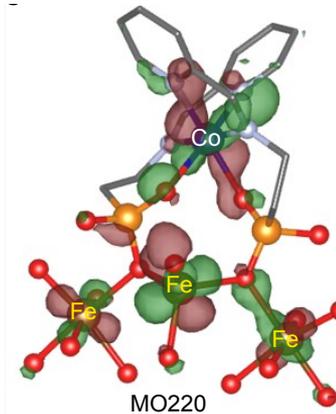
Influence du champ électrique sur l'interaction  
Dzyaloshinskii-Moriya dans les couches  
ferromagnétiques ultraminces

# Axe 3 : Spintronique moléculaire

Co<sup>II</sup>\_molécule magnétique  
 greffé **chimiquement** par  
 phosphonate sur  
 111 epitaxial Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>



Hysteresis from XMCD on Co and Fe L<sub>2,3</sub> edges showing Co/ligand/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ferromagnetic coupling



Orbital pathway for the ferromagnetic 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 :

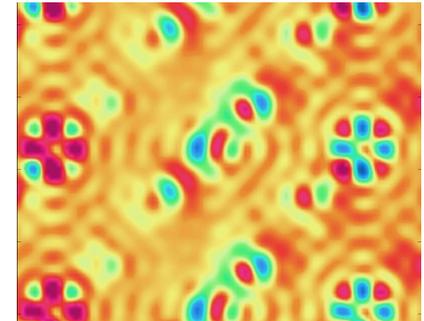
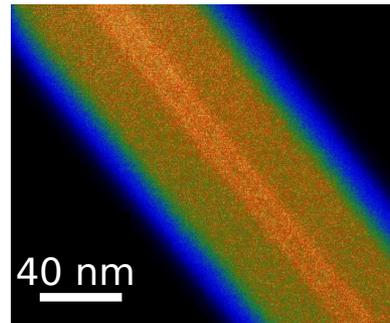
- » Institut d'Electronique Fondamentale
- » Laboratoire de Photonique et Nanostructures
- » CEA-IRAMIS@Saclay
- » Unité Mixte de Physique CNRS Thales
- » Laboratoire de Physique de la Matière Condensée
- » Laboratoire de Physique des Interfaces et Couches Minces
- » Laboratoire des Solides Irradiés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

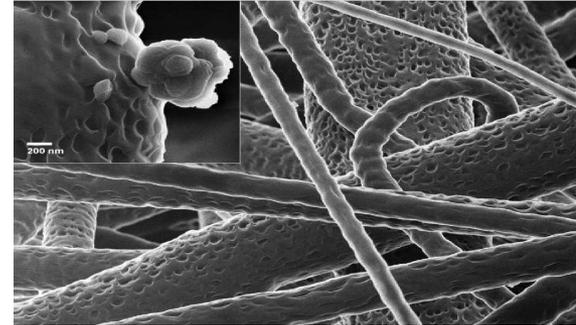
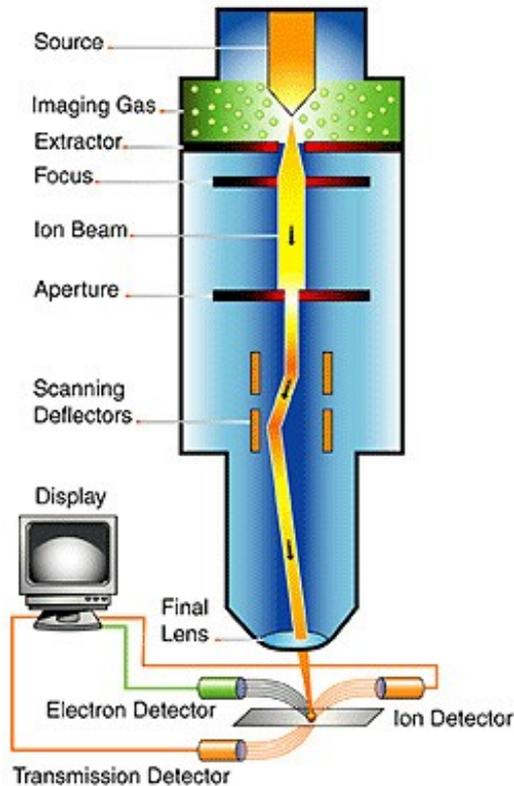
**Partenaires :** LPS, CEA - IRAMIS

## Équipement

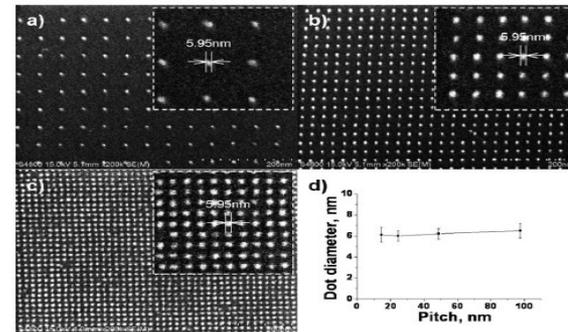
Système Orion de Zeiss. Sonde FIB Hélium de diamètre  $< 1\text{nm}$ . Aucun appareil encore en France. Sera installé dans la salle blanche du LPN  $\rightarrow$  C2N afin de bénéficier de l'infrastructure.

## Financement :

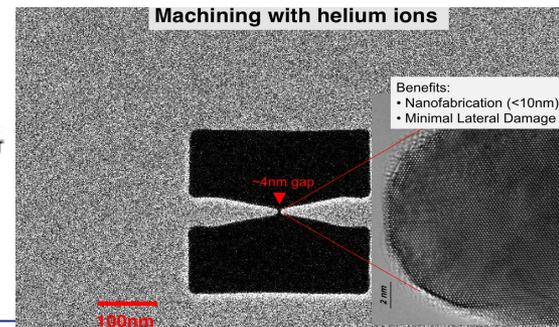
INP+ CEA+UPSud+ NanoSaclay+PALM + DIM NanoK



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