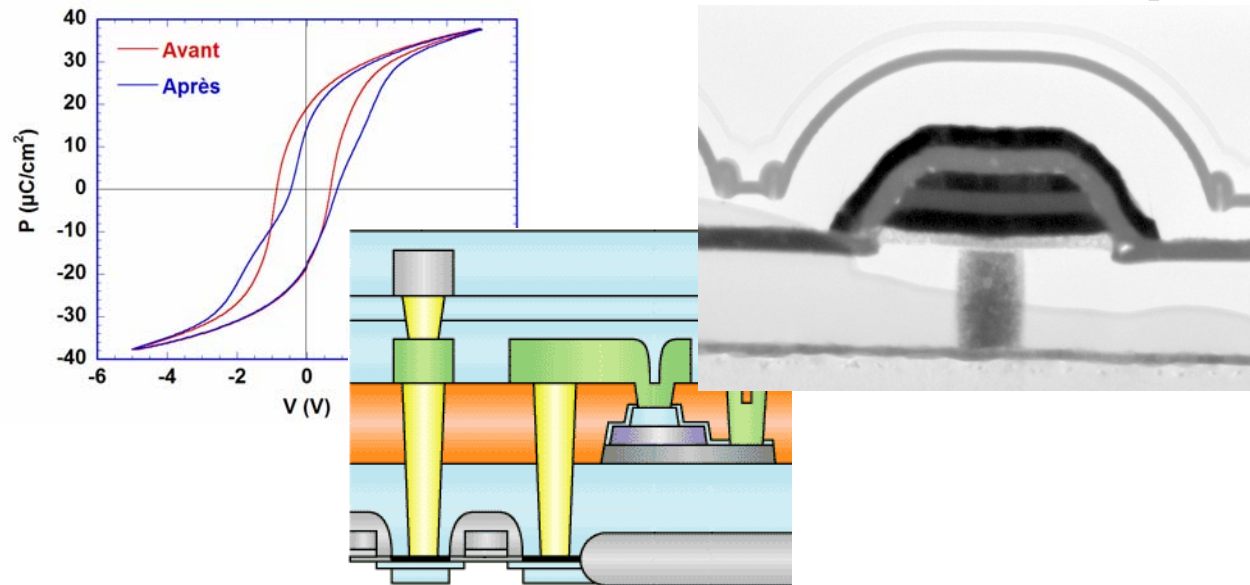


# Rencontres LLB – Soleil

Saint-Aubin – 2 et 3 mars 2006

**Diagnostic non destructif de mémoires non volatiles :  
association des techniques synchrotron micro-faisceau  
 $\mu$ XRF et  $\mu$ XRD**



**Ch. Muller**

**L2MP, Equipe "Mémoires"**

**"Mémoires à Matériaux Avancés"**

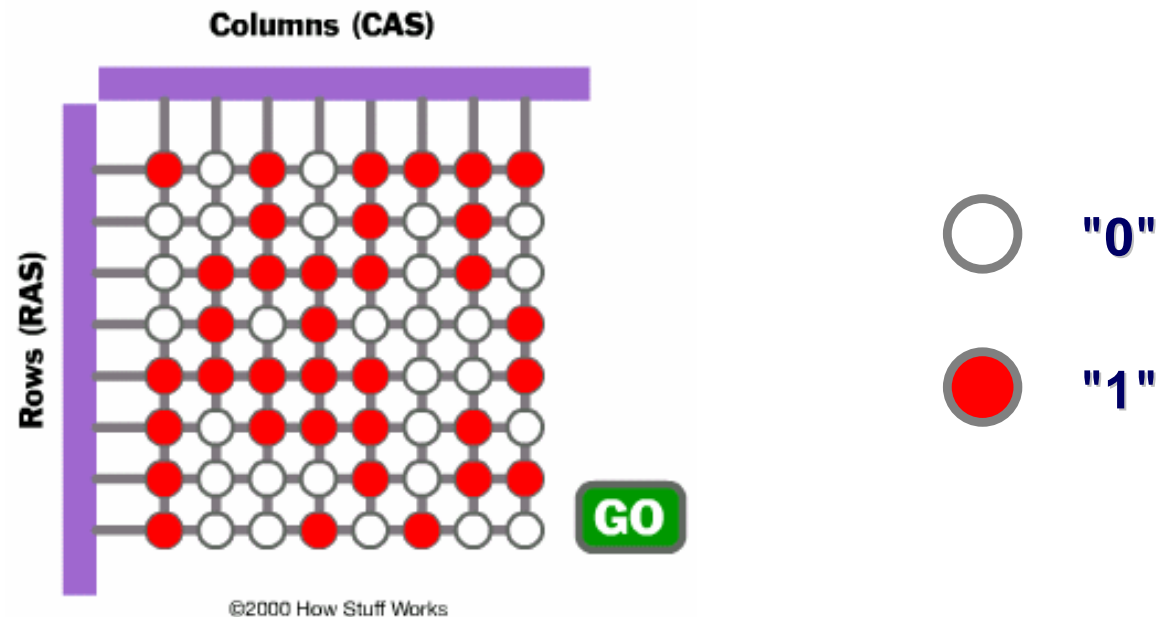
*e-mail: christophe.muller@l2mp.fr*

# *Mémoires non volatiles*

## *"FeRAM"*

# Qu'est-ce qu'une mémoire ?

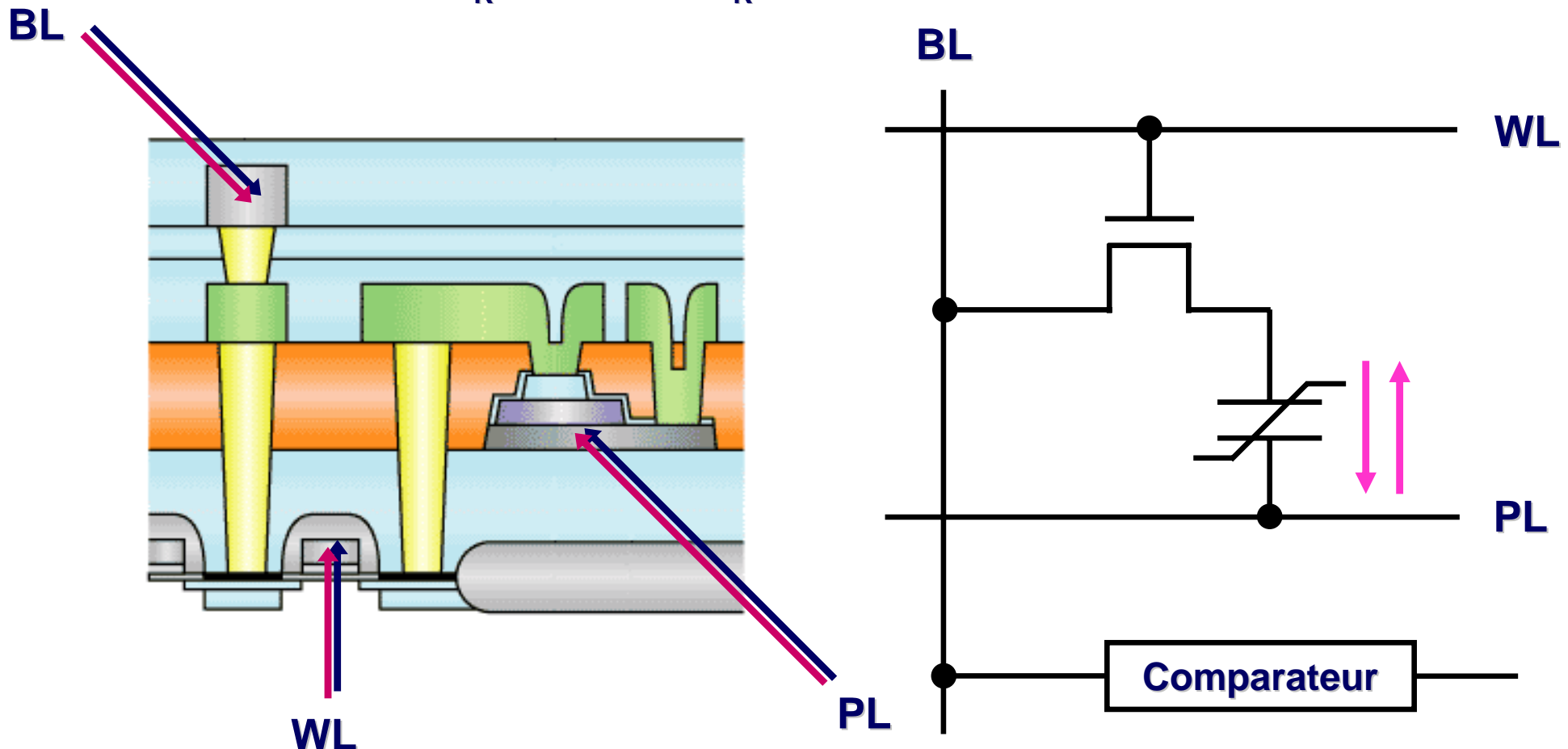
- Réseau 2D de lignes (Word Line = WL) et de colonnes (Bit Line = BL)
- Une cellule mémoire à chaque intersection (1 bit)
- Sélection d'une ligne et d'une colonne pour écrire une donnée



*Non volatilité ?*

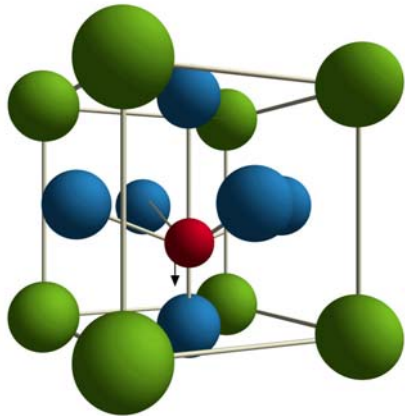
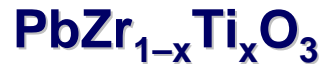
*Donnée enregistrée même lorsque le dispositif est mis hors tension*

- FeRAM = Ferroelectric Random Access Memory
- Architecture similaire à celle d'une DRAM
  - Élément de stockage = condensateur ferroélectrique intégré
  - Deux états de polarisation distincts
    - ✓ "0" =  $+P_R$  et "1" =  $-P_R$

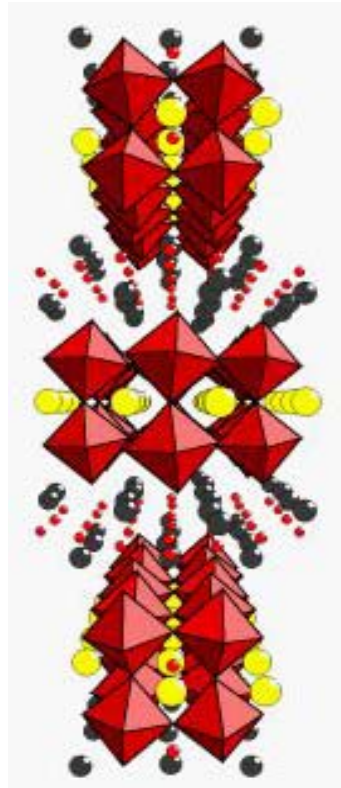


# Matériaux ferroélectriques intégrés

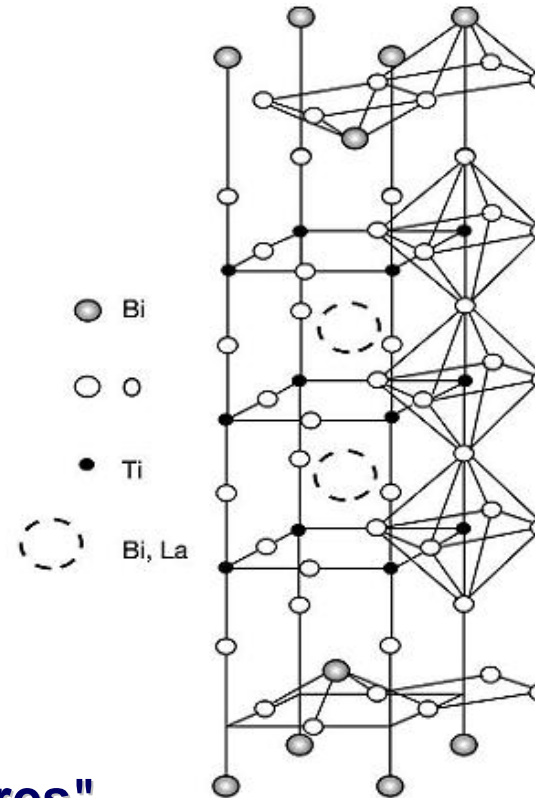
**PZT**



**SBT**

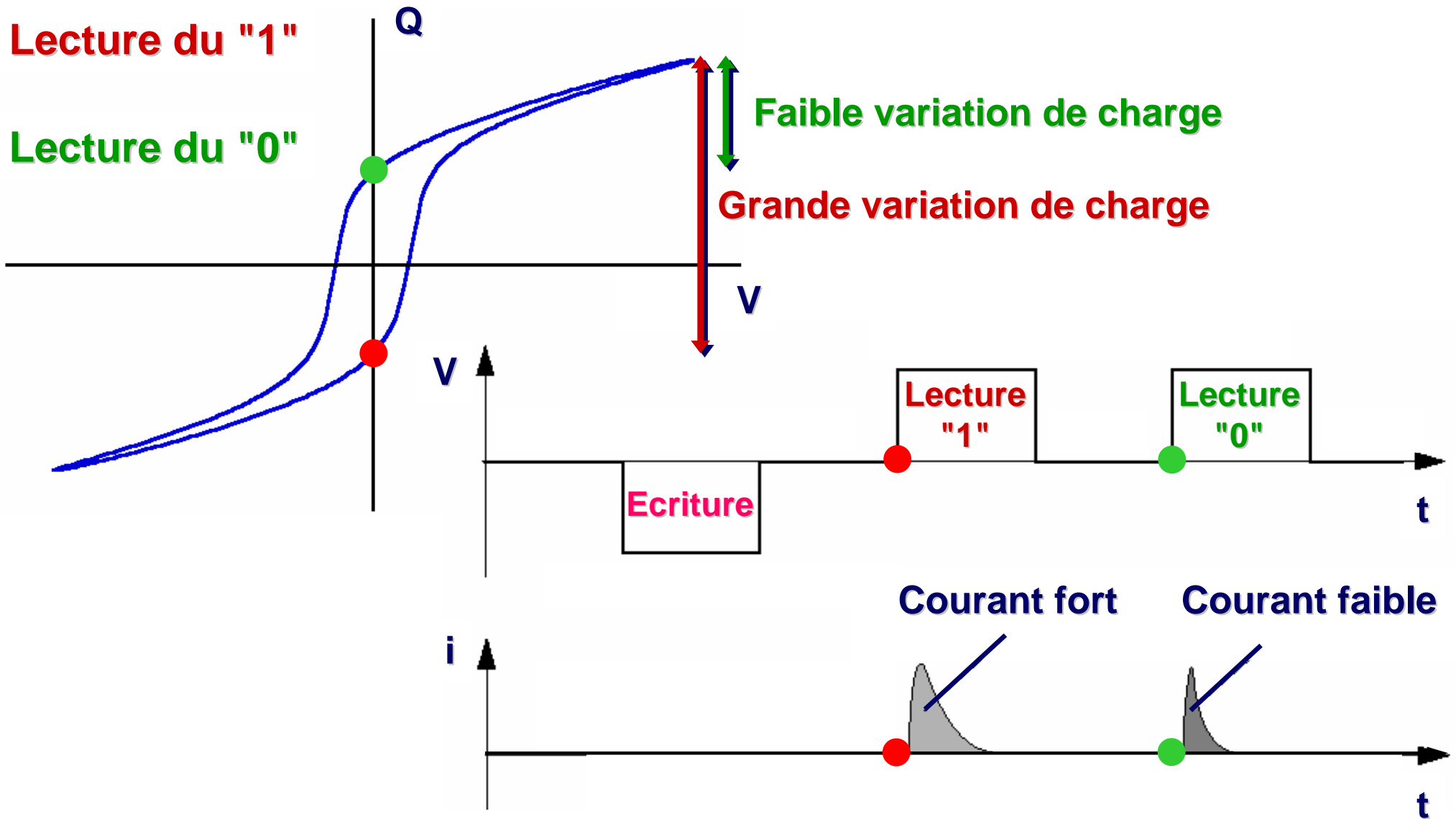


**BLT**



- Challenges pour les applications "mémoires"
  - Faible tension coercitive (écriture)
  - Forte polarisation rémanente (lecture)
  - Faible dégradation électrique (fiabilité du composant)

# Lecture d'une cellule FeRAM

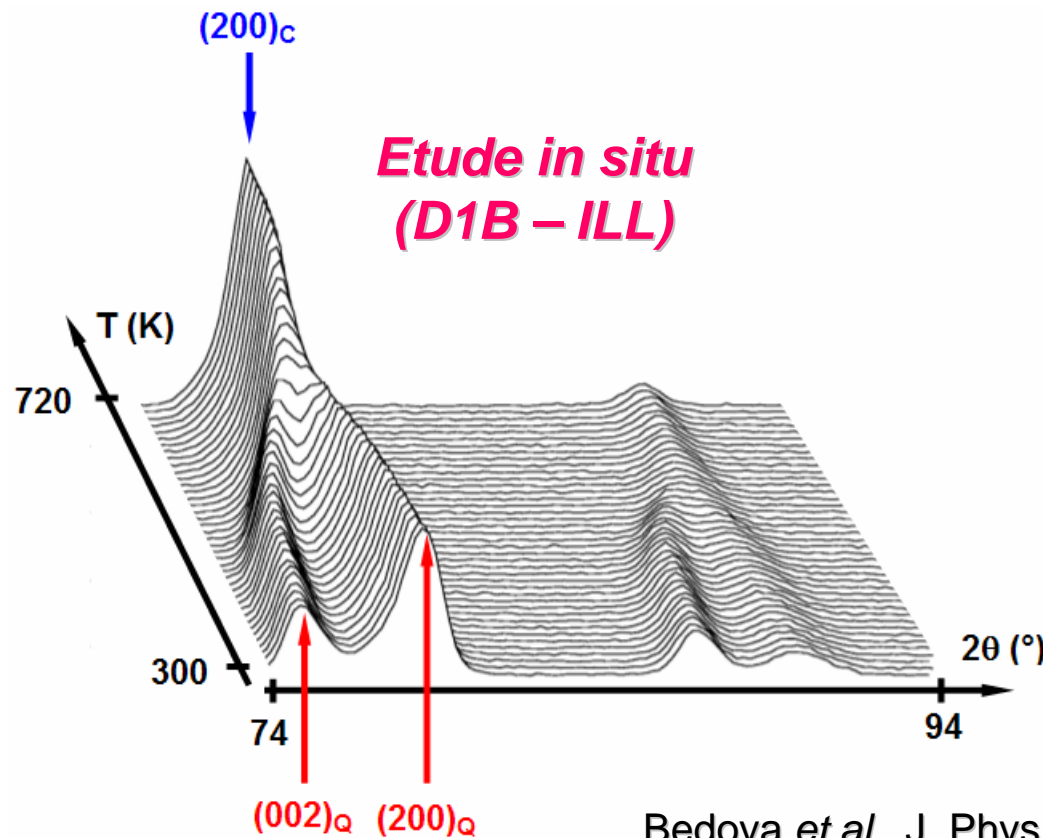


# *Les neutrons sont-ils "utiles" dans cette problématique ?*

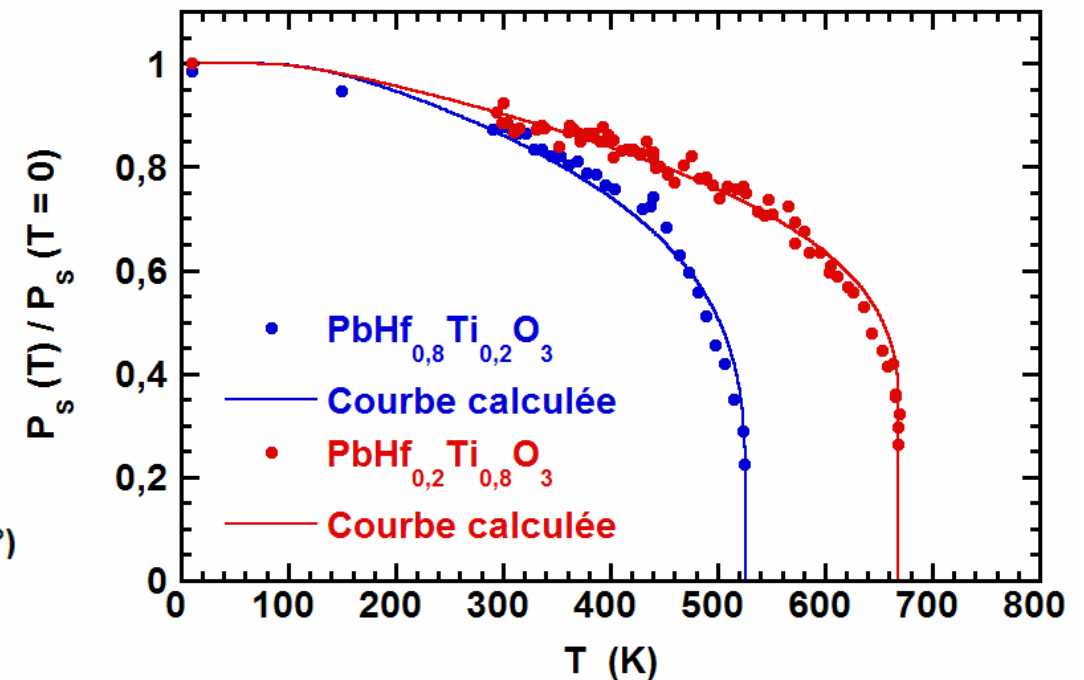


# Etudes "amont" : mécanismes de transition de phase

- Transitions de phase dans les structures perovskite ferroélectriques
  - Dépendance en température et en composition
- Diffraction de neutrons donne accès aux...
  - Déplacements cationiques
  - Distorsion et/ou rotation des octaèdres d'oxygène



## Paramètre d'ordre de polarisation



Bedoya *et al.*, J. Phys. Condens. Matter, vol. 13, no. 30, p. 6453-6470, 2001

Muller *et al.*, Acta Cryst. B, vol. 56, p. 27-38, 2000



# *Problématique*

## *Intérêt du rayonnement synchrotron*

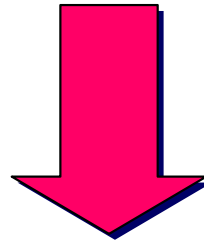
**Test  
électrique**

**Analyse  
physique**

**Corrélation entre les  
caractéristiques  
électriques et  
microstructurales du  
condensateur**

**Outil de diagnostic non destructif  
⇒ Impact des étapes d'intégration**

## Objets technologiques de faibles dimensions

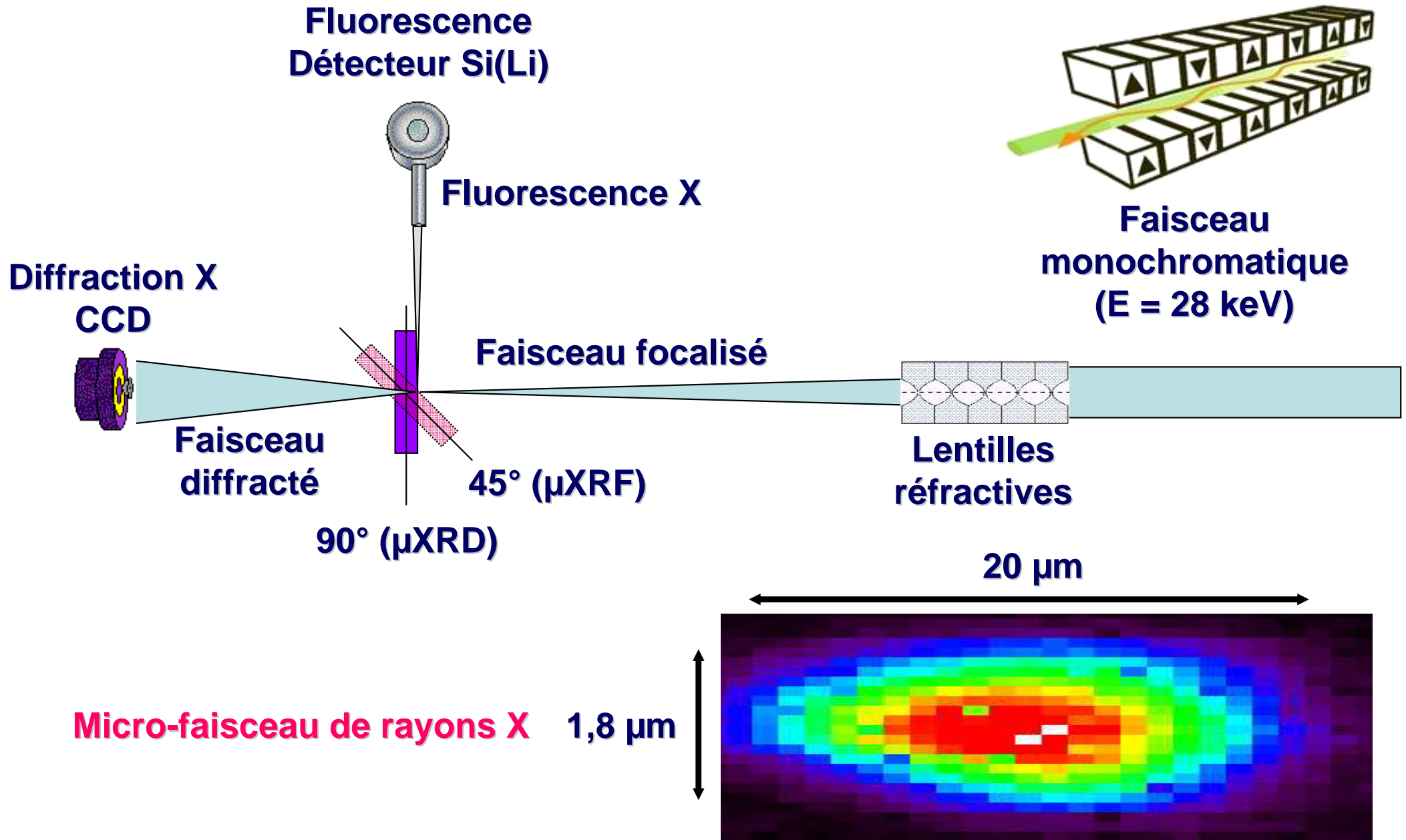


**Flux**

**Résolution**

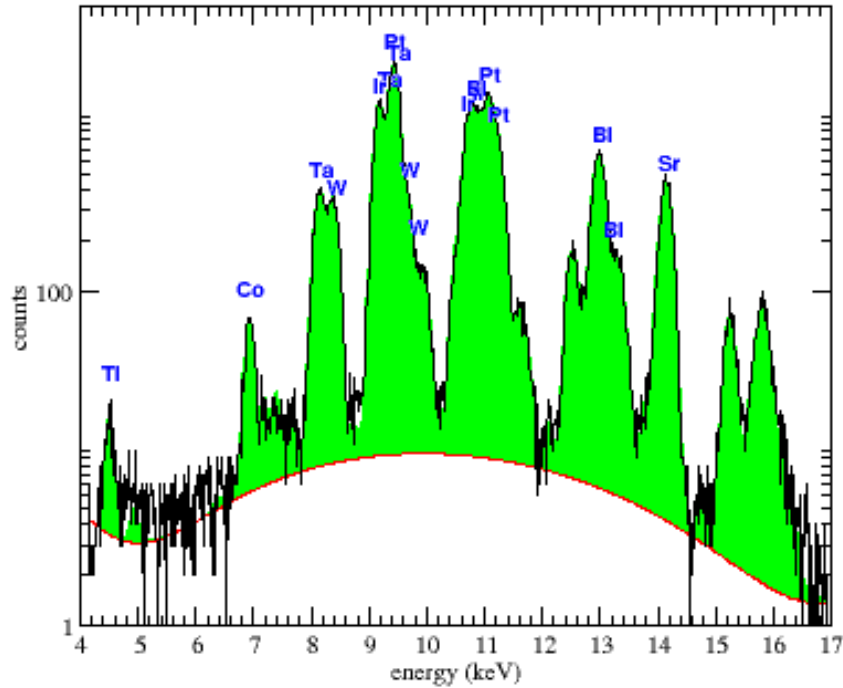
**Faisceau de petite dimension**

# Ligne ID18F (ESRF)



# *Diagnostic non destructif d'une mémoire FeRAM commerciale*

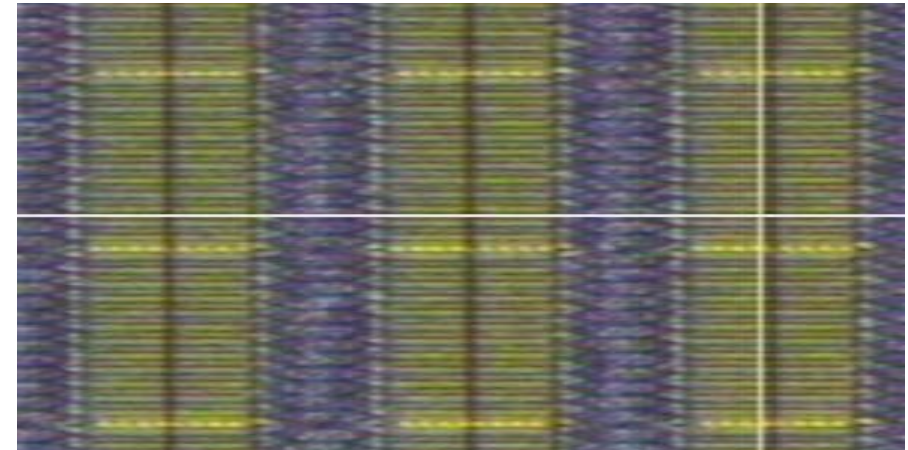
# Intégration des spectres de $\mu$ fluorescence



⇒ Cartographie chimique

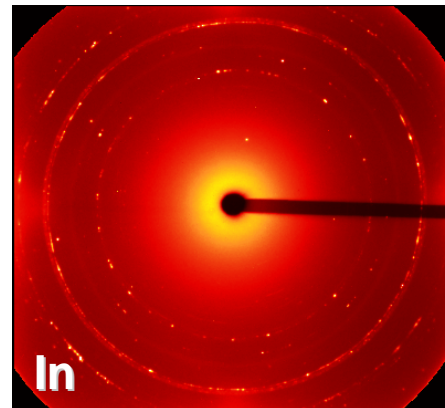
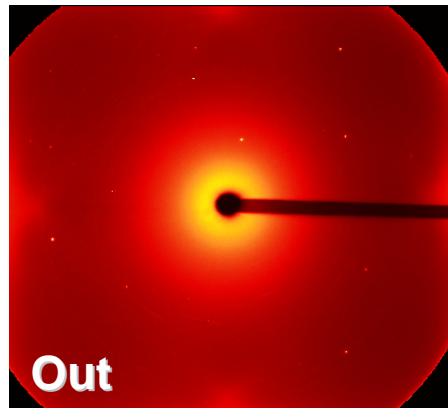
# $\mu$ XRF/ $\mu$ XRD couplées

20  $\mu$ m  
↓ 1,8  $\mu$ m

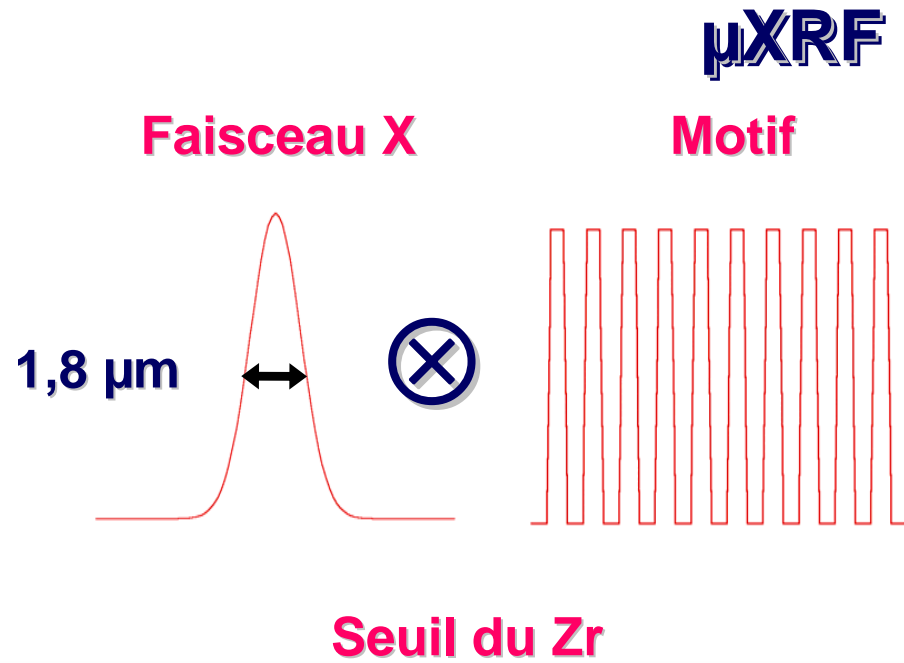
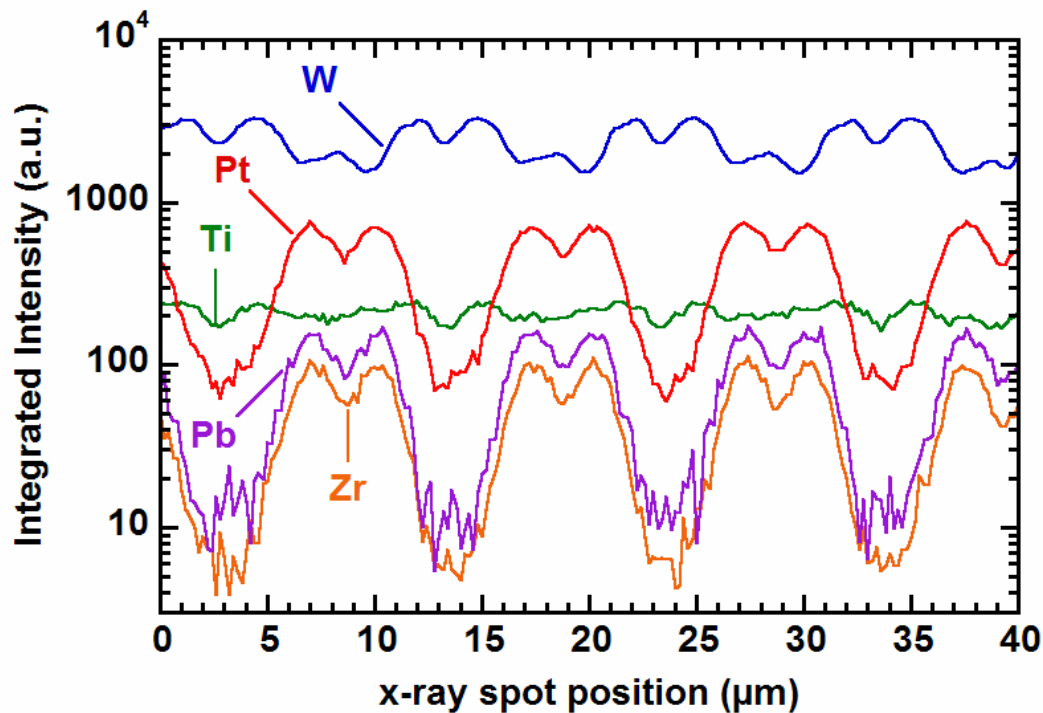


Scans par pas de 0,2  $\mu$ m

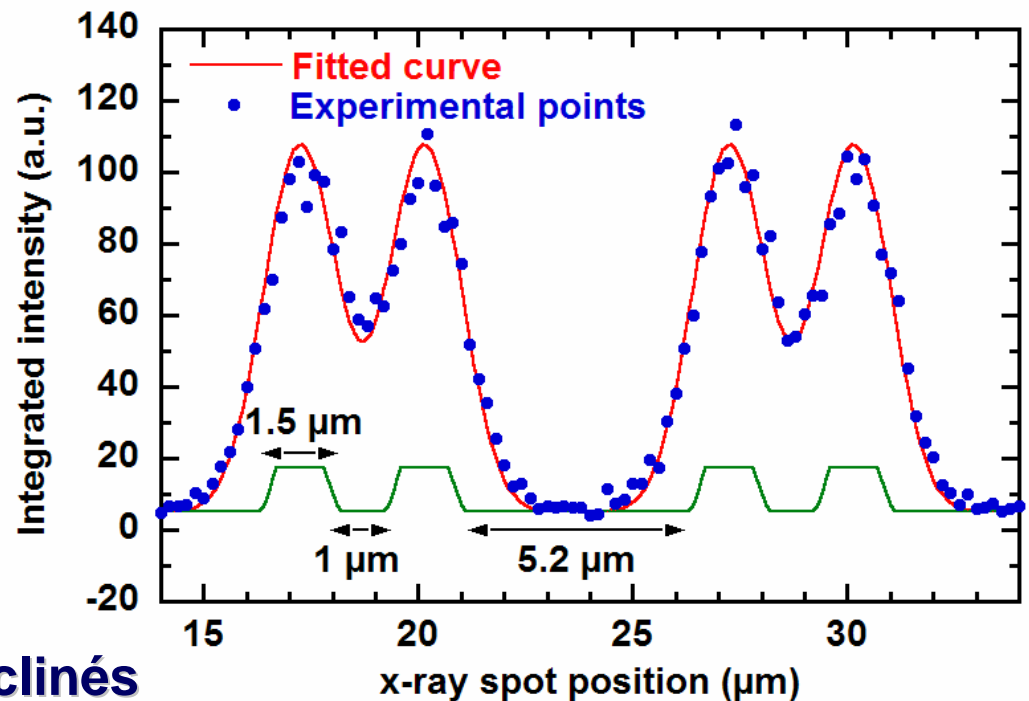
# Intégration des diagrammes de $\mu$ diffraction 2D



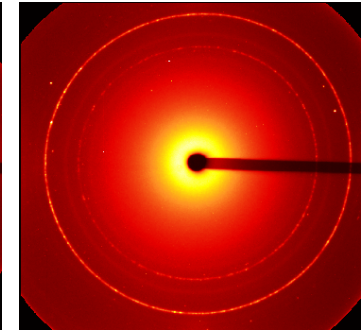
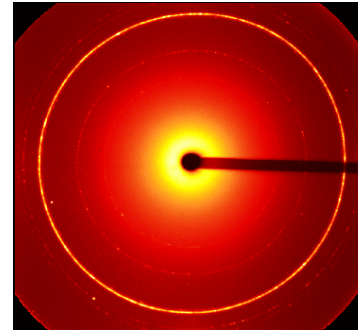
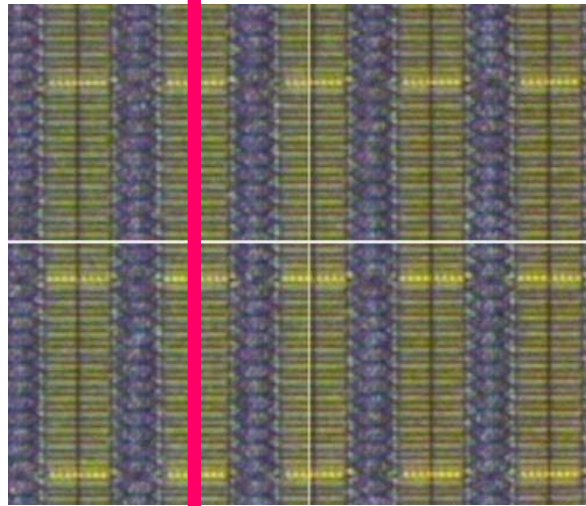
⇒ Cartographie cristallographique



- **Oscillations régulières**
  - **Composition contrôlée**
- **Taille du condensateur : 1,5 μm**
- **Distance entre 2 condensateurs consécutifs : 1 μm**
  - **Cellule mémoire 2T/2C**
- **Distance d'une cellule mémoire à l'autre : 5,2 μm**
- **Condensateur avec des bords inclinés**

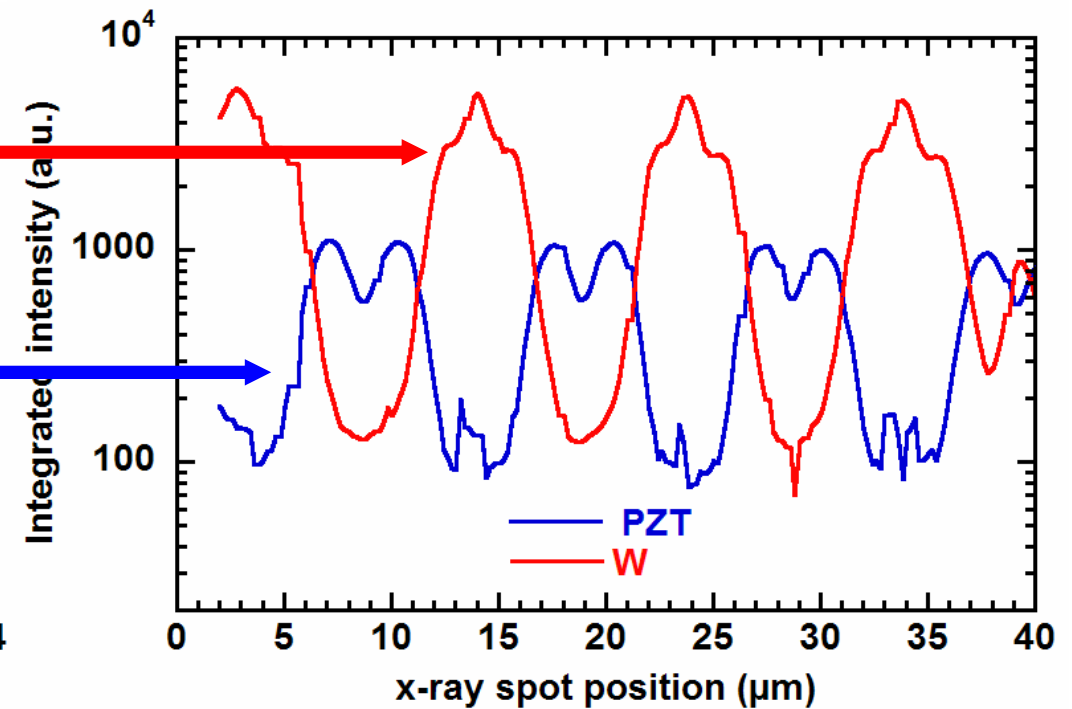
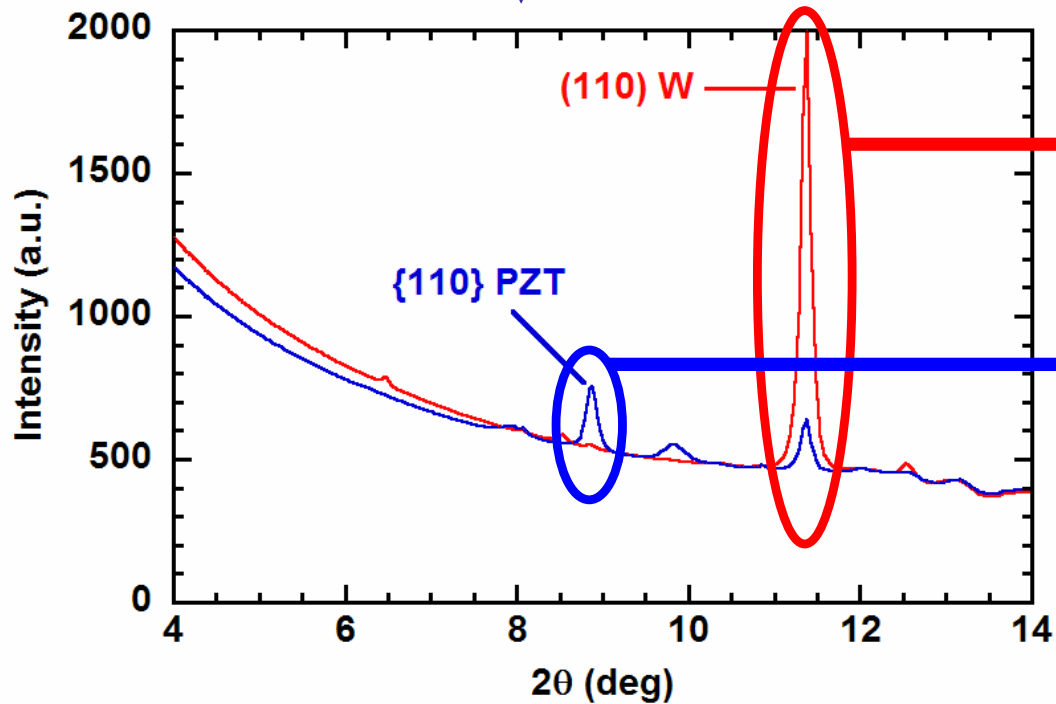




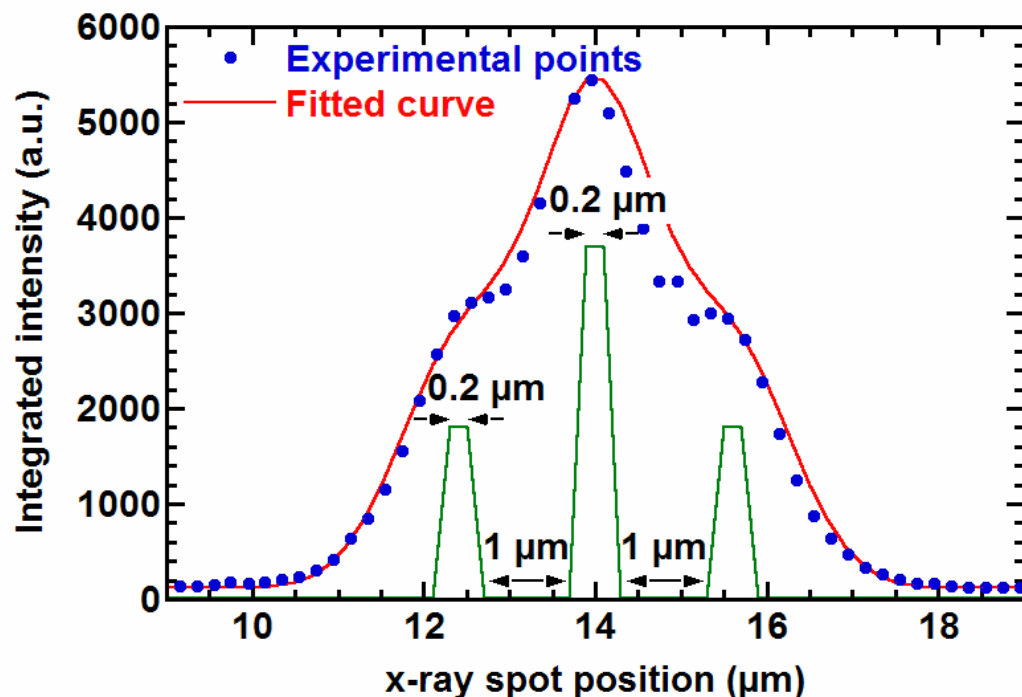


Intégration

Cônes de Debye  
⇒ Films polycristallins



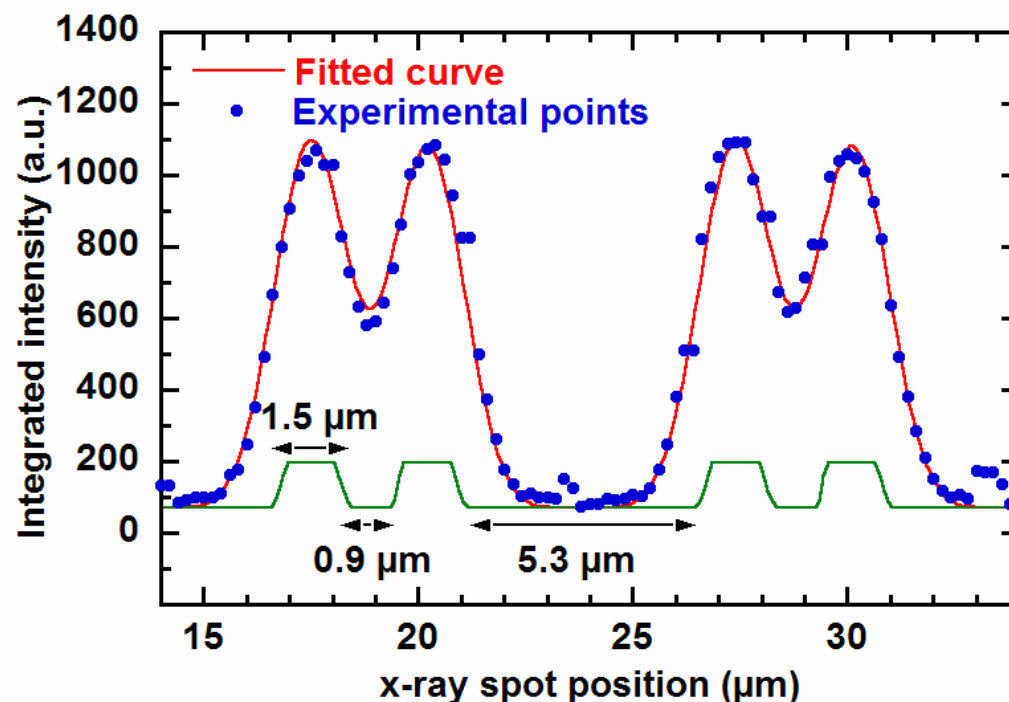
## Plugs de W



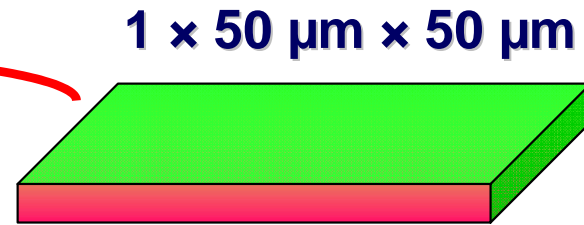
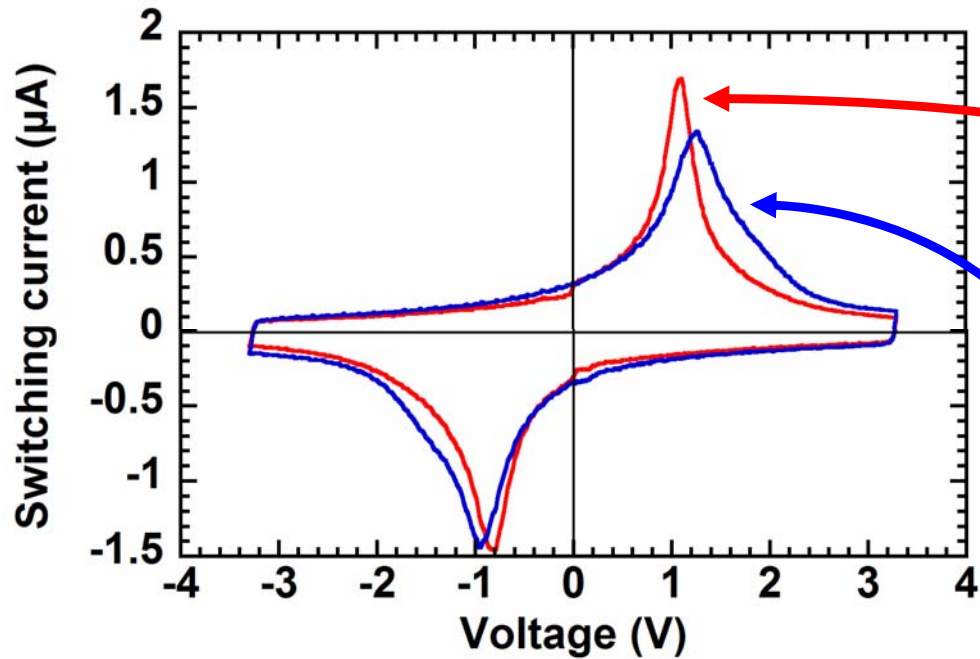
- Orientation du film de PZT bien maîtrisée d'un condensateur à l'autre
- Bon accord des dimensions entre μXRD et μXRF
- Bords de condensateur inclinés

- Alternance de plugs de W et de condensateurs dans la cellule
- Succession de 3 plugs de W distants de 1 μm
- Plug central = empilement vertical de 2 plugs

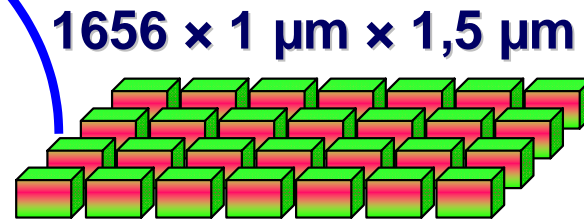
## PZT



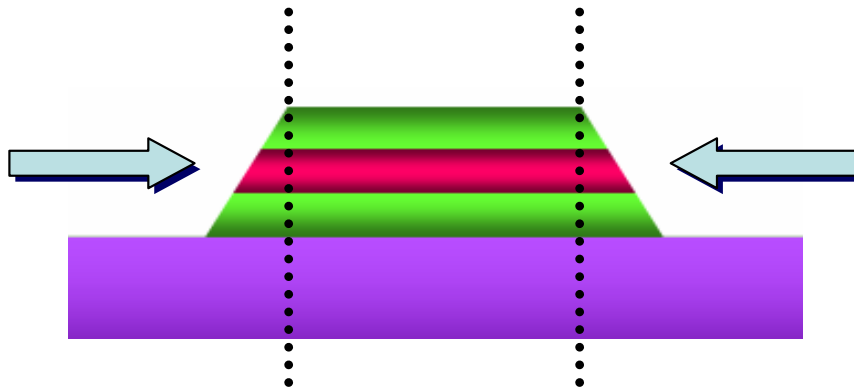
# Performances électriques



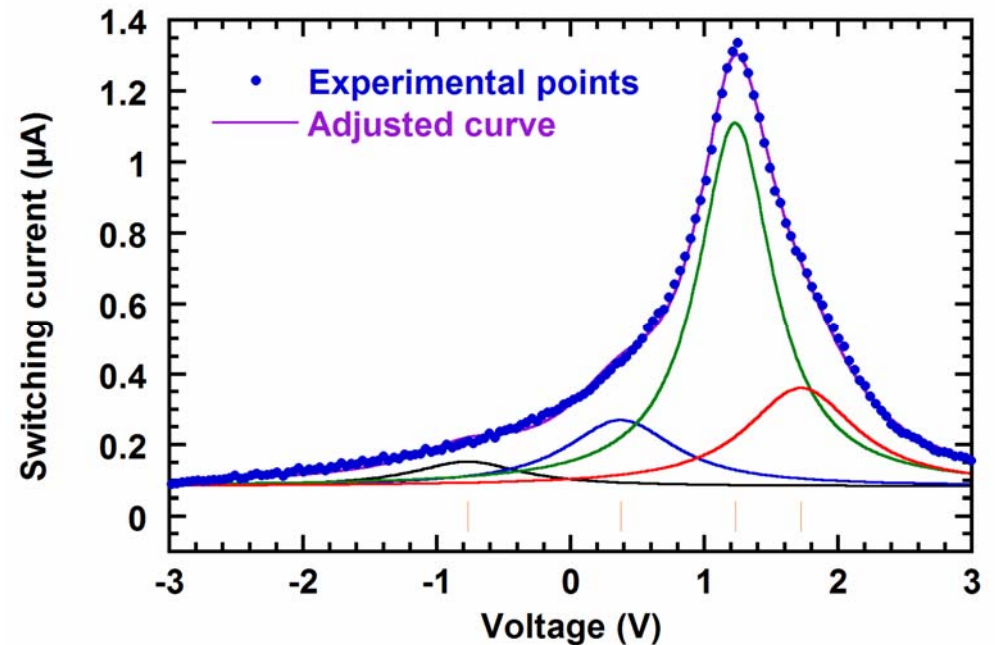
$P/S = 0,08$



$P/S = 3,33$

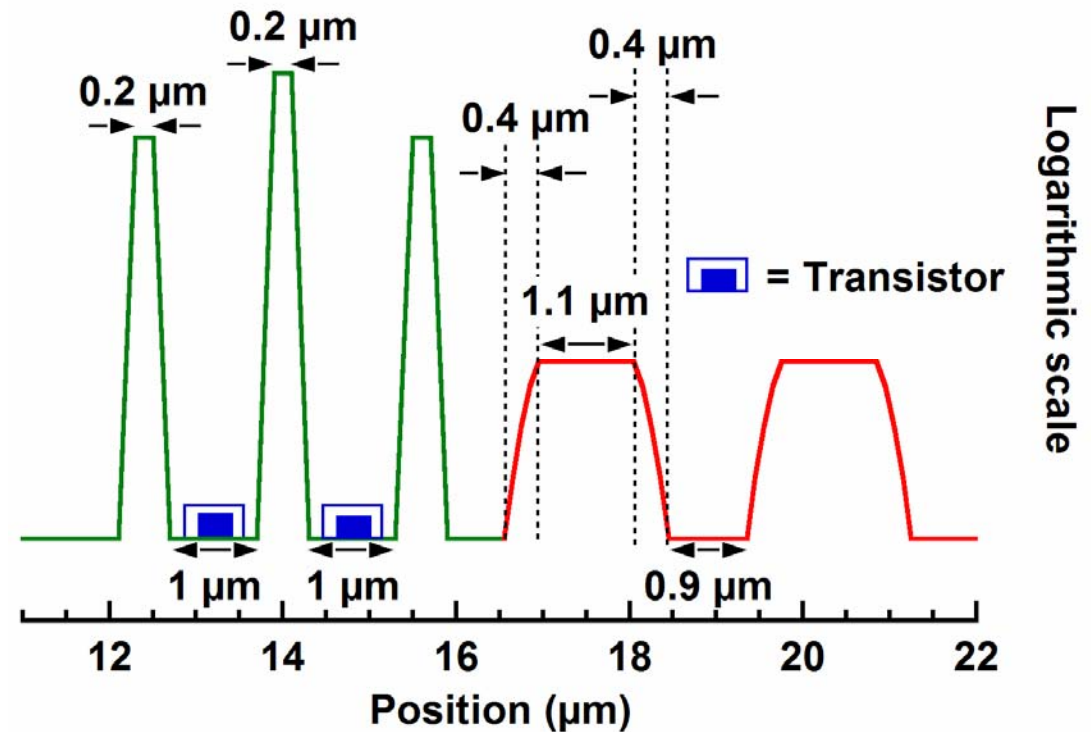
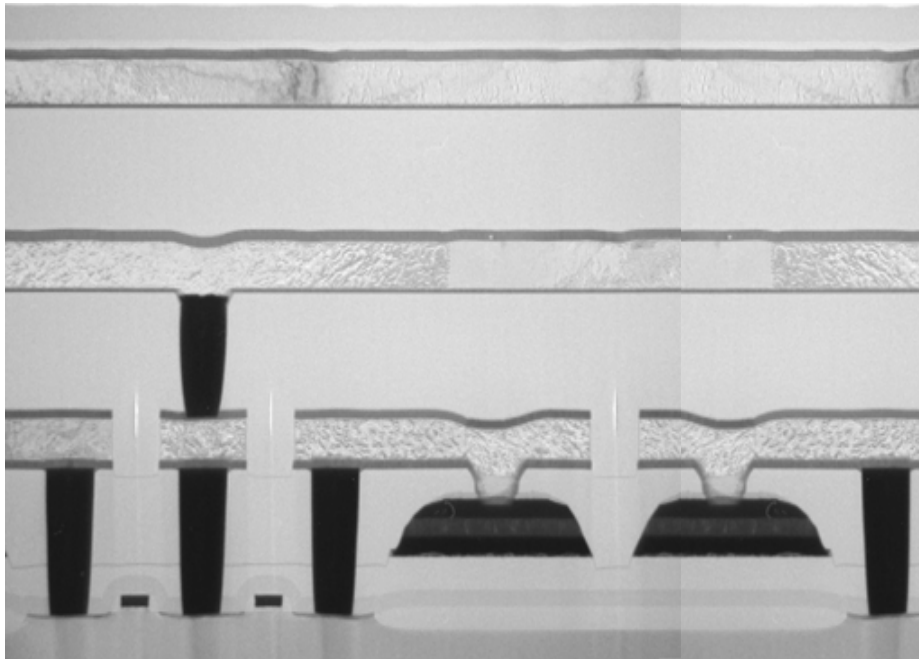


Distribution de champ interne due aux défauts induits par la gravure



## Cross-section TEM

## TEM versus $\mu$ XRD



- Cellule mémoire 2T/2C
- Condensateurs avec des bords inclinés
  - Volume des bords :  $\approx 30\%$  du volume total
  - Défauts induits par l'étape de gravure
    - ✓ Impact sur les performances électriques

Muller *et al.*, J. Appl. Phys., vol. 99, no. 5, 054504(1-5), 2006

- **L2MP (Toulon – France)**
  - **N. Menou, Ch. Turquat, D. Goguenheim**
- **ESRF, ligne ID18F (Grenoble – France)**
  - **R. Barrett**
- **Fujitsu (Atsugi – Japon)**
  - **Y. Horii**
- **Gemplus (La Ciotat – France)**
  - **D. Save**