

# MEMOIRE

## Mémoires à Nanocristaux Organisés

Tâche 4: caractérisation électrique et modélisation des structures mémoire

Damien Deleruyelle  
Pascal Masson

# Sommaire

---

1. Etat de l'art
2. Objectif général pour les 3 ans
3. Programme de travail
4. Travail en cours
5. Perspectives

# Sommaire

---

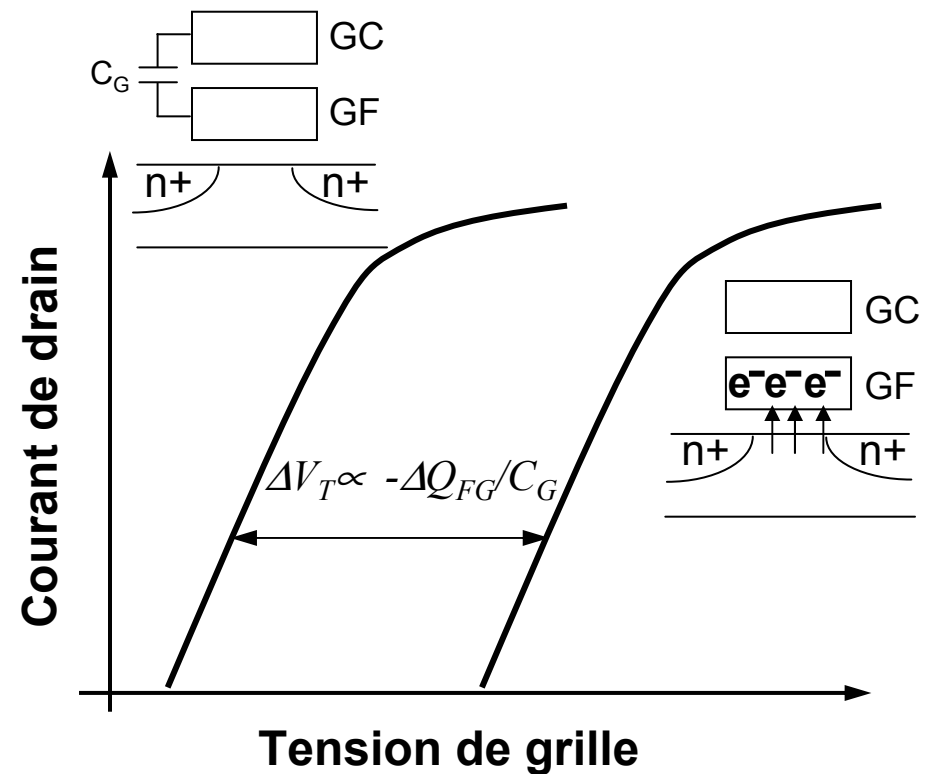
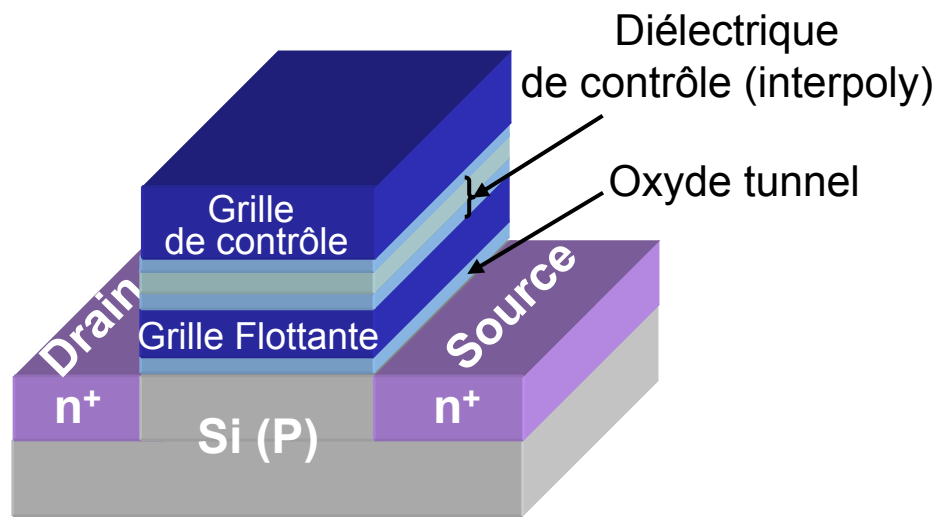
## 1. Etat de l'art

- Contexte de l'étude: mémoires à SC
- Limite de miniaturisation des mémoires FLASH
- Mémoires alternatives / innovantes

# 1. Etat de l'art

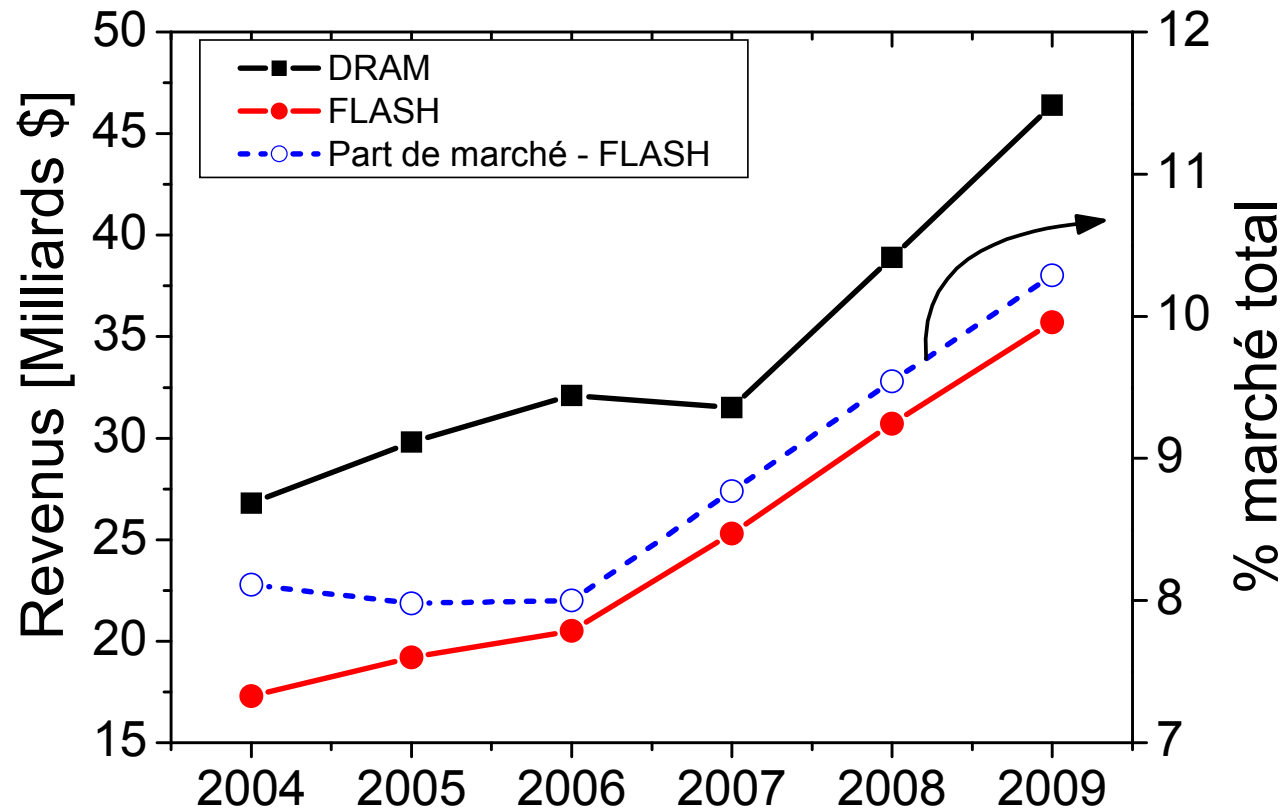
## Contexte: mémoires à Semiconducteurs

### Mémoires non-volatiles: exemple de la Flash



# 1. Etat de l'art

## Marché des mémoires à semiconducteurs



Source: Webfeet Research Inc. - ICMTD'05 (Giens)

Mémoires à SC ~ 20-30% du marché total  
Croissance soutenue par l'essor de l'électronique « nomade »

# 1. Etat de l'art

## Limites de miniaturisation des mémoires Flash

### Limite imposée par l'oxyde tunnel

Année de prod.	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Nœud tech. FLASH NOR/NAND	80/76 nm	70/64 nm	65/57 nm	57/51 nm	50/45 nm	45/40 nm	40/36 nm	35/32 nm	32/28 nm
$T_{ox}$ NOR [nm]	8-9	8-9	8-9	8-9	8-9	8	8	8	8
$T_{ox}$ NAND [nm]	7-8	7-8	6-7	6-7	6-7	6-7	6-7	6-7	6-7

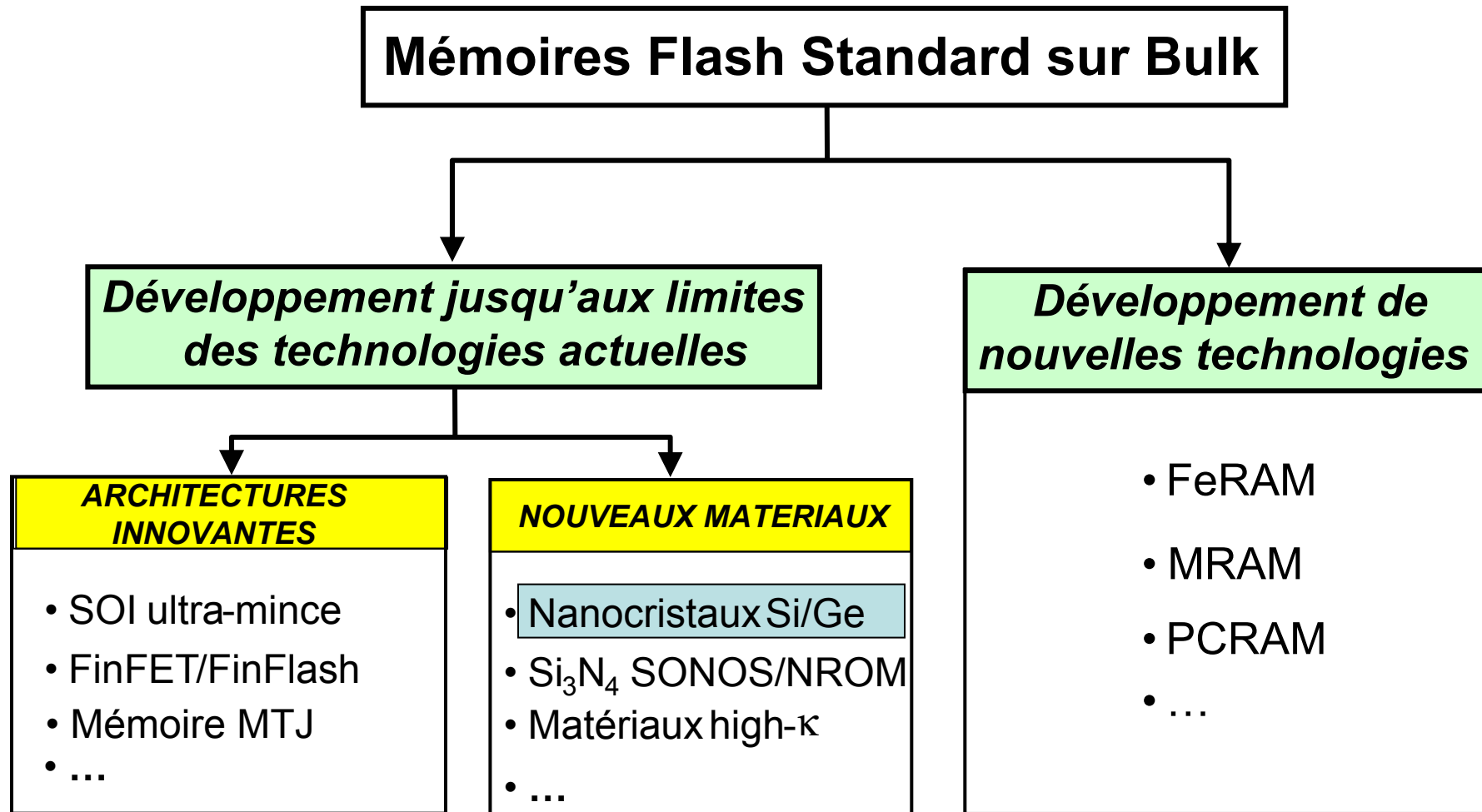
### Limite imposée par le diélectrique interpoly

Année de prod.	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2010	2012	2013
Nœud tech. FLASH NOR/NAND	80/76 nm	70/64 nm	65/57 nm	57/51 nm	50/45 nm	45/40 nm	40/36 nm	35/32 nm	32/28 nm
$\alpha_G$	0.65-0.75	0.6-0.7	0.6-0.7	0.6-0.7	0.6-0.7	0.6-0.7	0.6-0.7	0.6-0.7	0.6-0.7
EOT IPD NAND [nm]	13-15	13-15	10-13	10-13	10-13	10-13	10-13	10-13	9-10
EOT IPD NOR [nm]	13-15	13-15	13-15	13-15	13-15	10-12	10-12	10-12	10-12

Source: ITRS 2005

# 1. Etat de l'art

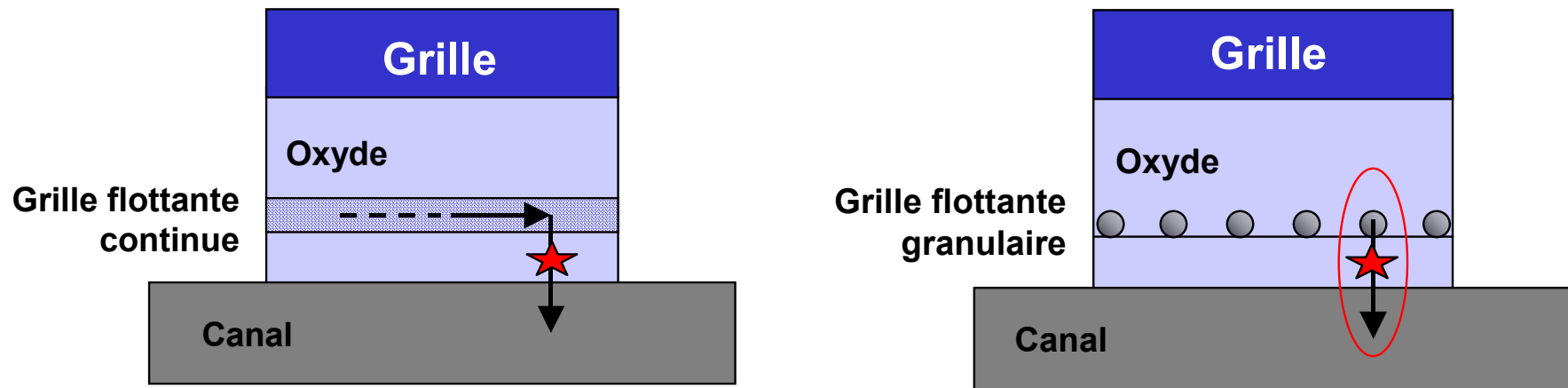
## Mémoires alternatives & innovantes



# 1. Etat de l'art

## Mémoires à nanocristaux

- Premières démonstrations par IBM (1995): Nanocristaux LPCVD



Grille flottante granulaire

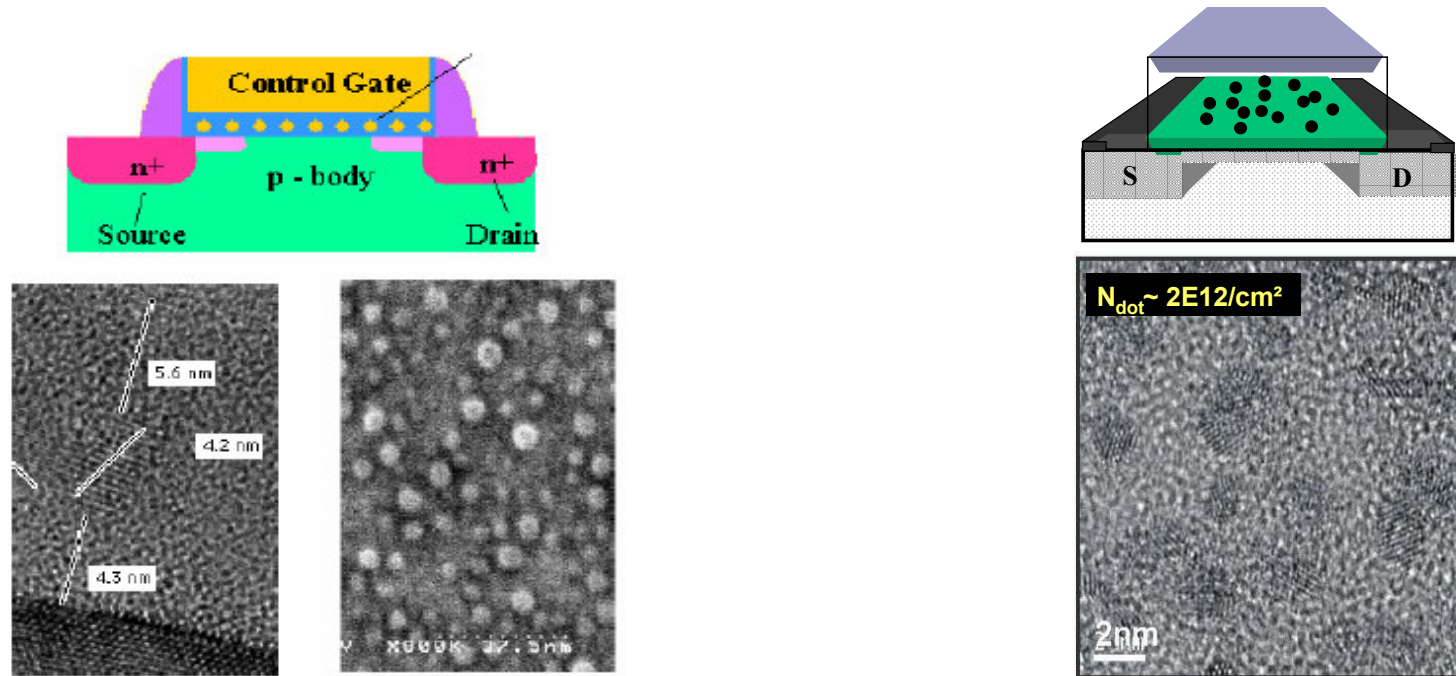


Immunité renforcée de l'effet mémoire vis-à-vis des pièges dans l'oxyde tunnel (SILC)

- Le scaling des mémoires non-volatiles peut être poussé plus en avant!

# 1. Etat de l'art

## Réalisations récentes



Freescale (ex-Motorola) IEDM'03

Leti-STMicro IEDM'03

<b>Caractéristiques</b>	<b>Matrice</b>	$L_G$	$V_{PP}$	$\Delta V_T$	$t_{WE}$	<b>Ret.</b>	<b>End.</b>
<b>Freescale</b>	4Mb	0.12 $\mu$ m	6V	3V	10 $\mu$ s-100ms	10ans	$>10^5$
<b>ST-Leti</b>	1Mb	0.28 $\mu$ m	6-8V	3V	10 $\mu$ s-100ms	10ans	$>10^5$

# 1. Etat de l'art

## ITRS 2005: Emerging research devices

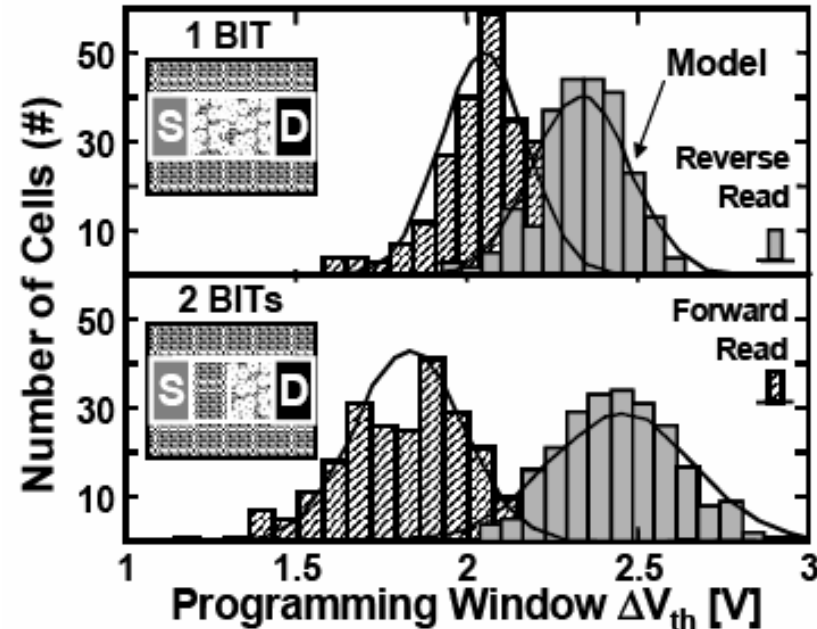
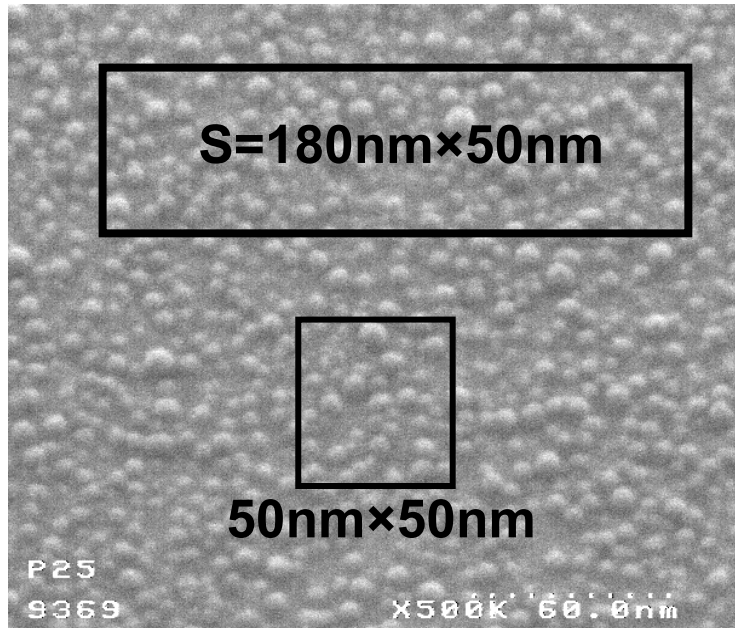
	Nano-floating Gate Memory [A]	Engineered Tunnel Barrier Memory	Ferroelectric FET Memory	Insulator Resistance Change Memory	Polymer Memory	Molecular Memories
<i>Storage Mechanism</i>	Charge on floating gate	Charge on floating gate	Remanent polarization on a ferroelectric gate dielectric	Multiple mechanisms	Not known	Not known
<i>Cell Elements</i>	1T	1T	1T	1T1R or 1R	1T1R or 1R	1T1R or 1R
<i>Comments</i>	A natural evolution of the floating gate memory		Potential for non-destructive readout	Low read voltage presents a problem		
<i>Research activity [AE]</i>	123	12	74	39	25	68

	<i>Memory Device Technologies (Potential)</i>	<i>Scalability [A]</i>	<i>Performance [B]</i>	<i>Energy Efficiency [C]</i>	<i>OFF/ON "1"/"0" Ratio [D]</i>	<i>Operational Reliability [E]</i>	<i>Operate Temp [F] ***</i>	<i>CMOS Technological Compatibility [G]**</i>	<i>CMOS Architectural Compatibility [H]*</i>
1)	Nano Floating Gate Memory	2.5	2.5	2.5	2.5	2.2	2.7	2.7	3.0
2)	Engineered Tunnel Barrier Memory	2.2	2.3	2.3	2.3	2.4	2.8	2.8	3.0
3)	Ferroelectric FET Memory	1.9	2.3	2.5	2.2	2.0	3.0	2.6	3.0
4)	Insulator Resistance Change Memory	2.5	2.5	2.0	2.2	1.9	2.8	2.6	2.8
5)	Polymer Memory	2.1	1.5	2.3	2.2	1.6	2.9	2.3	2.5
6)	Molecular Memory	2.3	1.5	2.4	1.6	1.4	2.6	1.9	2.3

# 1. Etat de l'art

Vers des dispositifs « ultimes »

Role de la dispersion des nanocristaux

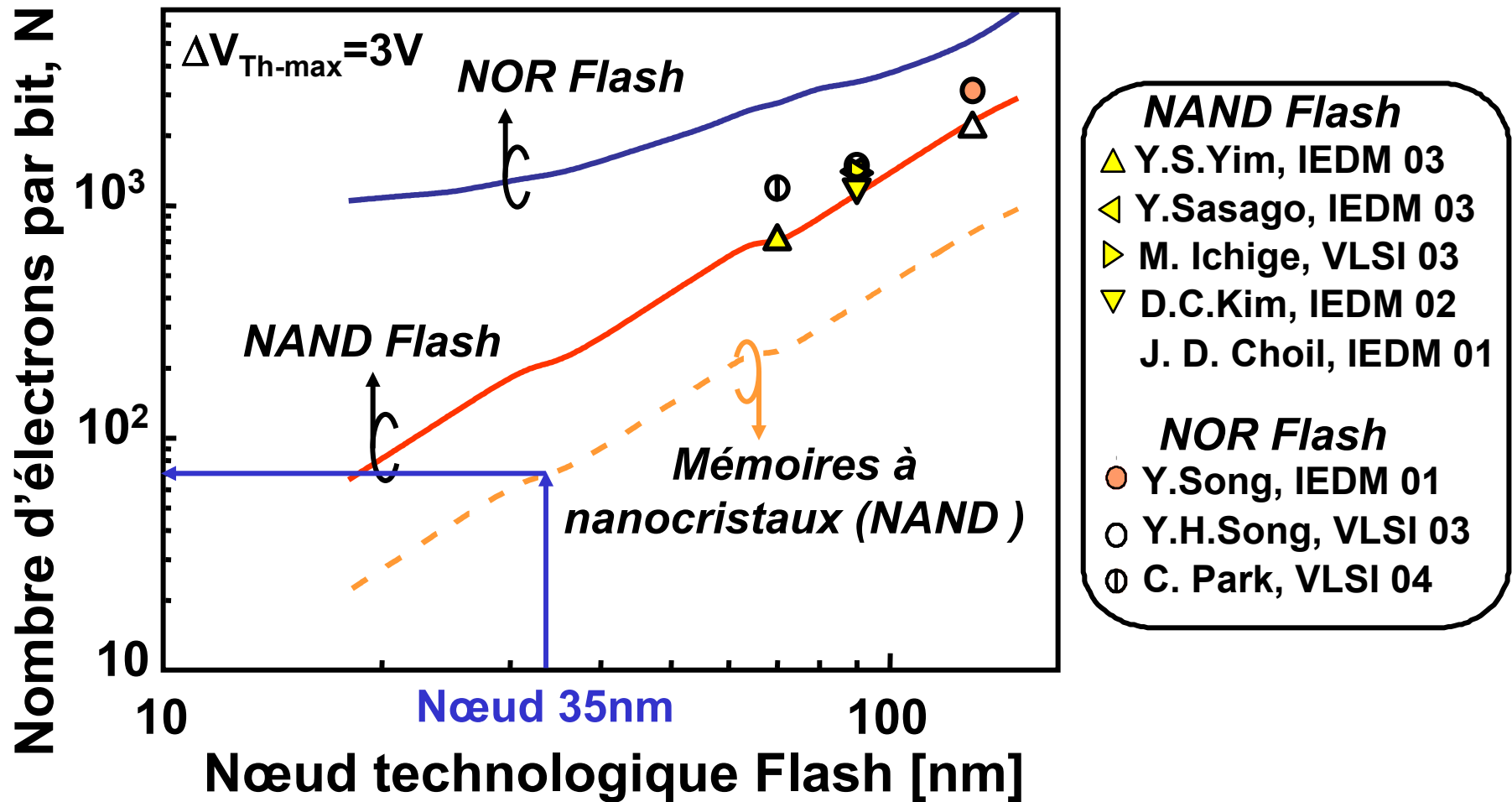


Réduction des dimensions  $\rightarrow$  Réduction du nombre de NC mis en jeu (sensibilité aux dispersions!)

**Grand intérêt porté sur l'auto-organisation des NC**

# 1. Etat de l'art

## Projection vers les mémoires à peu d'électrons



$N_{elec} \# 10-100$  pour les nœuds technologiques futurs!  
Prise en compte des phénomènes à peu d'électrons

# 1. Etat de l'art

---

## Propriétés électriques individuelles des NC

### Quelques inconnues subsistent

#### 1. Localisation de la charge stockée

- Stockage dans les états de la bande de conduction ?
- Stockage dans les pièges d'interface NC(Si)-SiO<sub>2</sub> ?

#### 2. Phénomènes entrant en jeu dans les NC

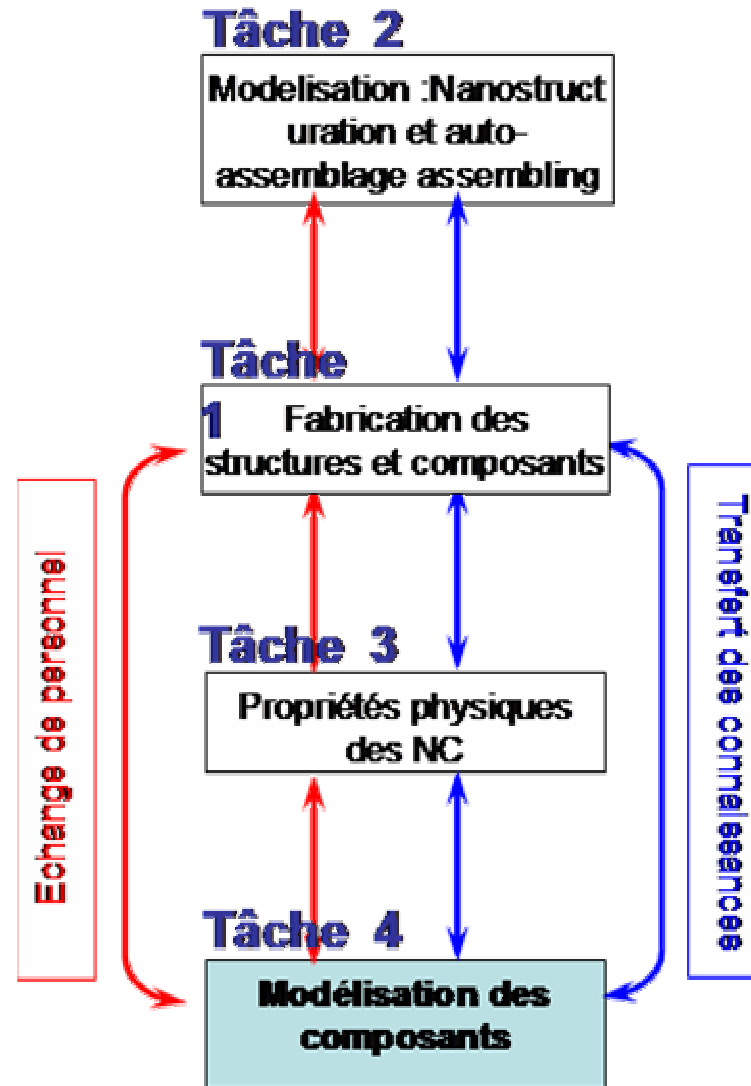
- Objets nanométriques donc à priori blocage de Coulomb, confinement quantique,...
- Difficile à mettre en évidence sur des systèmes macroscopiques à cause de la dispersion (mesure stat.)

**Grand intérêt des mesures AFM pour mesurer les propriétés électriques individuelles**

## 2. Objectifs généraux

---

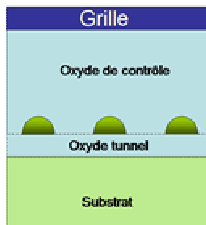
### Positionnement de l'activité



## 2. Objectifs généraux

### Tâche 4.1 Simulation / Modélisation des structures à NC-Si/Ge

#### Simulation des caractéristiques électriques des dispositifs fabriqués



*Electrostatique* (capacités à NC):  $d_{NC}$ ,  $\phi_{NC}$ ,  $N_{elec}$ ,  $\sigma_{NC}$ , ...



*Dynamique* (mémoires à NC):  $t_{WE}$ ,  $T_{RET}$ ,  $T_{ox}$ , ...

#### Etablissement de modèles analytiques

*Electrostatique* (capacités à NC):  $\Delta V_T = f(d_{NC}, \phi_{NC}, N_{elec}, \sigma_{NC}, \dots)$

*Insertion dans les modèles compacts « mémoires » adaptés*

## 2. Objectifs généraux

---

### **Tâche 4.2** Caractérisation électrique des structures à NC-Si/Ge

- ❑ **Caractériser les propriétés électriques des dispositifs « macroscopiques »**

*C-V, I-V,  $\Delta V_T = f(V_{PP}, t_{WE}, \dots)$ , Data-Ret, Endurance, ...*

- ❑ **Quantifier les propriétés électriques individuelles des nanocristaux**

*Mesures AFM: EFM, SCM, Tunnel-AFM, ...*

- ❑ **Corrélations avec les modèles analytiques & simulations numériques**

### **RESULTATS ATTENDUS**

- ❑ **Mise en évidence de l'influence (+) de l'auto-organisation**
- ❑ **Quantification des propriétés électriques individuelles des NC**
- ❑ **Apport du Ge par rapport au Si pour les NC**

# 3. Planification des tâches

2006

2007

2008

Tâches	Année 1				Année 2				Année 3			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12
<b>SIMULATION DES DISPOSITIFS</b>												
Simulation TCAD des structures capas												
Simulation TCAD des structures mémoires												
Etablissement de modèles analytiques (modèles compacts)												
<b>CARACTERISATION ELECTRIQUE</b>												
Caractérisation électrique des structures « capacités »												
Caractérisation électrique des structures mémoires												

# Sommaire

---

## 4. Travail en cours

- Choix des paramètres des structures
- Création des structures TCAD

# 4. Travail en cours

2006

2007

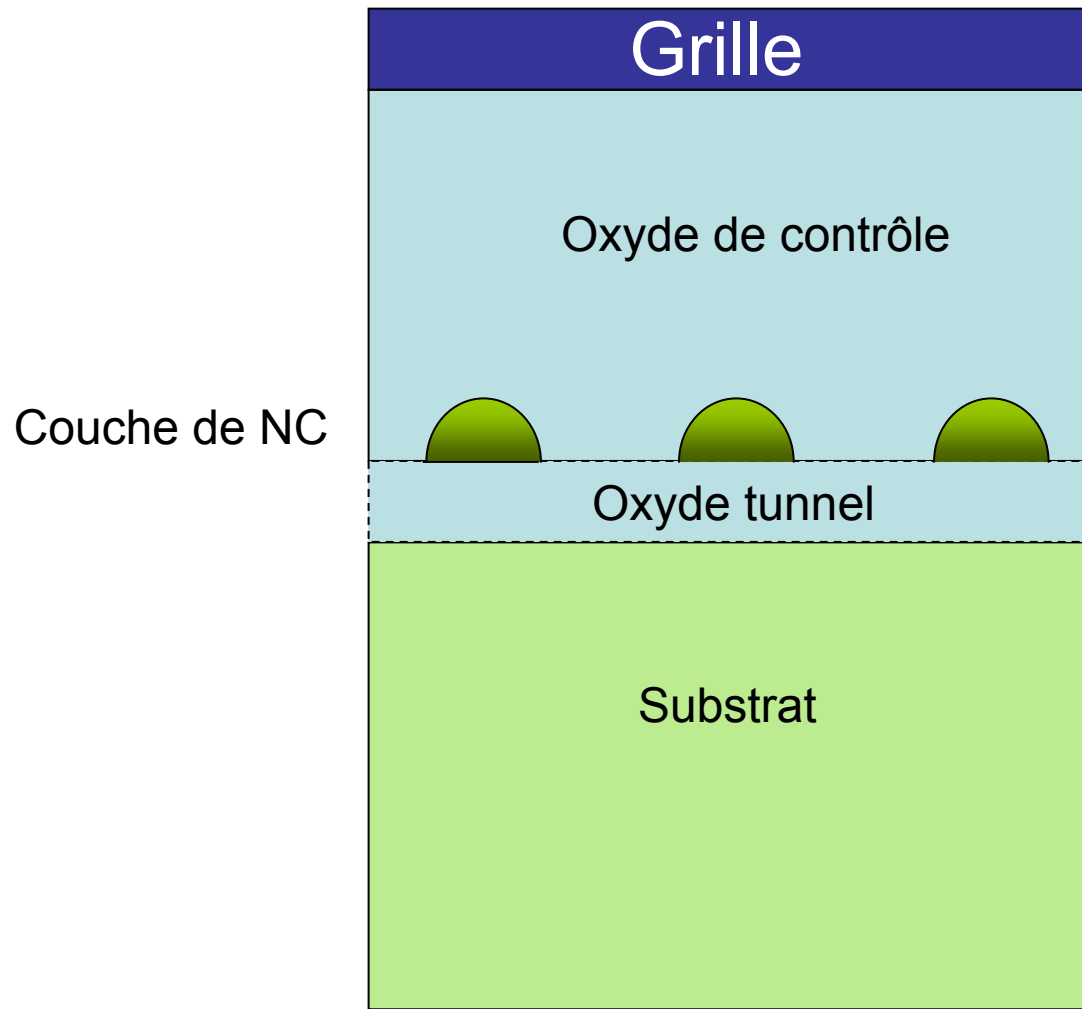
2008

Tâches	Année 1				Année 2				Année 3			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12
<b>SIMULATION DES DISPOSITIFS</b>												
Simulation TCAD des structures capas												
Simulation TCAD des structures mémoires												
Etablissement de modèles analytiques (modèles compacts)												
<b>CARACTERISATION ELECTRIQUE</b>												
Caractérisation électrique des structures « capacités »												
Caractérisation électrique des structures mémoires												

## 4. Travail en cours

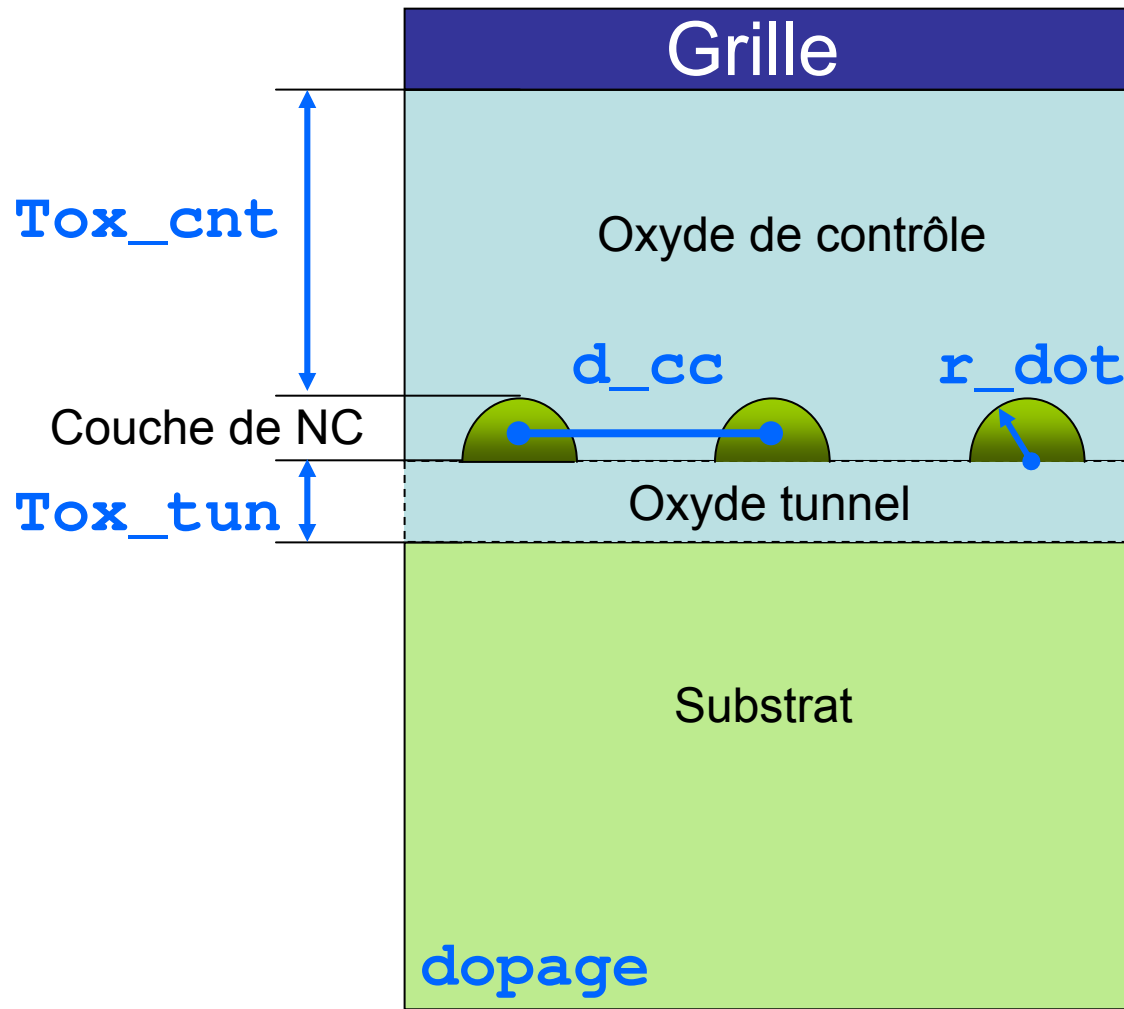
---

### Description des capacités à nanocristaux



## 4. Travail en cours

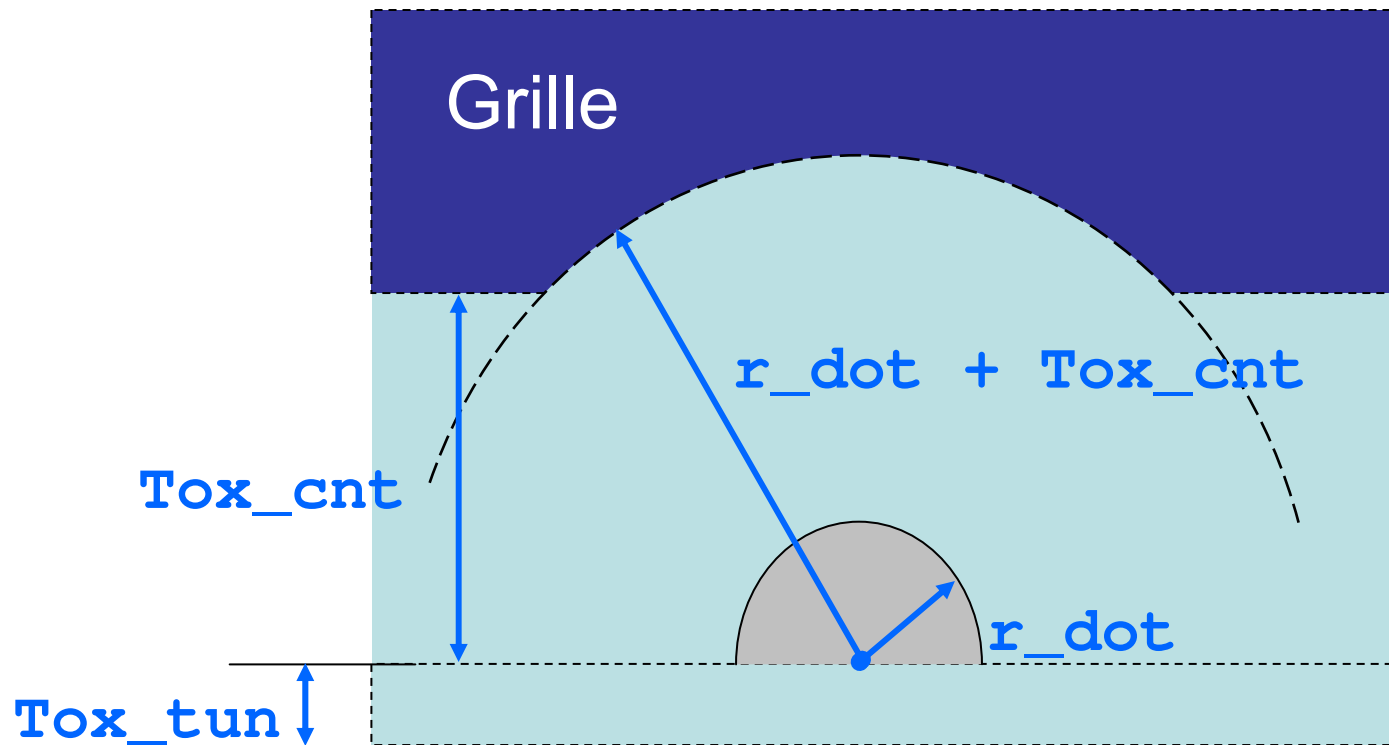
### Choix des paramètres de structure



## 4. Travail en cours

### Choix des paramètres de structure

Prise en compte de la conformité du dépôt



## 4. Travail en cours

---

### Choix des paramètres de structure

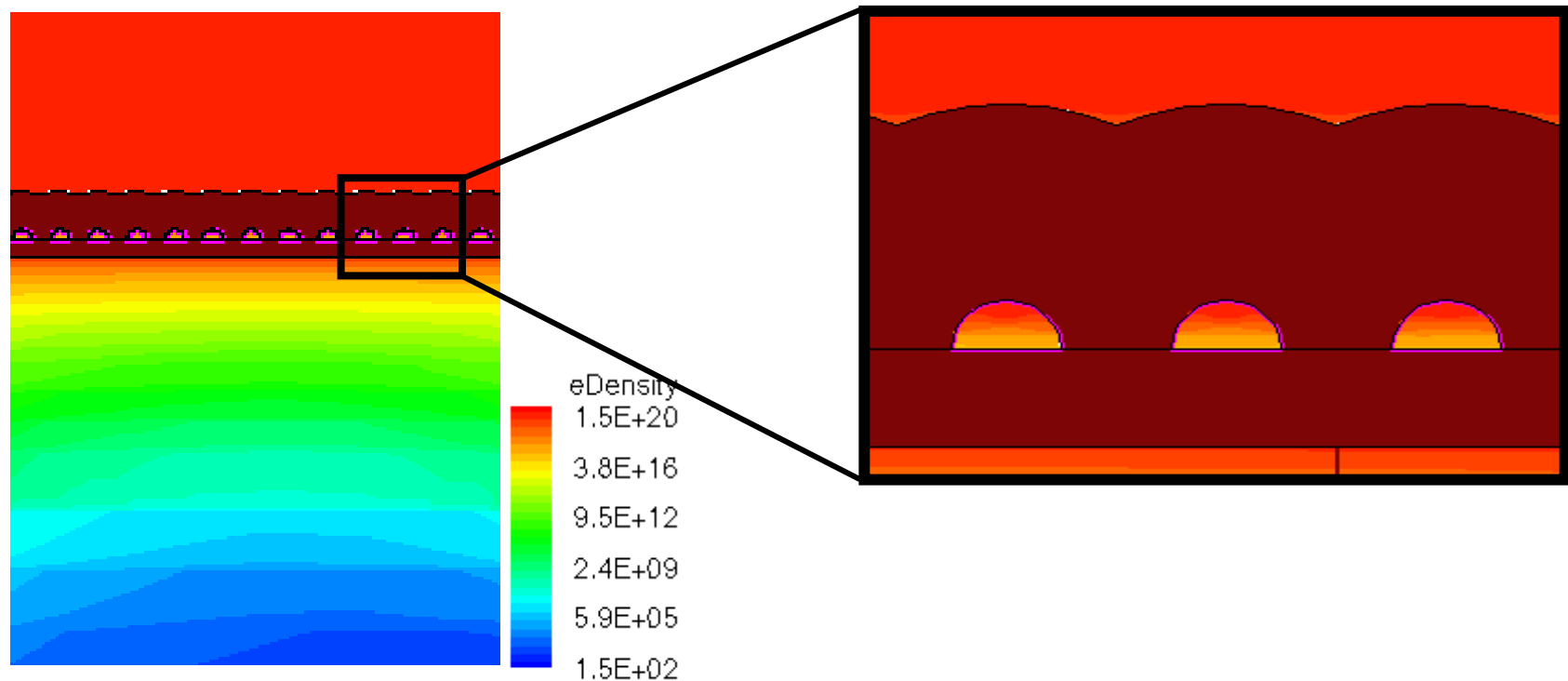
#### Paramètres de simulation – Capas NC

Substrat	Si-P ( $10^{15}\text{cm}^{-3}$ )
Tox_tun [nm]	5 - 6 - 7
Tox_cnt [nm]	5 - 10 - 15
$\phi_{\text{dot}}$ [nm]	2 - ... - 10
d_cc [nm]	10 - 15 - 25
densité [ $\text{cm}^{-2}$ ]	$10^{12}$ - $4.5 \times 10^{11}$ - $1.6 \times 10^{11}$

## 4. Travail en cours

### Création des structures TCAD

#### Premiers résultats sous ISE (Synopsys)



- Réalisation de fichiers de scripts permettant de générer les structures capa
- Attente retour des licences via accord CIM-PACA...

# 5. Perspectives Q1+Q2

---

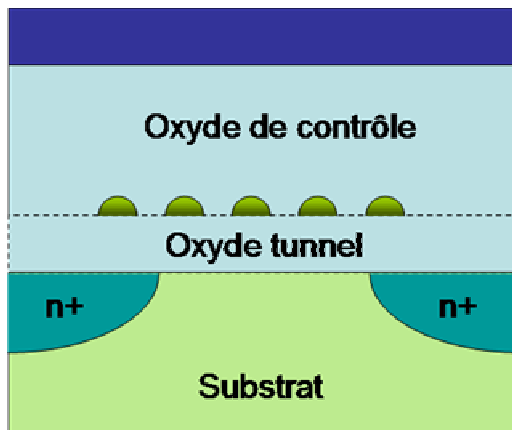
## 1. Simuls électriques des capas à nanocristaux

- Caractéristiques  $C(V)$
- Caractérisation du piégeage de charges ( $\Delta V_{FB}$ ) et quantification de l'influence des paramètres choisis ( $\phi_{dot}$ ,  $T_{ox}$ , densité...)

## 2. Caractérisation électriques

- Premières mesures électriques AFM sur échantillons capacitifs

## 3. Structures mémoires à nanocristaux



- Choix des paramètres des structures mémoires
- Création des fichiers de structure (ISE)