

# Etude en profondeur de l'interface Si-SiO<sub>2</sub> par la technique du pompage de charges

**MANEGLIA Yves**

*Laboratoire de Physique des Composants à Semiconducteurs*

**Le 18 décembre 1998**



# Sommaire

---

- I. Introduction
- II. Etudes avancées de l'interface
- III. Extraction des profils
- IV. Validation des résultats
- V. Applications
- VI. Conclusion



# Introduction

---

- Interface Si-SiO<sub>2</sub> :  
rôle crucial dans le fonctionnement des dispositifs MOS  
⇒ très étudiée (méthodes physiques et électriques).
- Informations surtout sur les états d'interface dits 'états rapides' (N<sub>ss</sub>)  
(profil énergétique, sections de capture).
- Peu d'informations sur les pièges de l'oxyde proches de l'interface dits 'états lents' (N<sub>t</sub>).
- Diminution de la taille des transistors  $W, L, d_{ox}$   
⇒ propriétés électriques de l'oxyde déterminantes pour le fonctionnement et la fiabilité des MOS (fuites, dégradation).
- Intérêt de nouvelles méthodes de caractérisation prenant en compte les états lents.

# Sommaire II

---

## I. Introduction

## II. Etudes avancées de l'interface

- Méthode de la conductance
- DLTS capacitive
- Evolution de  $N_t$  en fonction de  $N_{ss}$  sous injection Fowler-Nordheim
- Pompage de charges

## III. Extraction des profils

## IV. Validation des résultats

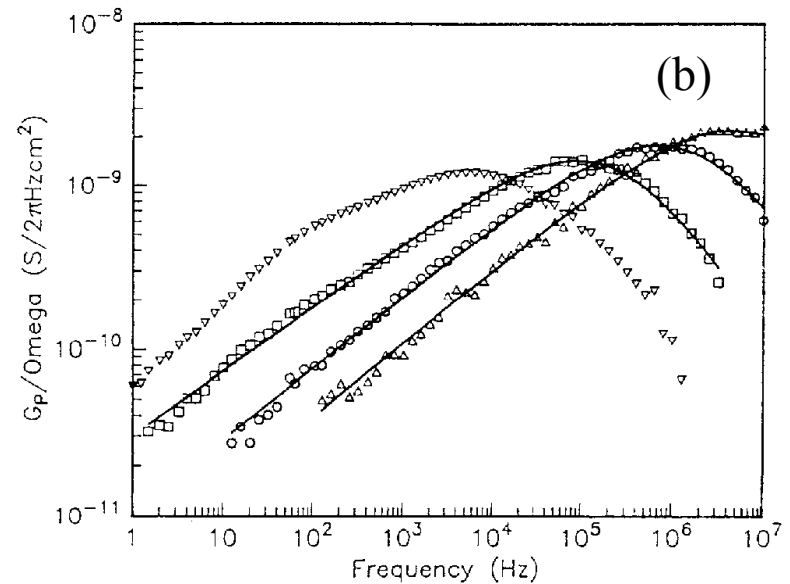
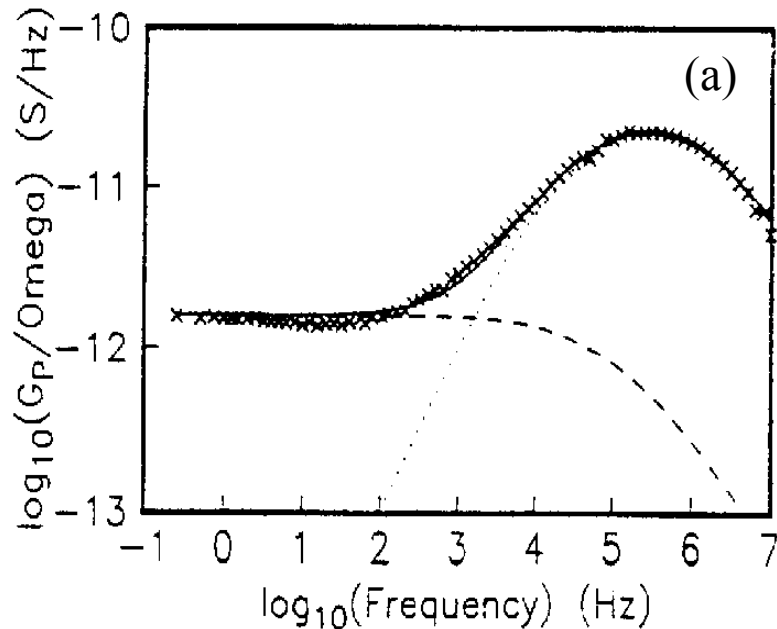
## V. Applications

## VI. Conclusion



# Etudes avancées de l'interface I

## Méthode de la Conductance

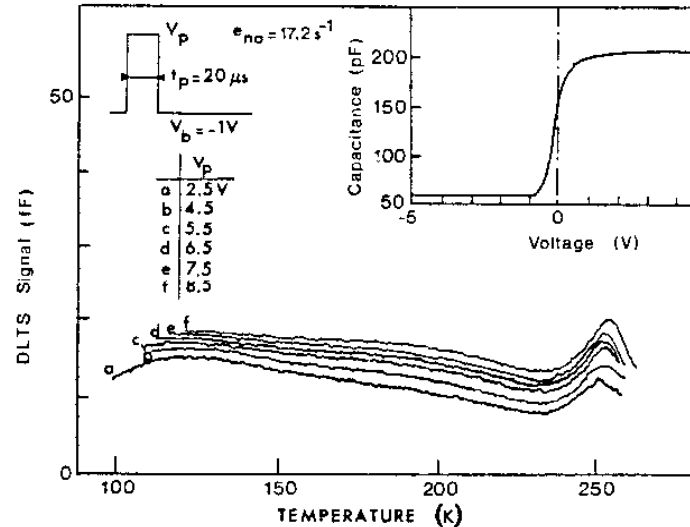


Courbes  $G_p/\omega$  (f) de la littérature récente, (a) Uren 89, (b) Collins 90

(a) Plateau à très basses fréquences  $\Rightarrow$  états lents.

(b) Fortes dissymétries des pics  $G_p/\omega$   $\Rightarrow$  'fitting' si  $N_t(x) = N_{ts} \exp(-x/d)$

## DLTS Capacitive

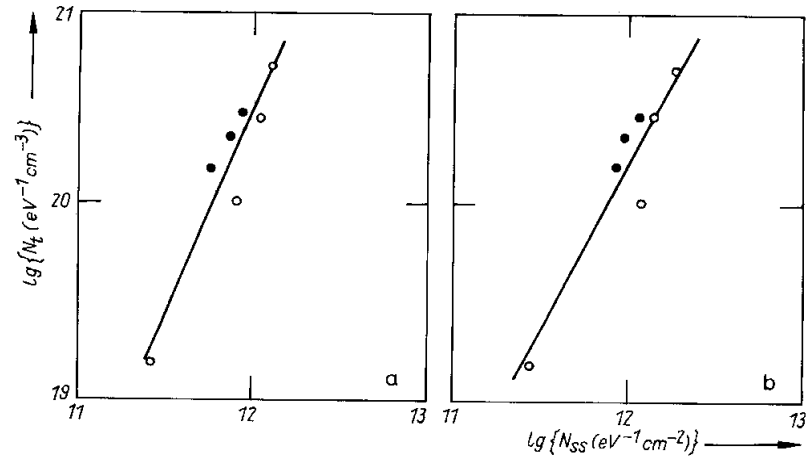
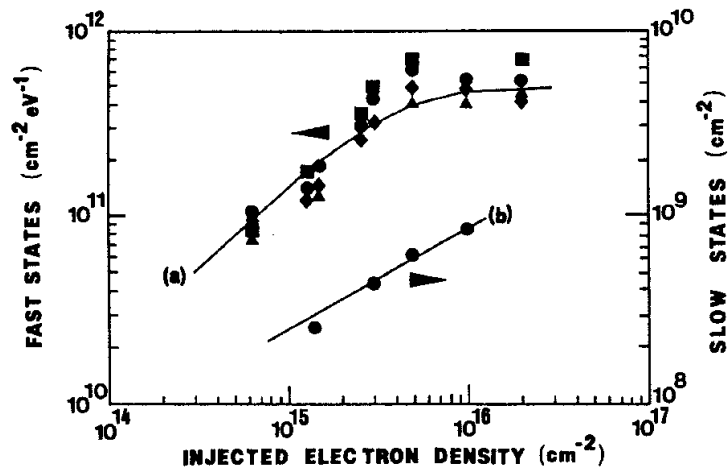


Signaux DLTS capacitifs pour différentes valeurs de l'impulsion  $V_p$ , Vuillaume 86

- Augmentation du signal avec  $V_p \Rightarrow$  états lents.
- Mesures en forte accumulation  $\Rightarrow$  profondeur de 15 à 20 Å.

# Etudes avancées de l'interface III

## Evolution de la densité d'états lents et d'états d'interface sous injection Fowler-Nordheim



Evolutions de  $N_t$  et  $N_{ss}$  sous injecton Fowler-Nordheim (DLTS capacitive), Vuillaume 89.

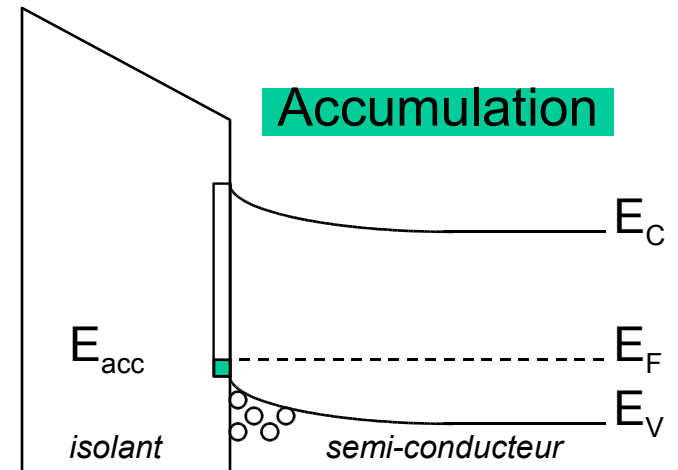
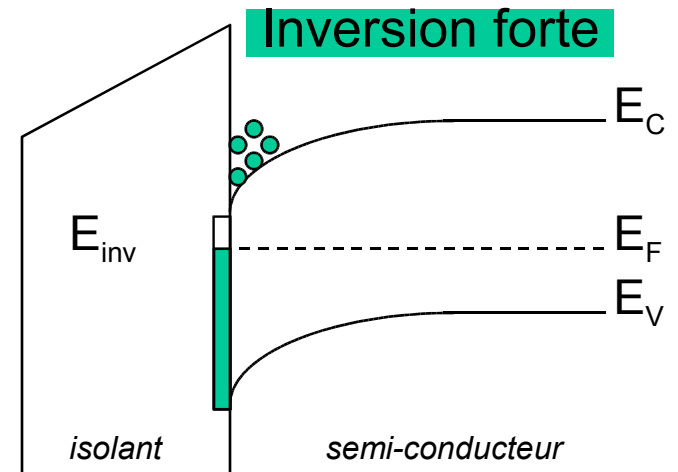
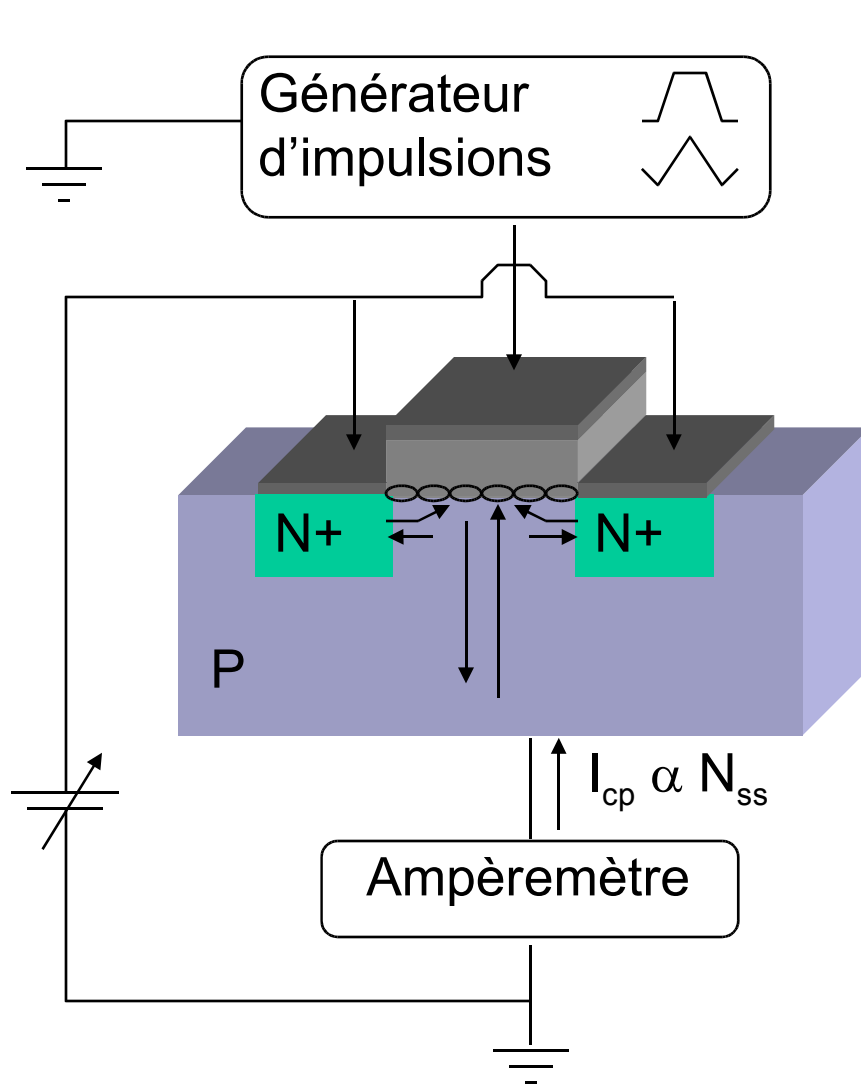
- Début de stress :  $N_t$  augmente moins vite que  $N_{ss}$ .
- Fin de stress : c'est le contraire ( $N_{ss}$  sature).

$N_t$  mesuré par bruit, fonction de  $N_{ss}$  mesuré (a) par pompage de charges et (b) par la pente en inversion faible,

Nguyen Duc91.

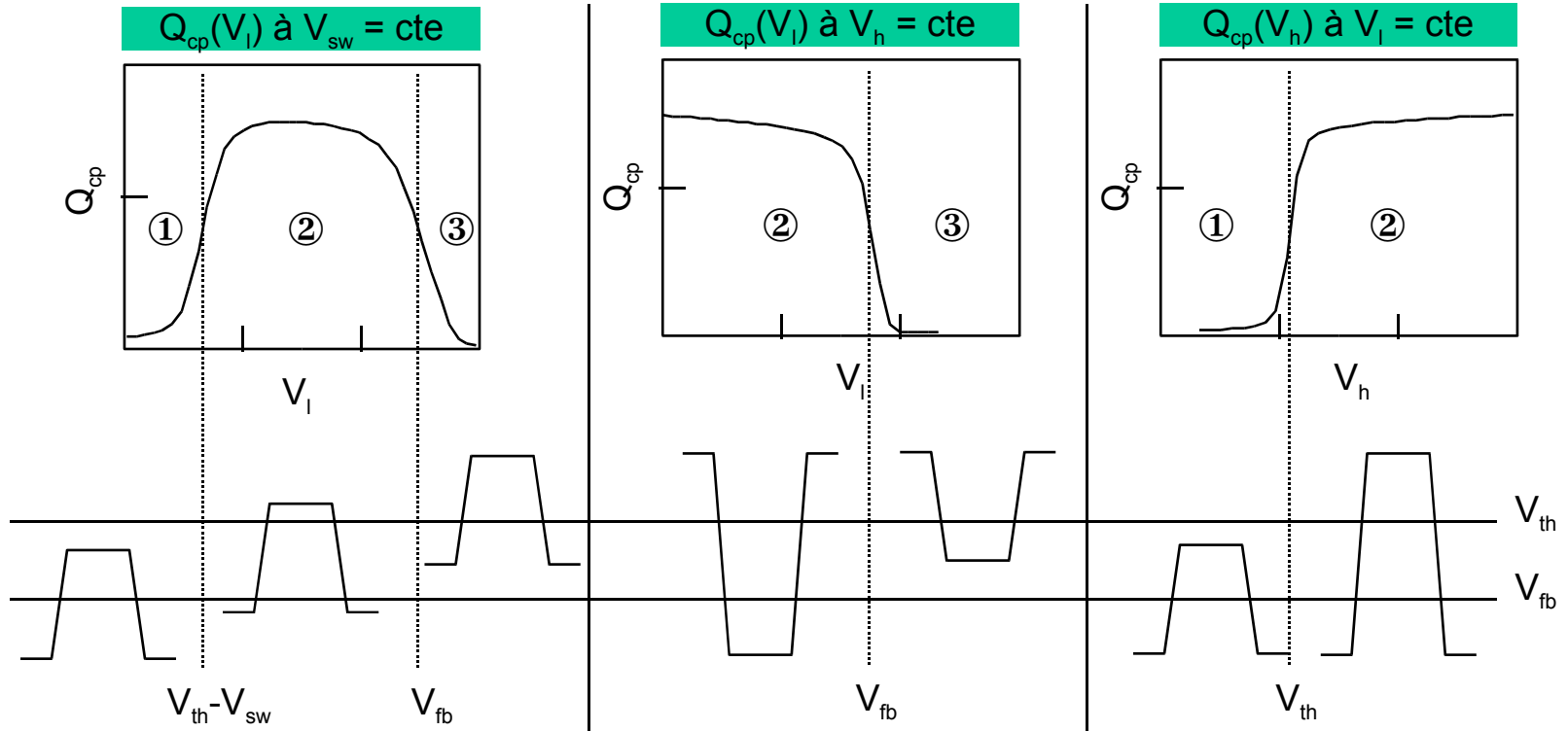
- $N_t$  varie en  $N_{ss}^{1,5 \text{ à } 1,9}$

# Pompage de charges I : principe





# Pompage de charges II : Courbes conventionnelles (transistor à canal n)



- ① Manque d'électrons  $V_h < V_{th}$
- Recombinaison
- ③ Manque de trous  $V_l > V_{fb}$

$$N_{ss} \approx \frac{\max(Q_{cp})}{Aq\Delta E}$$



# Expressions de la charge pompée $Q_{cp}$

- Brugler et Jaspers, 1969 : recombinaison sur  $\Delta E = E_{inv} - E_{acc}$

$$Q_{cp} = AqN_{ss}(E_{inv} - E_{acc})$$

- Groeseneken et al., 1984 : émission prise en compte

$$Q_{cp} = AqN_{ss}(E_{em,e} - E_{em,h})$$

- Wachnick et Lowney, 1986 : capture prise en compte

$$Q_{cp} = Aq \int_{E_l}^{E_u} N_{ss}(E) \Delta F(0) dE$$

- Bauza et Ghibaudo, 1996 :

$$Q_{cp} = Aq\Delta E \int_0^{d_{ox}} N_t(x) \Delta F(x) dx$$

# Sommaire III

---

I. Introduction

II. Etudes avancées de l'interface

III. Extraction des profils

- Modèle en profondeur

- Expression de  $N_t(x)$

- Conditions de mesures

- Courbes  $Q_{cp}(f)$

- Ajustements

- Profil final et paramètres

extraits

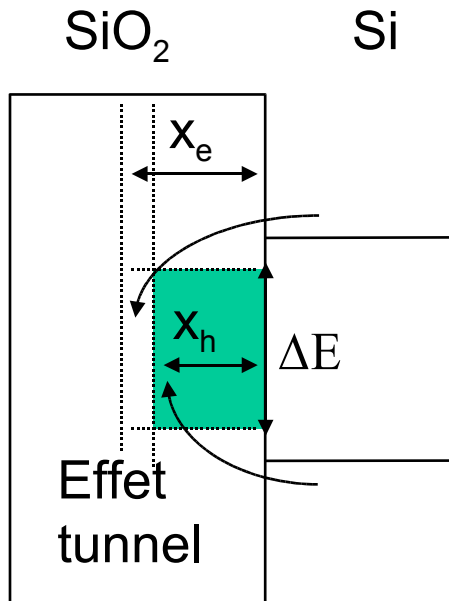
IV. Validation des résultats

V. Applications

VI. Conclusion

# Modèle en profondeur : hypothèses

Schéma de principe



recombinaison à  $x = \min(x_e, x_h)$

Modèle

$$Q_{cp} = Aq\Delta E \int_0^{d_{ox}} N_t(x) \Delta F(x) dx$$

■ **Modèle tunnel**  
(Heiman et Warfield)

$$\sigma_{n,p}(x) = \sigma_{n,p}(0) \exp(-x/\lambda)$$

■ **Statistique SRH**

$$\Delta F(x) = \frac{[1 - \exp(-c_n(x)/2f)][1 - \exp(-c_p(x)/2f)]}{1 - \exp[(-c_n(x)/2f) - (c_p(x)/2f)]}$$

avec  $c_n(x) = n_s \sigma_n(x) v_{th}$  et  $c_p(x) = p_s \sigma_p(x) v_{th}$

Hypothèses simplificatrices

Densité de pièges indépendante de l'énergie

Sections de capture indépendantes de l'énergie

Émission négligée

# Expression de la densité de pièges $N_t(x)$

$$Q_{cp} = Aq\Delta E \int_0^{d_{ox}} N_t(x) \Delta F(x) dx$$



Approximation de  $\Delta F(x)$  par une fonction "marche" qui passe de 1 à 0 en  $x_m = \min(x_e, x_h)$

$$Q_{cp} = Aq\Delta E \int_0^{x_m} N_t(x) dx$$

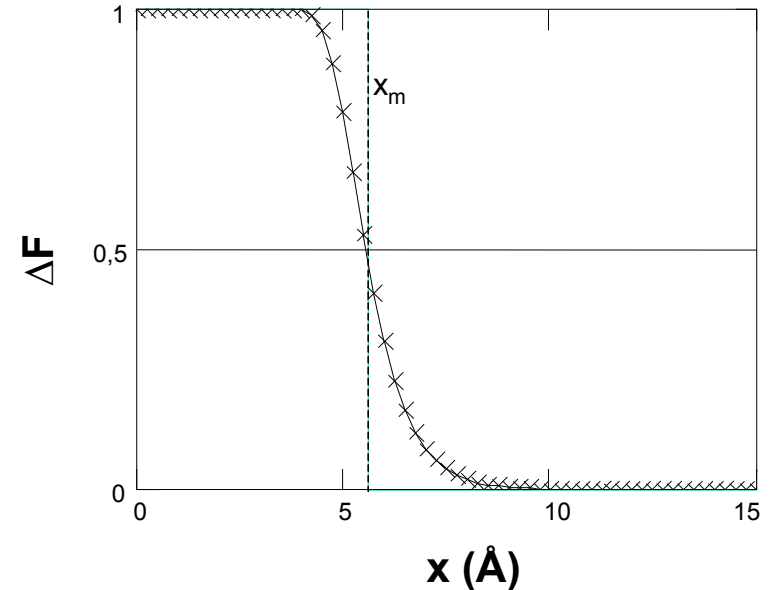


Densité de piège à la profondeur  $x_m = \min(x_e, x_h)$  :

$$N_t(x_m) = \frac{-1}{qA\Delta E\lambda_{e,h}} \frac{dQ_{cp}}{d \ln f}$$

avec

$$x_m = \lambda_{e,h} \ln \left( \frac{-c_{n,p}(0)}{\ln(0,5)2f} \right)$$



# Conditions de mesures

$$N_t(x_m) = \frac{-1}{qA\Delta E\lambda_{e,h}} \frac{dQ_{cp}}{d \ln f}$$

et

$$x_m = \lambda_{e,h} \ln \left( \frac{-c_{n,p}(0)}{\ln(0,5)2f} \right)$$

- $N_t$  est obtenu à partir des variations de la charge recombinaisonnée avec la fréquence

$$x_m = f(n[V_h], p[V_l], f[T_h, T_l])$$

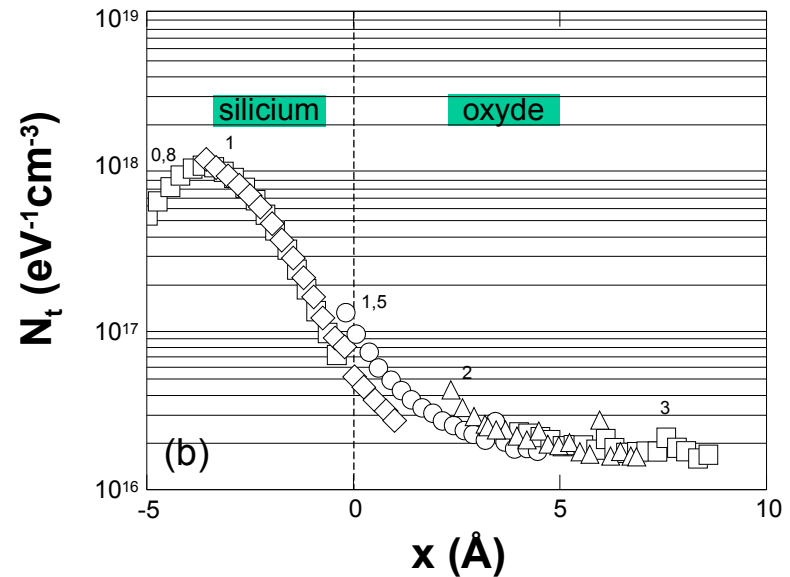
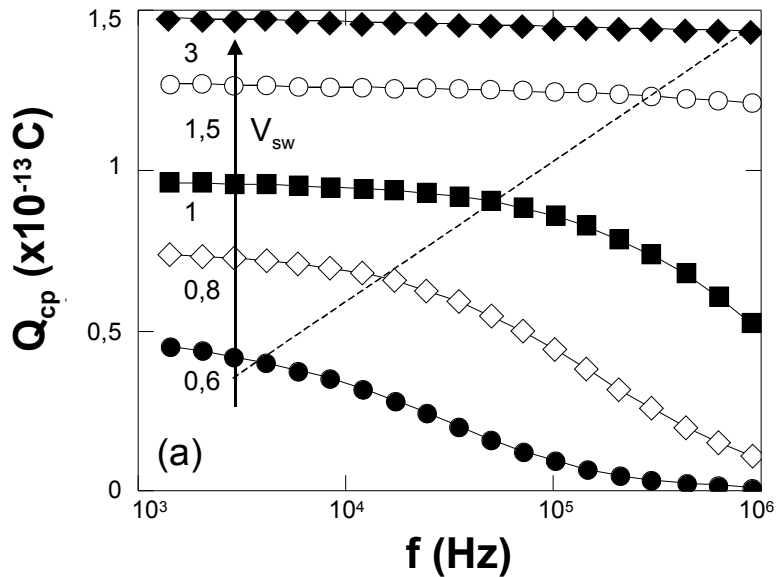
Diminuer  $f$  ou augmenter  $V_{sw} = V_h - V_l$ , c'est augmenter  $x$

- $T_r = T_f \approx 50$  ns      *émission négligée*
- $1$  kHz  $< f < 5$  MHz
- $V_h$  et  $V_l$  fixés, choisis au maximum des courbes  $Q_{cp}(V_l)$  à  $V_{sw} = cte$

$$x_e = x_h \quad \text{recombinaison maximale}$$



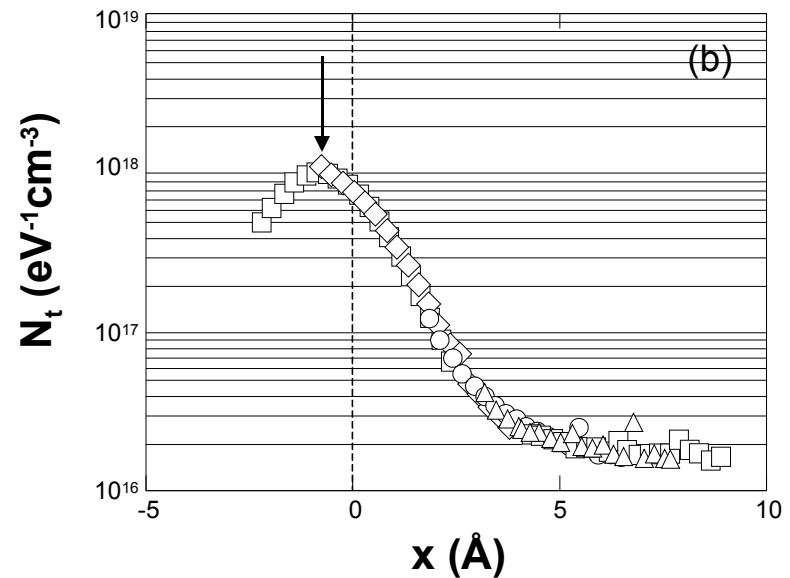
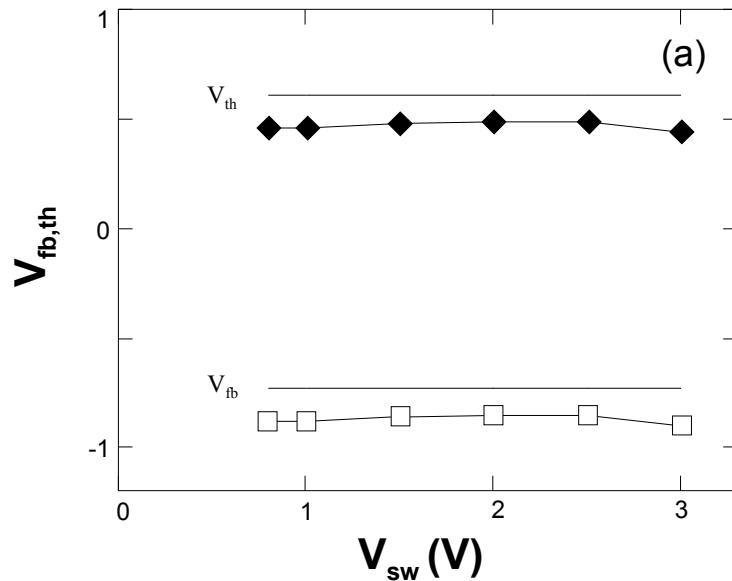
# Courbes $Q_{cp}(f)$



(a) Réseau de courbes  $Q_{cp}(f)$  pour différentes amplitudes de  $V_{sw}$   
 et (b) profils correspondants  
 (dispositif ST  $800 \times 4 \mu\text{m}^2$  à canal n)

- (a) BF : pente faible, constante  $\Rightarrow$  x grand,  $N_t$  faible
- HF : pente importante, variable  $\Rightarrow$  x petit,  $N_t$  plus grand
- (b) Courbes non superposées et maximum dans le silicium

# Ajustement des tensions de seuil



(a) tensions de seuil ajustées pour avoir  $n_s = p_s$  au maximum des courbes de pompage de charges et (b) profils correspondants (dispositif ST  $800 \times 4 \mu\text{m}^2$  à canal n)

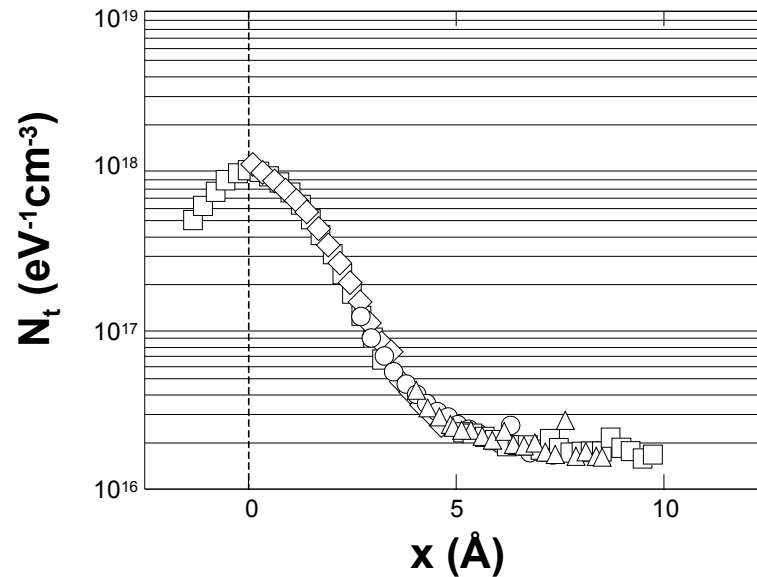
Le modèle suppose  $x_e = x_h$  ( $n_s = p_s$ ) au max des courbes  $Q_{cp}(V_l)$  à  $V_{sw} = \text{cte}$

$\Rightarrow$  on ajuste  $V_{th}$  pour remplir cette condition.

$\Rightarrow$  les courbes se superposent, mais le maximum reste mal placé.



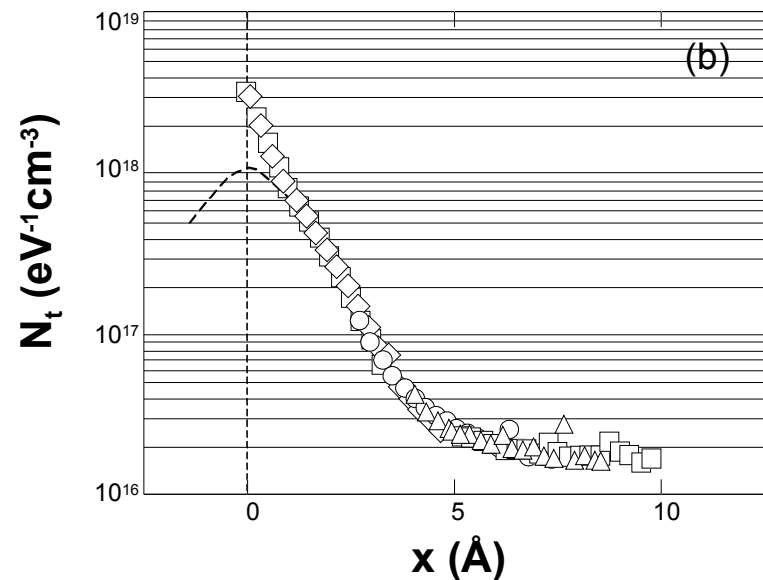
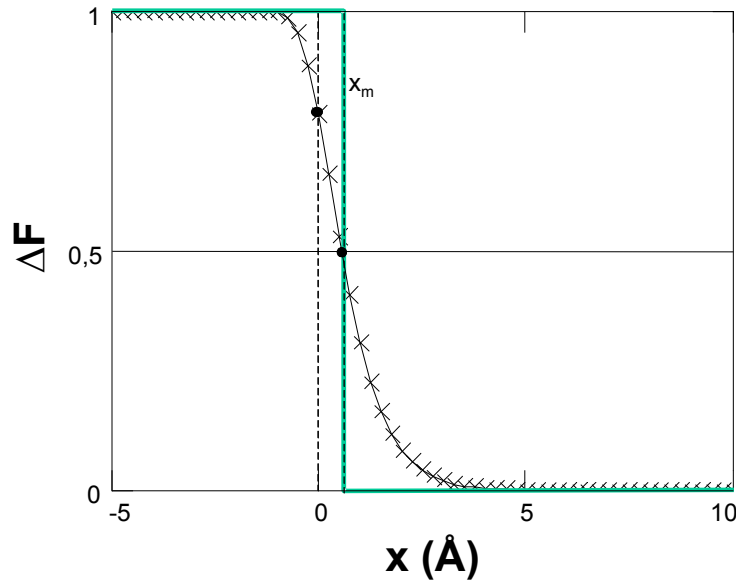
# Ajustement de la section de capture à $x = 0$



Profil après ajustements de la tension de seuil  
et de la section de capture à l'interface  
(dispositif ST  $800 \times 4 \mu\text{m}^2$  à canal n)

- Augmenter  $\sigma(0)$ , c'est déplacer le profil vers l'oxyde.
- Maximum à l'interface  $\Rightarrow$  on extrait  $\sigma(0)$ .

# Correction liée à la fonction de remplissage



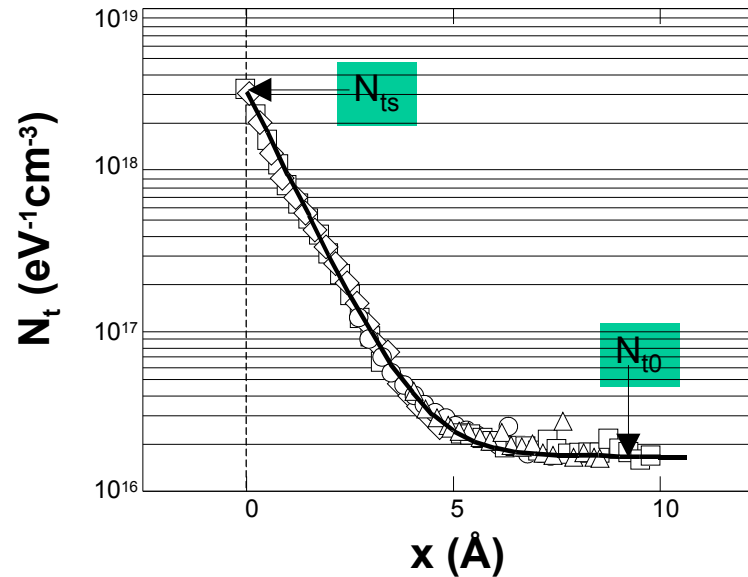
(a) variation de la fonction de remplissage des pièges pour  $x_m < 1 \text{ \AA}$  et  
(b) profil final après correction à l'interface (dispositif ST  $800 \times 4 \text{ \mu m}^2$  à canal n)

- $\Delta F$  passe de 1 à 0 sur  $2,5 \text{ \AA}$   
⇒ fonction marche d'escalier non valable au voisinage de l'interface

$$(x_m \text{ petit} \Rightarrow \Delta F(0) < 1)$$

- Correction : division de  $N_t(x)$  par  $\Delta F(0)$  et arrêt à l'interface.

# Profil ' final ' et paramètres extraits



Profil de pièges approché par la fonction  $N_{ts} \exp(-x/d) + N_{t0}$   
(dispositif ST 800 x 4  $\mu\text{m}^2$  à canal n)

$$N_t(x) = N_{ts} \exp\left(-\frac{x}{d}\right) + N_{t0}$$

couche des défauts  
d'interface ( $\sim 4 \text{ \AA}$ )

couche contrainte  
de l'oxyde

- $d \approx 1 \text{ \AA}$
- $\sigma(0) = 1,7 \cdot 10^{-16} \text{ cm}^2$
- $N_{ts}/N_{t0} \approx 100$

# Sommaire IV

---

I. Introduction

II. Etudes avancées de l'interface

III. Extraction des profils

IV. Validation des résultats

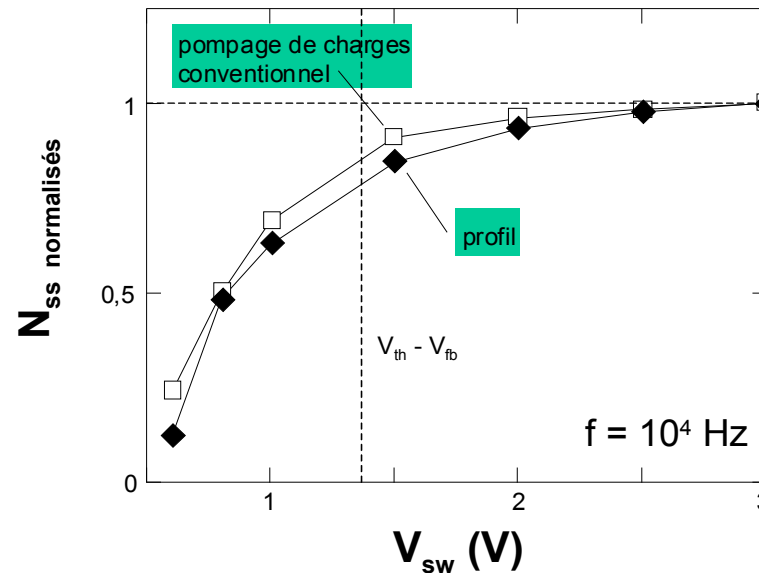
- Intégration des profils
- Simulation de courbes  $Q_{cp}(t_{r,f})$
- Comparaison avec d'autres méthodes de caractérisation
- Contribution des régions de source et de drain
- Limitations de la technique

V. Applications

VI. Conclusion



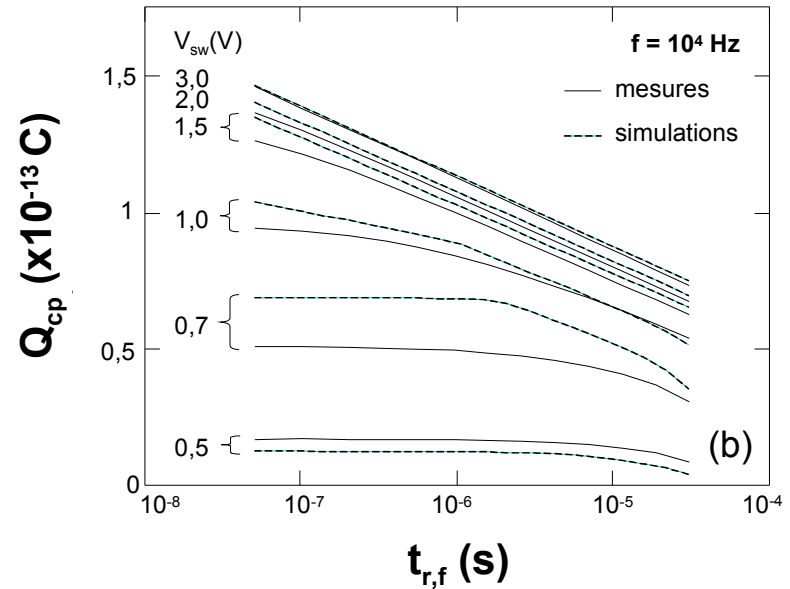
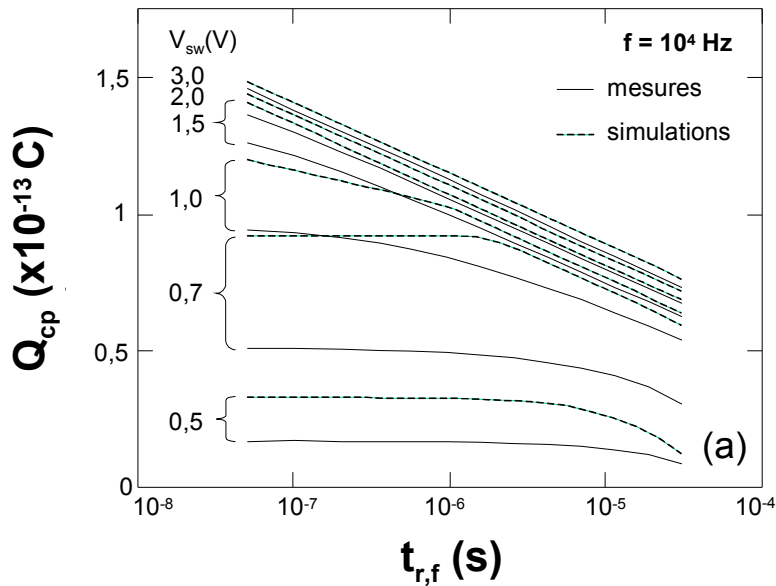
# Intégration des profils



Comparaison des densités d'états d'interface obtenues par pompage de charges conventionnel et par intégration des profils en fonction de  $V_{sw}$  (dispositif ST 800 x 4  $\mu\text{m}^2$  à canal n)

- Le  $N_{ss}$  ' intégré ' suit le  $N_{ss}$  mesuré mais lui reste inférieur dans un facteur compris entre 1 et 2.
- Dès que  $V_{sw} > |V_{th} - V_{fb}|$ , 85 % des états d'interface contribuent à la recombinaison.

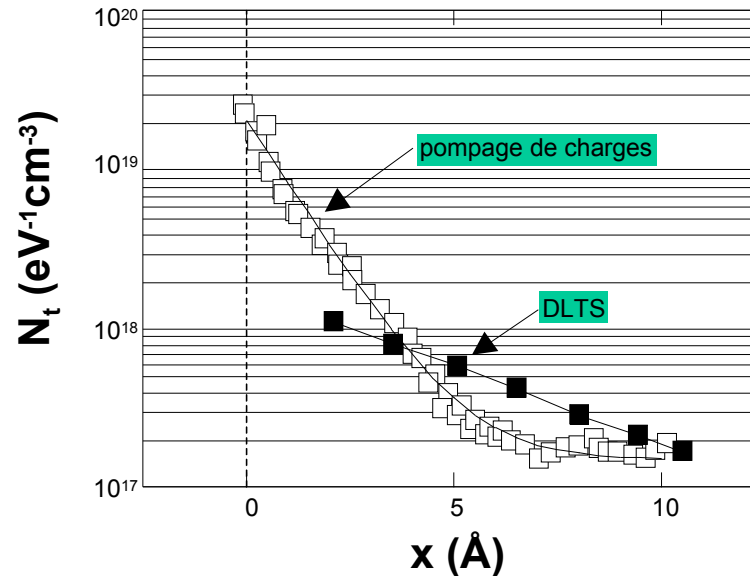
# Simulation des courbes $Q_{cp}(t_{r,f})$



(a) défauts d'interface ( $N_{ss} = 4,8 \cdot 10^{10} \text{ eV}^{-1}\text{cm}^2$ ) et (b) profil de défauts  
 $N_t(x) = N_{ts} \exp(-x/d) + N_{t0}$  ( $N_{ts} = 3 \cdot 10^{18} \text{ eV}^{-1}\text{cm}^{-3}$ ,  $N_{ts}/N_{t0} = 100$ ,  $d = 1 \text{ \AA}$ )  
 (dispositif ST  $800 \times 4 \mu\text{m}^2$ )

- (a) La simulation n'est pas satisfaisante aux faibles valeurs de  $V_{sw}$  (surévaluation du courant simulé).
- (b) Le 'fitting' est amélioré à faibles  $V_{sw}$  (là où le profil varie de manière exponentielle).

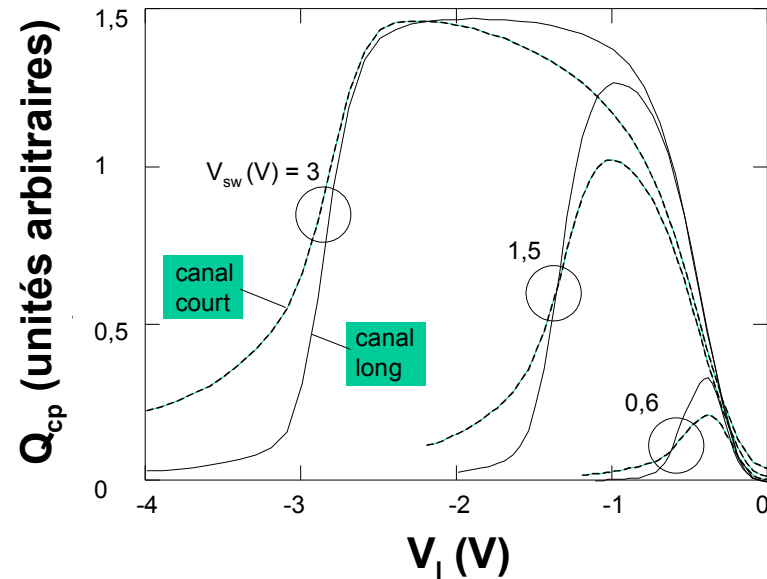
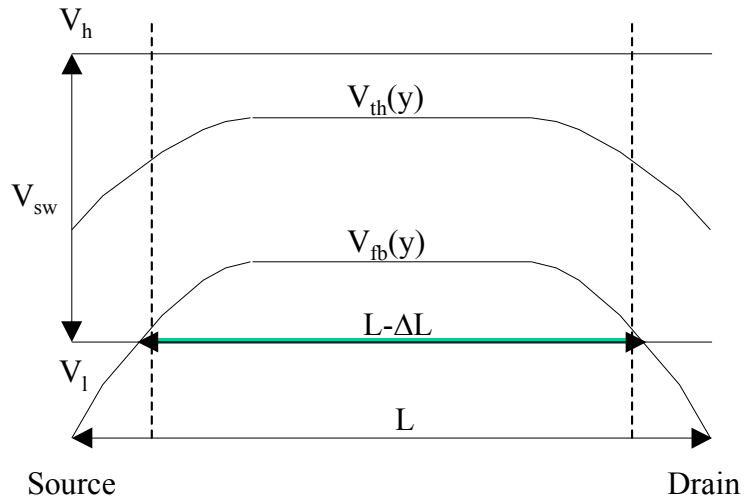
# Comparaison avec la DLTS en courant



Comparaison des profils de pièges obtenus sur le même dispositif par pompage de charges et DLTS en courant (Bauza) (dispositif ST  $800 \times 4 \mu\text{m}^2$  stressé à  $10^{17} \text{q cm}^{-2}$ )

- Les concentrations de défauts sont du même ordre de grandeur.
- Les profils n'ont pas exactement la même allure

# Contribution des régions de source et de drain



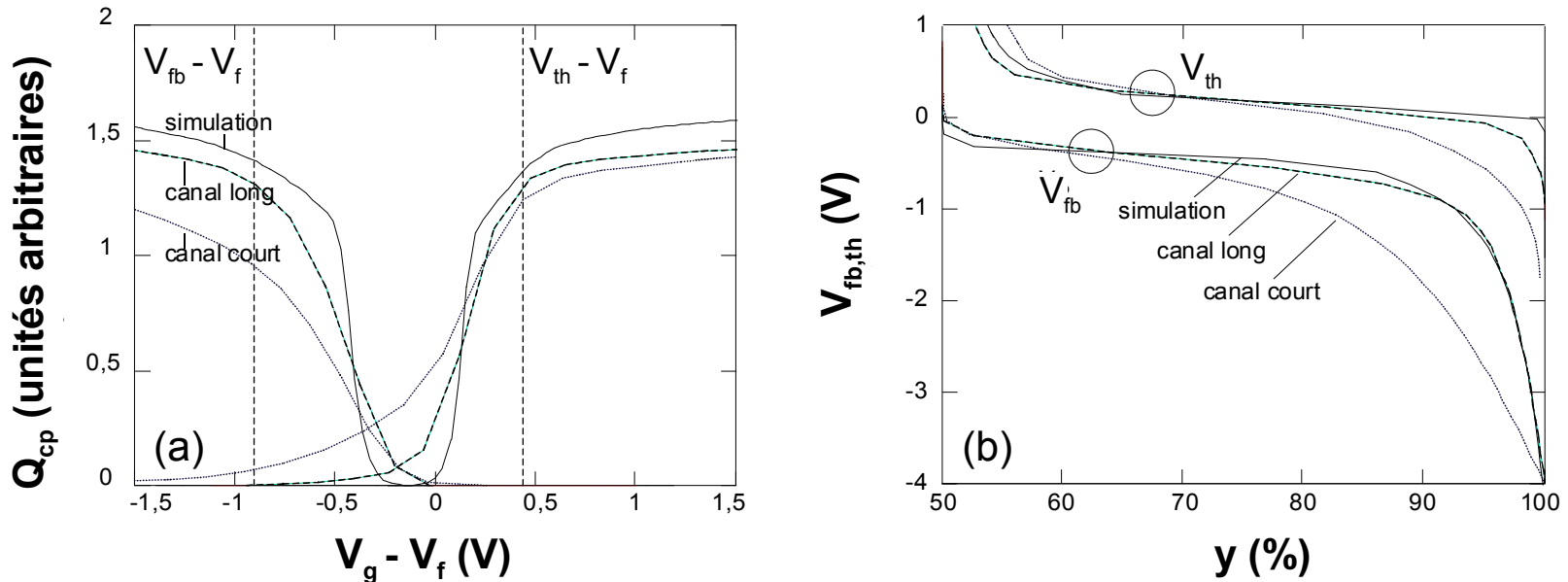
Tensions de seuil et de bandes plates le long du canal pour un transistor à canal n.  
 $L-\Delta L$  : région qui contribue à la recombinaison

Courbes  $Q_{cp}(V_l)$  à  $V_{sw} = cte$  de dispositifs ST à canal n :  
 long ( $4 \mu m$ ) et court ( $1,2 \mu m$ )

- Dopage non uniforme près des régions de source et de drain  
 ⇒ distribution de  $V_{th}$  et  $V_{fb}$  le long du canal.  
 ⇒ distortion des courbes  $Q_{cp}(V_l)$  à  $V_{sw} = cte$  (Heremans 89).



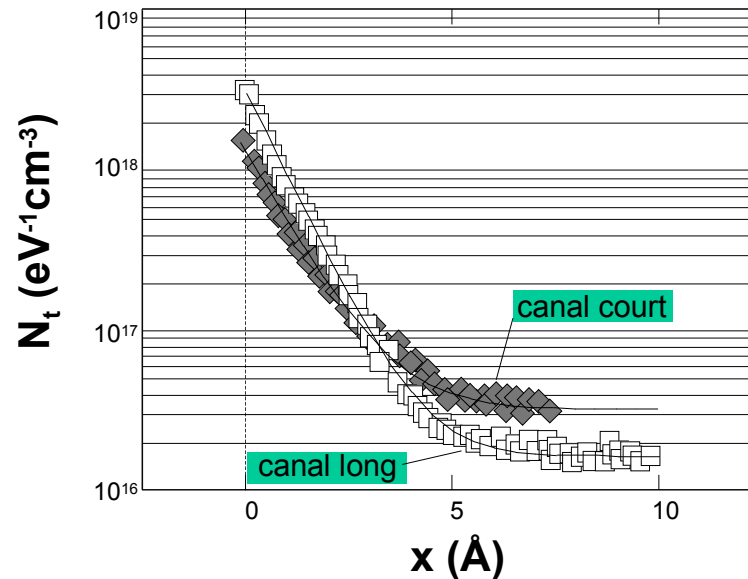
# Extraction de $V_{th}(y)$ et $V_{fb}(y)$



(a) Courbes  $Q_{cp}(V_l)$  à  $V_h = cte$  et  $Q_{cp}(V_h)$  à  $V_l = cte$  simulées et expérimentales  
(b) Profils longitudinaux des tensions de seuil et de bandes plates  
( $y(\%)$  : position relative dans le canal)

- simulation : pas d'effets source-drain ( $V_{th}$  et  $V_{fb}$  constants)
- canal long : effets source-drain négligeables
- canal court : effets source-drain importants
- Figure (b) : les variations  $V_{th}(y)$  et  $V_{fb}(y)$  sont surévaluées

# Effets source-drain sur les profils



Influence des régions de source et de drain sur les profils  
(dispositifs ST à canal n  $800 \times 4 \mu\text{m}^2$  et  $800 \times 1,2 \mu\text{m}^2$  )

- Dispositifs de même technologie mais de longueurs différentes
- Effets source-drain  $\Rightarrow$  modification des paramètres des profils

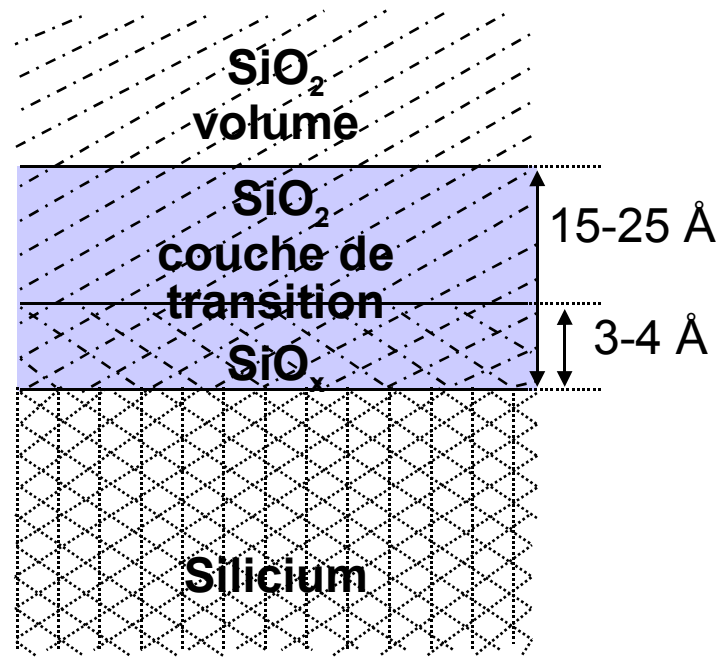
# Comparaison avec les résultats obtenus dans la littérature

■ Méthodes physiques :  
(microscopie électronique,  
rétrodiffusion d'ions,  
spectrométrie d'électrons...)



■ Méthodes électriques :  
(conductance, bruit)  
- plateau observé  
- décroissance exponentielle  
introduite dans des  
simulations  
de courbes expérimentales.

■  $N_t(x) = N_{ts} \exp(-x/d) + N_{t0}$  : couche  $\text{SiO}_x$  et couche de transition



# Limitations de la technique

---

Elles sont dues à la géométrie des dispositifs.

- Canal trop long :  $\Rightarrow$  *recombinaison dans le substrat (composante géométrique)*  
 $\Rightarrow$  limite les mesures à hautes fréquences
- Canal trop court :  $\Rightarrow$  *effets source / drain*  
 $\Rightarrow$  profils non fiables
- Surface trop petite :  $\Rightarrow$  *courant mesuré faible*  
 $\Rightarrow$  limite les mesures à basses fréquences
- Epaisseur de l'oxyde :  $\Rightarrow$  *courant tunnel additionnel*
- Profondeur de l'oxyde explorée : *10 à 15 Å*



# Sommaire IV

---

- I. Introduction
- II. Etudes avancées de l'interface
- III. Extraction des profils
- IV. Validation des résultats

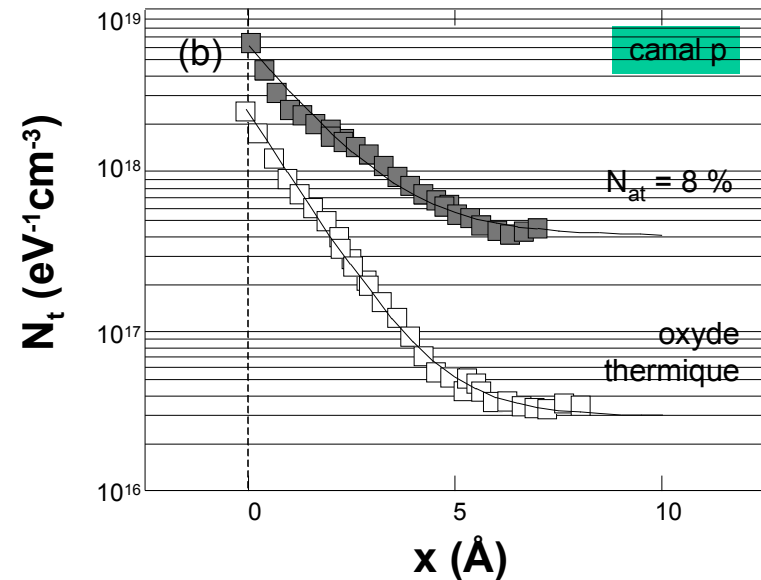
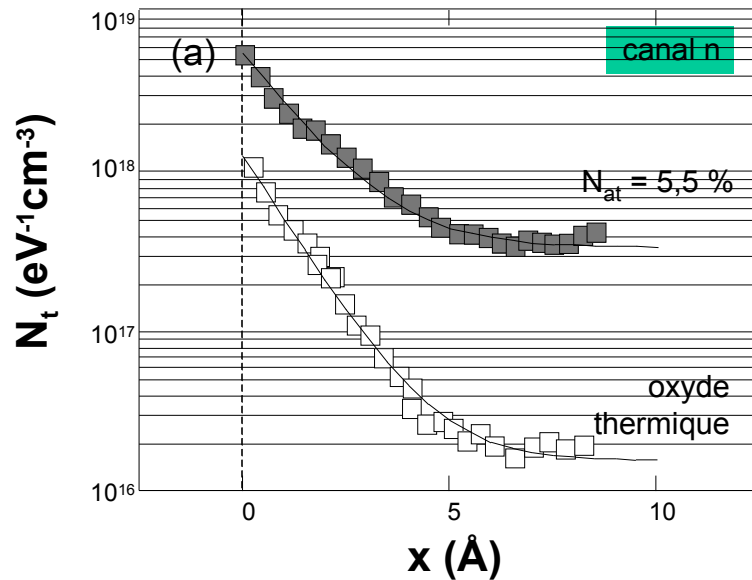
## IV. Applications

- Etude de transistors MOS utilisant un oxynitride obtenu par RTCVD comme diélectrique de grille
- Dégradation de l'interface Si-SiO<sub>2</sub> sous injection Fowler - Nordheim
- Comparaison avec la spectroscopie de bruit

## V. Conclusion



# Oxynitrures II

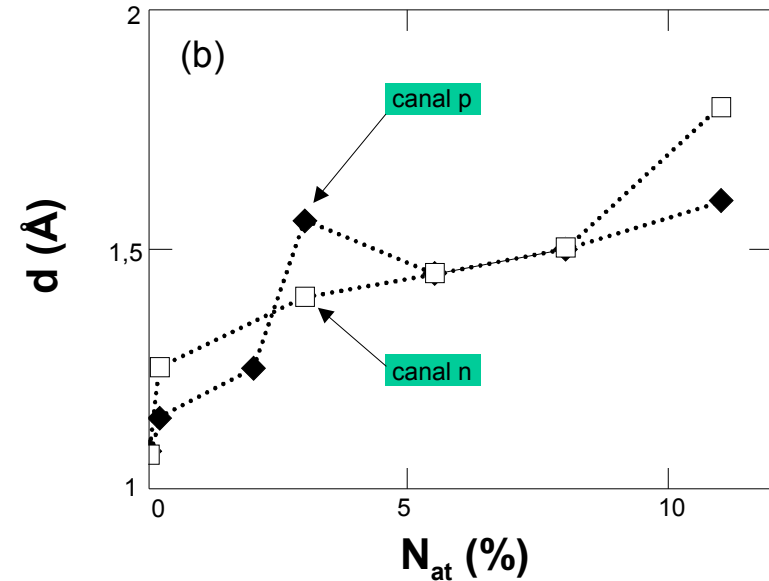
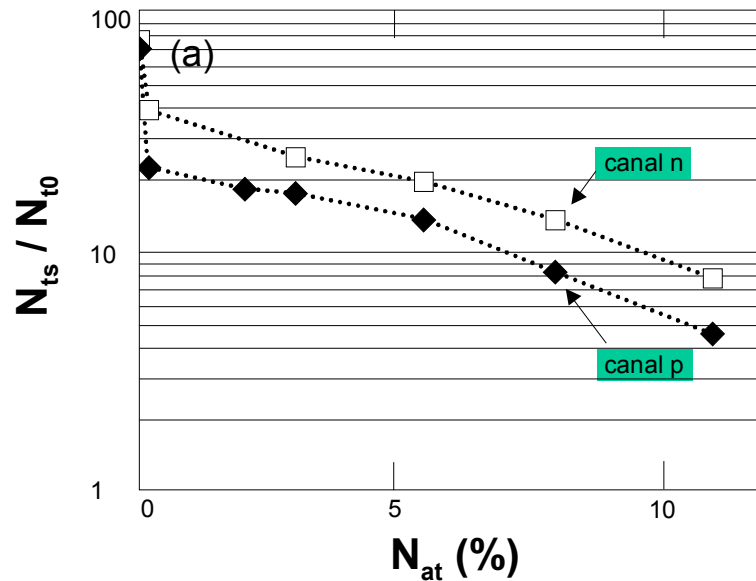


Profils obtenus sur les dispositifs à oxyde thermique et à oxynitrures (dispositifs NCSU 80 x 5  $\mu\text{m}^2$  et 80 x 2  $\mu\text{m}^2$ )

Quel que soit le type du dispositif (canal n ou p) :

- La densité d'états augmente plus vite dans le volume qu'à l'interface
- L'épaisseur de la couche interfaciale ( $d$ ) augmente avec  $N_{at}(\%)$ .

# Oxynitrures III

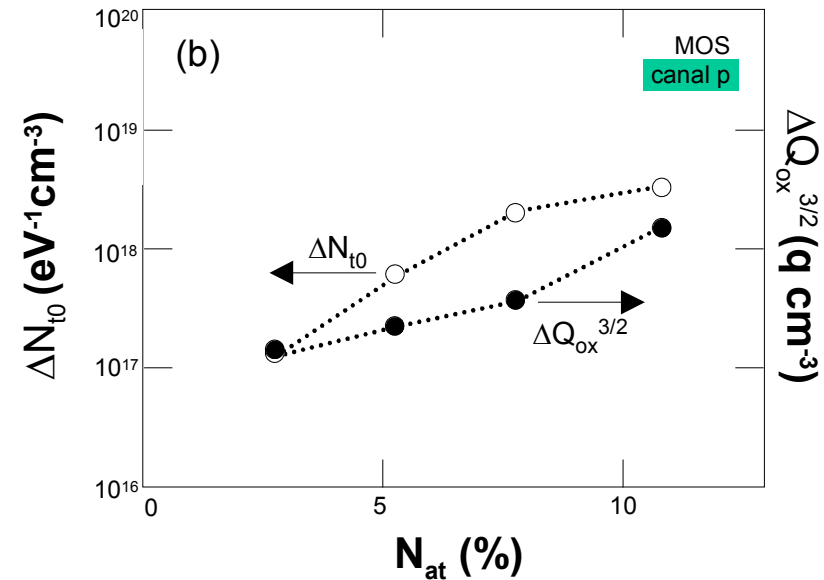
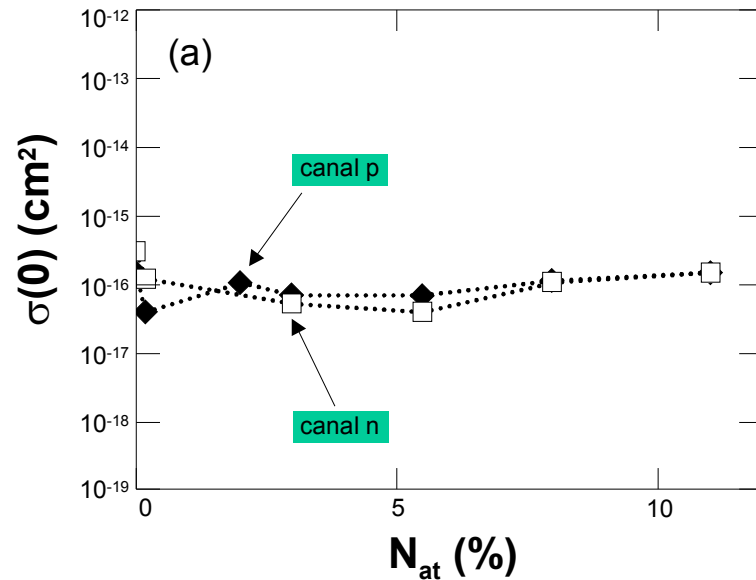


Evolutions (a) de  $N_{ts}/N_{t0}$  et (b) de  $d$   
 en fonction de la concentration en azote du film  
 (dispositifs NCSU 80 x 5 et 80 x 2  $\mu\text{m}^2$  à canaux n et p)

Quel que soit le type du dispositif (canal n ou p) :

	oxyde thermique	$N_{at} = 11\%$
$N_{ts} / N_{t0}$	2 décades	moins d'une décade
$d$	environ 1 Å	environ 1,7 Å

# Oxynitrures IV



Evolutions (a) de la section de capture moyenne à l'interface et (b) des variations  $\Delta N_{t0}$  et  $\Delta Q_{ox}^{3/2}$  avec la concentration en azote du film (dispositifs NCSU  $80 \times 5$  et  $80 \times 2 \mu\text{m}^2$  à canaux n et p)

Quel que soit le type du dispositif (canal n ou p) :

- $\sigma(0)$  indépendant de la concentration en azote de l'isolant.
- Forte corrélation entre  $\Delta N_{t0}$  et  $\Delta Q_{ox}$  extrait des variations de  $V_{th}$ .



# Oxynitrures : Conclusion

---

Etude de dispositifs possédant comme film isolant un oxynitruire obtenu par RTCVD (canal n ou p) :

## ■ Couche interfaciale :

- $d$  augmente avec  $N_{at}(\%)$

⇒ l'épaisseur de la couche interfaciale augmente avec la concentration en azote.

## ■ Oxyde :

- $\sigma(0)$  ne varie pas avec  $N_{at}(\%)$

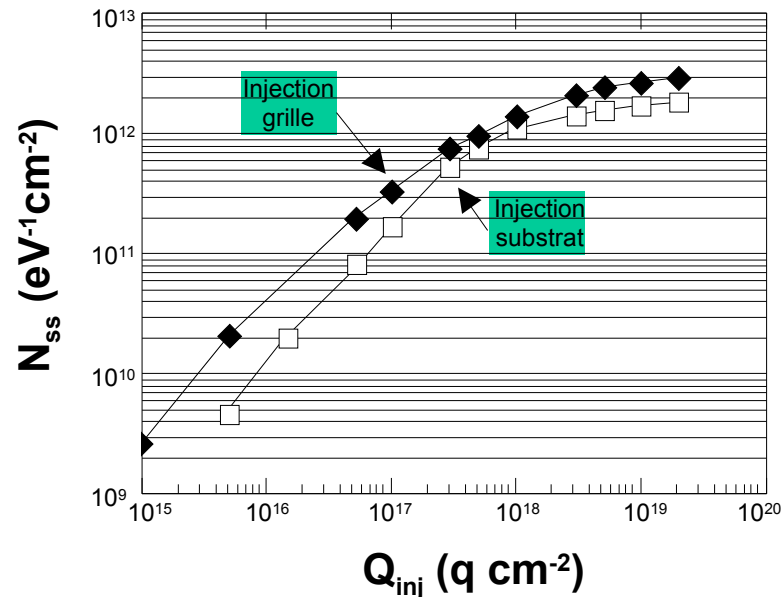
⇒ pas d'évolution des possibilités de capture des porteurs dans l'isolant

- La densité de défauts augmente plus vite dans l'oxyde qu'à l'interface avec la concentration en azote.

⇒ rôle des états lents croissant.

- Forte corrélation entre la charge de l'oxyde et la densité de défauts dans l'oxyde.

# Injection Fowler-Nordheim I

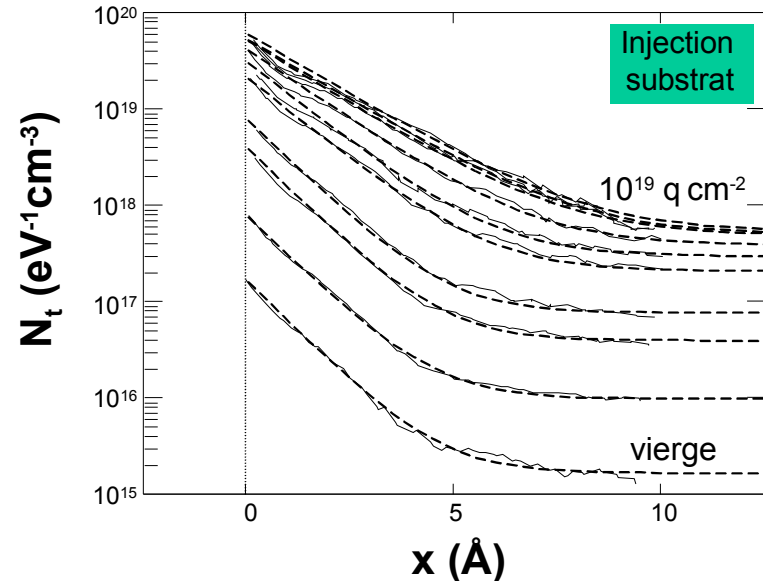
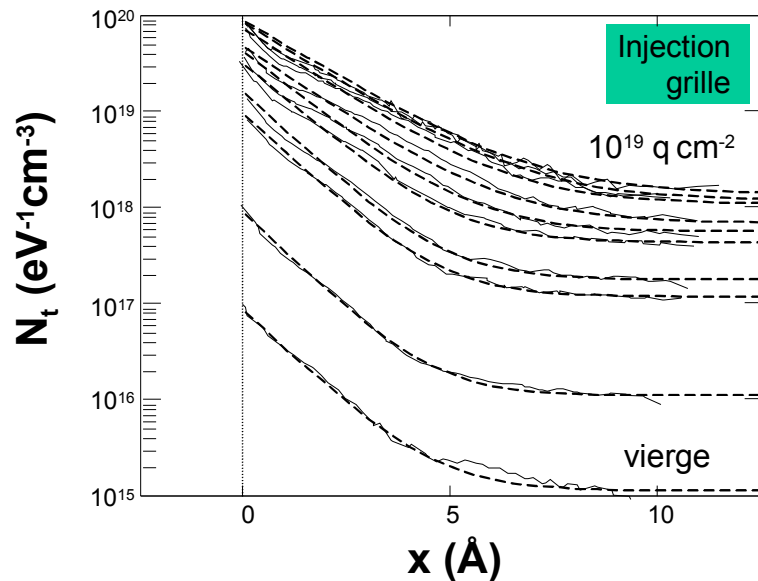


Evolution de la densité d'états d'interface en fonction de la charge injectée et du sens de l'injection (dispositifs IBM 13000 x  $1,5 \mu\text{m}^2$  à canal n)

■ Quel que soit le sens d'injection :

$N_{ss}$  évolue beaucoup en début de stress et sature en fin de stress.

# Injection Fowler-Nordheim II

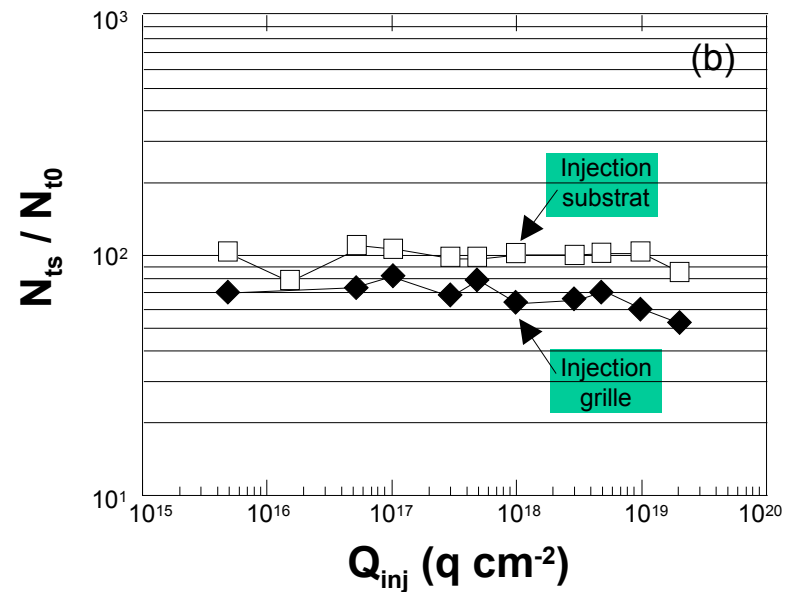
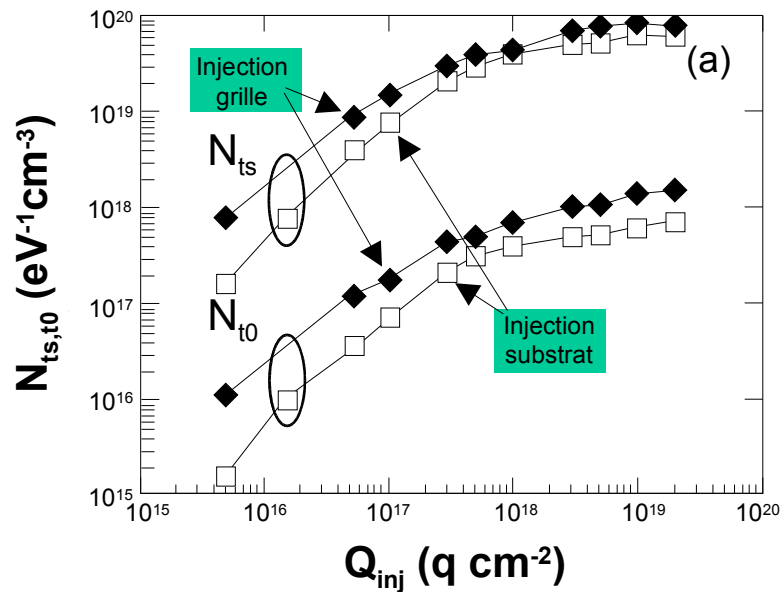


Evolution des profils en fonction de la charge injectée et superposition par des courbes  $N_t(x) = N_{ts} \exp(-x/d) + N_{t0}$  (dispositifs IBM 13000 x  $1,5 \mu\text{m}^2$  à canal n)

## ■ Quel que soit le sens d'injection :

- Comme  $N_{ss}$ , les profils évoluent beaucoup en début de stress et peu en fin de stress.
- Ils sont toujours de la forme  $N_t(x) = N_{ts} \exp(-x/d) + N_{t0}$ .

# Injection Fowler-Nordheim III

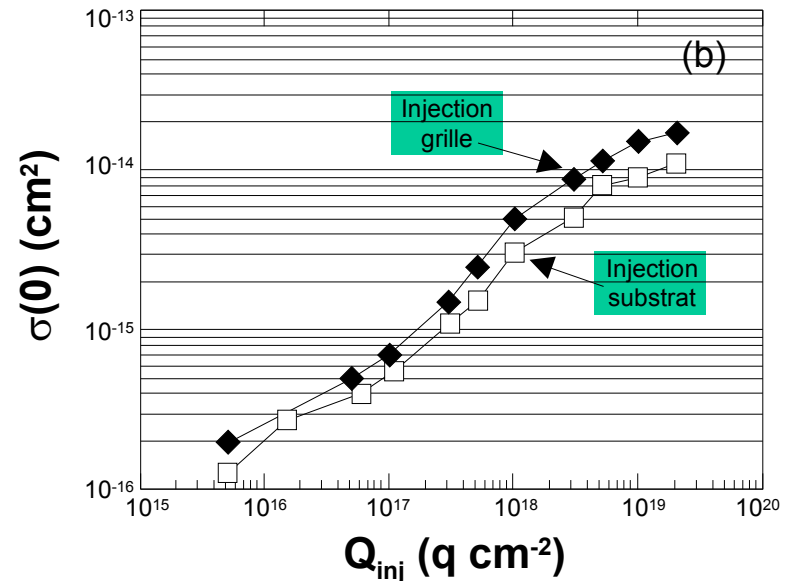
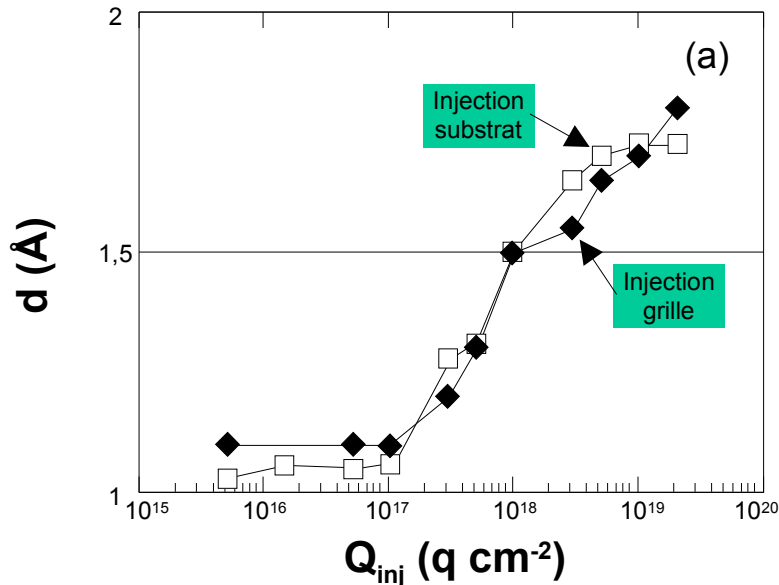


Evolution (a) des paramètres  $N_{ts}$  et  $N_{t0}$  et (b) de  $N_{ts}/N_{t0}$   
 en fonction de la charge injectée  
 (dispositifs IBM 13000 x 1,5  $\mu\text{m}^2$  à canal n)

(a)  $N_{ts}$  et  $N_{t0}$  évoluent comme  $N_{ss}$ .

(b) Le rapport  $N_{ts}/N_{t0}$  n'évolue pas dans le cas de l'injection par la grille et décroît légèrement dans le cas de l'injection par le substrat.

# Injection Fowler-Nordheim IV



Evolution (a) de  $d$  et (b) de la section de capture moyenne à l'interface, en fonction de la charge injectée (dispositifs IBM 13000 x 1,5  $\mu\text{m}^2$  à canal n)

■ Quel que soit le sens d'injection :

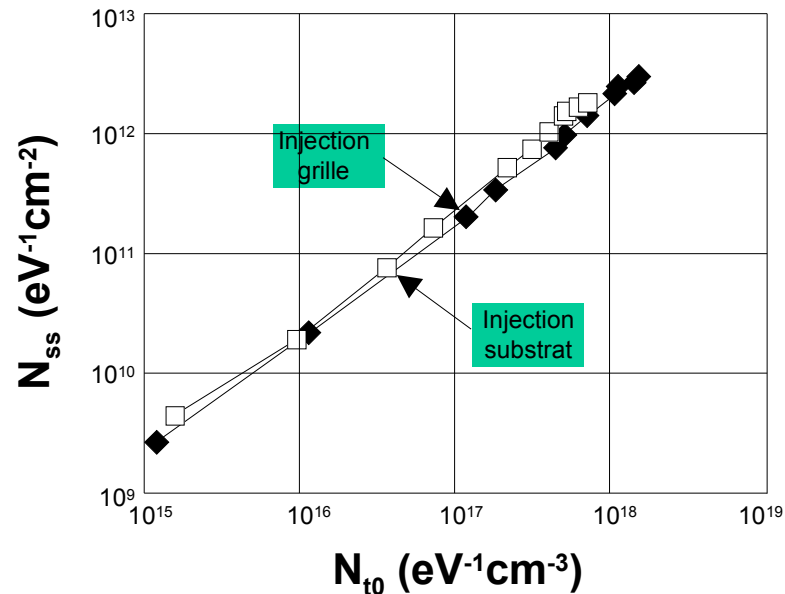
(a)  $d$  passe de 1 à presque 2 Å

⇒ élargissement de la couche interfaciale avec le stress.

(b) Les sections de capture augmentent de 2 décades ( $\sigma(0) \propto Q_{inj}^{0,5}$ )

⇒ augmentation des taux de capture.

# Injection Fowler-Nordheim V



Evolutions de la densité d'états d'interface  $N_{ss}$   
en fonction de la densité de pièges dans le volume de l'oxyde  $N_{t0}$   
(dispositifs IBM 13000 x  $1,5 \mu\text{m}^2$  à canal n)

Quel que soit le sens d'injection

$N_{t0}$  varie comme  $N_{ss}$  (pente  $\approx 1$ )

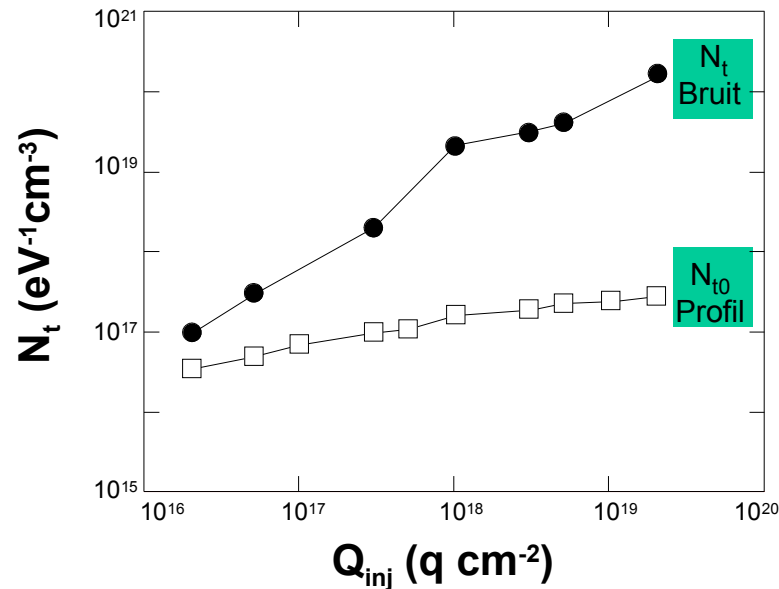
# Injection Fowler-Nordheim : Conclusion

---

- Evolutions des paramètres de l'interface sous injection Fowler-Nordheim :
  - extension de la couche interfaciale en direction de l'oxyde (augmentation de  $d$ )
  - augmentation de la proportion de charge stockée dans le volume de l'oxyde (augmentation de  $\sigma(0)$ , diminution de  $N_{ts}/N_{t0}$ )
- Quasi indépendance des résultats avec le sens de l'injection  
⇒ la région tunnel se dégrade.
- $N_{ss}$  évolue  $\approx$  comme  $N_{t0}$



# Spectroscopie de Bruit I



Comparaison de la densité de défauts lents obtenue par pompage de charges et par bruit (McWhorter) en fonction de la charge injectée (dispositif ST  $800 \times 4\ \mu\text{m}^2$  à canal p)

■ Faible niveau de stress : concentrations de défauts voisines

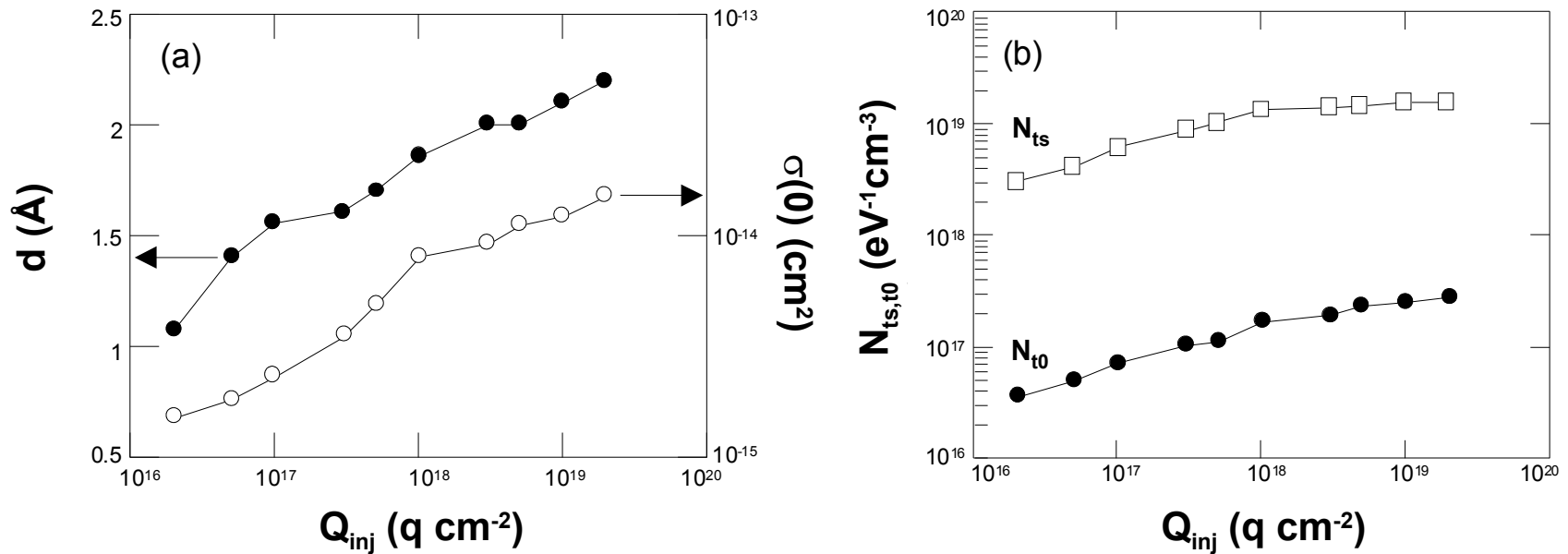
■  $N_t$  bruit augmente plus rapidement que  $N_{t0}$  avec le stress :

$$N_t/N_{t0} \approx 3 \text{ pour } Q_{inj} = 2 \cdot 10^{16} \text{ q cm}^{-2},$$

$$N_t/N_{t0} \approx 1000 \text{ pour } Q_{inj} = 2 \cdot 10^{19} \text{ q cm}^{-2}.$$



# Spectroscopie de Bruit II

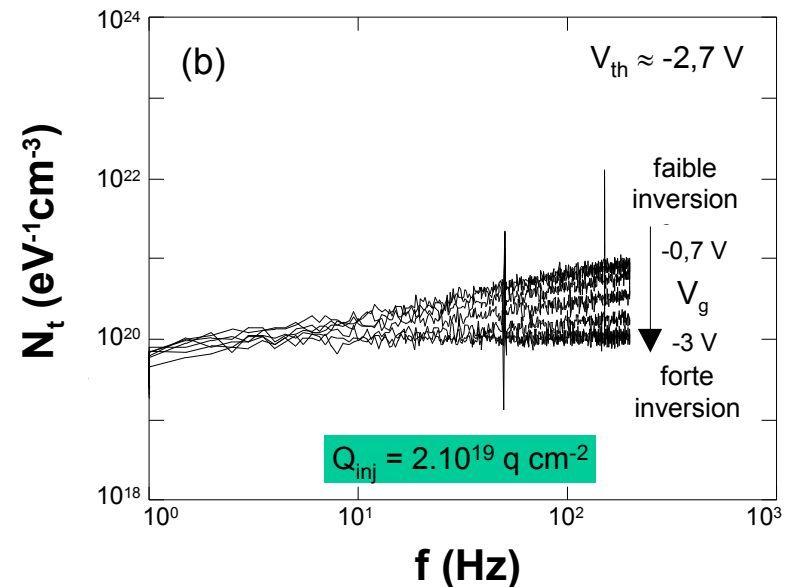
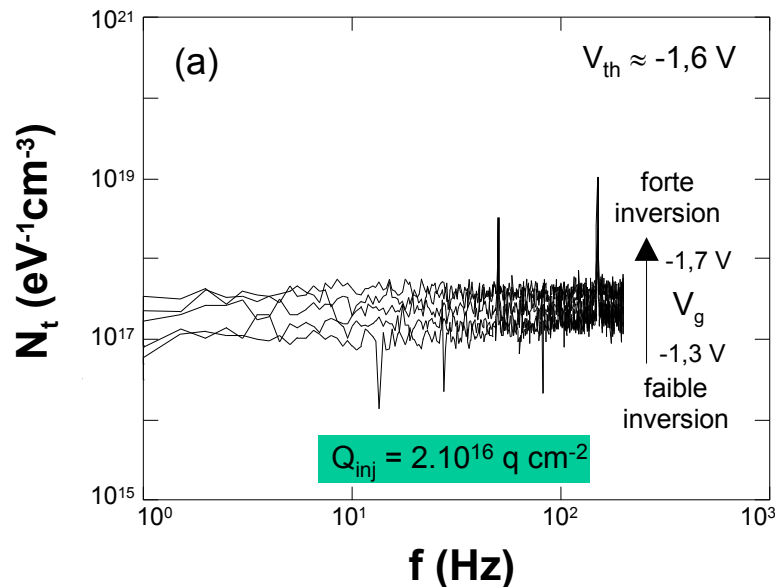


Evolutions en fonction de la charge injectée

(a) de  $d$  et de  $\sigma(0)$  et (b) de  $N_{ts}$  et  $N_{t0}$   
(dispositif ST 800 x 4 μm<sup>2</sup> à canal p)

- $d$  est multiplié par 2,3  
 $\sigma(0)$  augmente d'une décade
- La technique peut être utilisée pour comparer une technologie par rapport à une autre.

# Spectroscopie de Bruit III



Spectre en fréquences de la densité volumique de pièges pour l'échantillon (a) peu stressé et (b) fortement stressé. (dispositif ST 800 x 4  $\mu\text{m}^2$  à canal p)

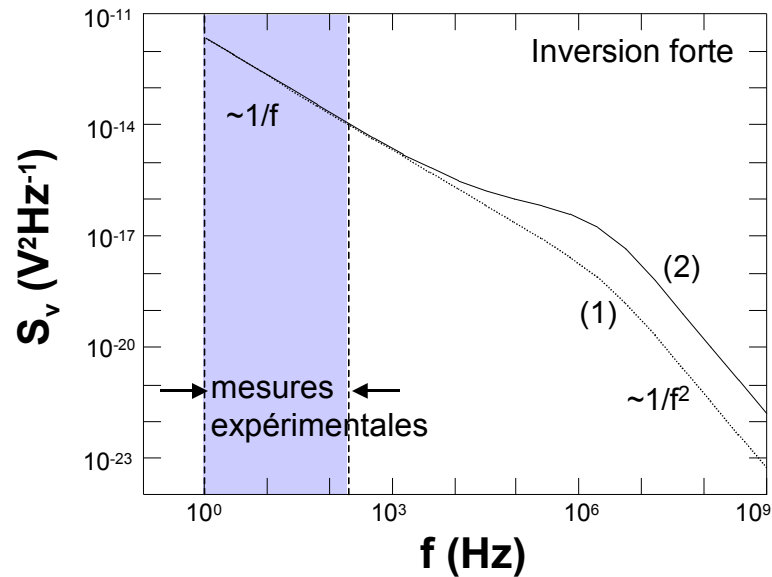
## ■ Faible niveau de stress :

- $N_t$  varie peu avec la fréquence (bruit en  $1/f$ )
- $N_t$  augmente très légèrement avec  $V_g$  vers l'inversion forte.

## ■ Fort niveau de stress :

- Forte dépendance de  $N_t$  avec la fréquence
- Le bruit est en  $1/f^\gamma$ ,  $\gamma < 1$  et  $\gamma$  diminue vers l'inversion faible.

# Spectroscopie de Bruit IV

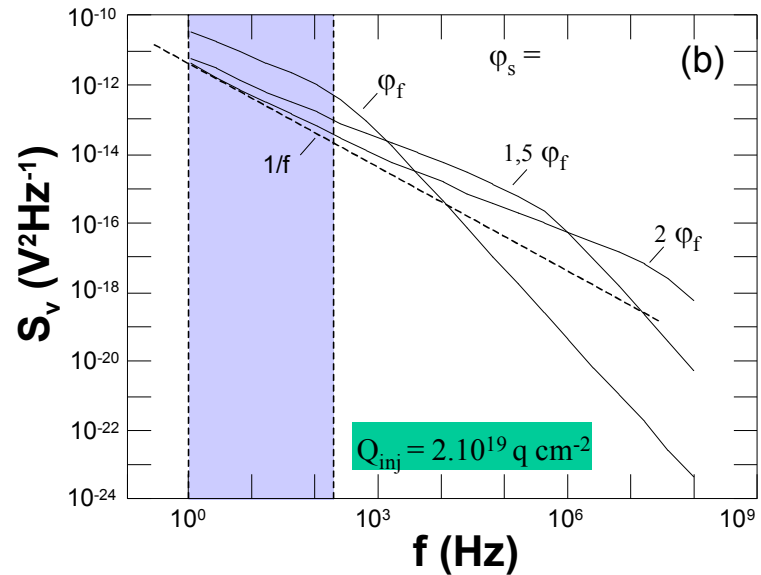
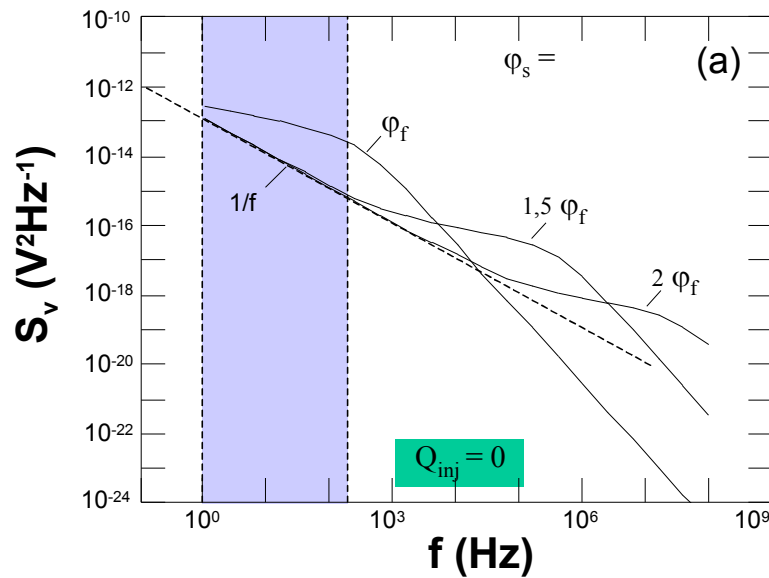


Simulation de spectres

- (1) densité de pièges,  $N_{t0}$  constante dans l'oxyde  
(2)  $N_t(x) = N_{ts} \exp(-x/d) + N_{t0}$  avec  $d = \lambda$   
(Christensson et Lundström)

- Basses fréquences : bruit  $1/f$
- Hautes fréquences : bruit  $1/f^2$

# Spectroscopie de Bruit V



Spectres simulés pour 3 valeurs de tension allant de l'inversion faible à l'inversion forte avec  $N_t(x) = N_{ts} \exp(-x/d) + N_{t0}$  et les paramètres des profils mesurés

(a) dispositif vierge,  $d = 1,35 \lambda$  et  $N_{ts}/N_{t0} = 155$  et

(b) dispositif stressé,  $d = 3,15 \lambda$  et  $N_{ts}/N_{t0} = 54$

Dans la bande 1-200 Hz :

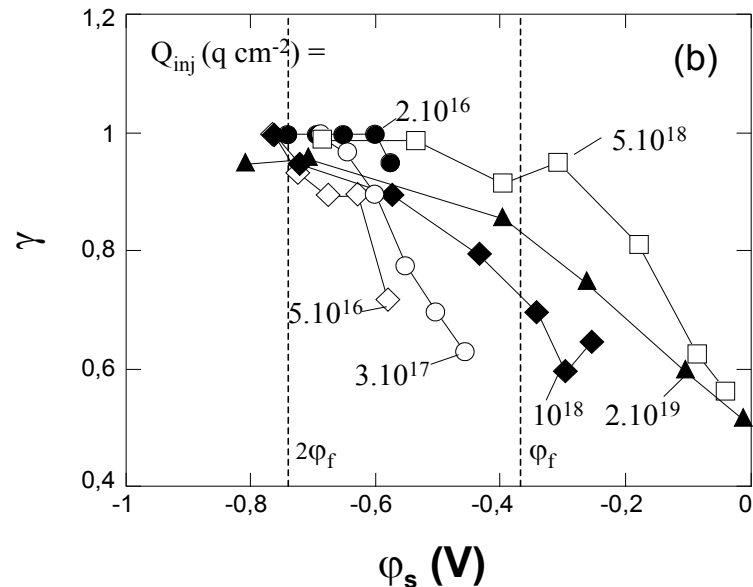
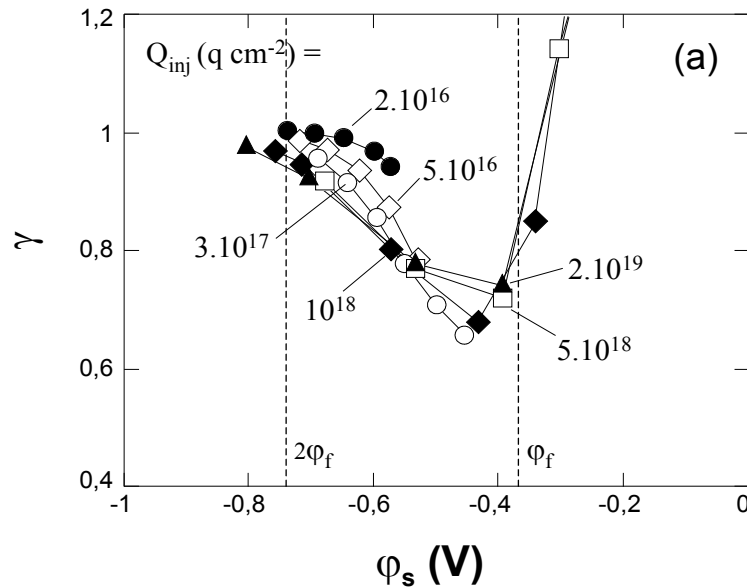
■ Faible niveau de stress :  $1/f$  sauf en inversion faible.

■ Fort niveau de stress :  $1/f^\gamma$ ,  $\gamma < 1$  sur une large gamme de tensions

$d_{\text{stressé}} > d_{\text{vierge}} \Rightarrow$  la partie exponentielle du profil influe plus sur

le spectre qui n'est plus en  $1/f$ .

# Spectroscopie de Bruit VI



Pente des spectres (a) **simulés** et (b) **mesurés** en fonction du potentiel de surface et pour différents niveaux de stress (dispositif ST 800 x 4  $\mu\text{m}^2$  à canal p)

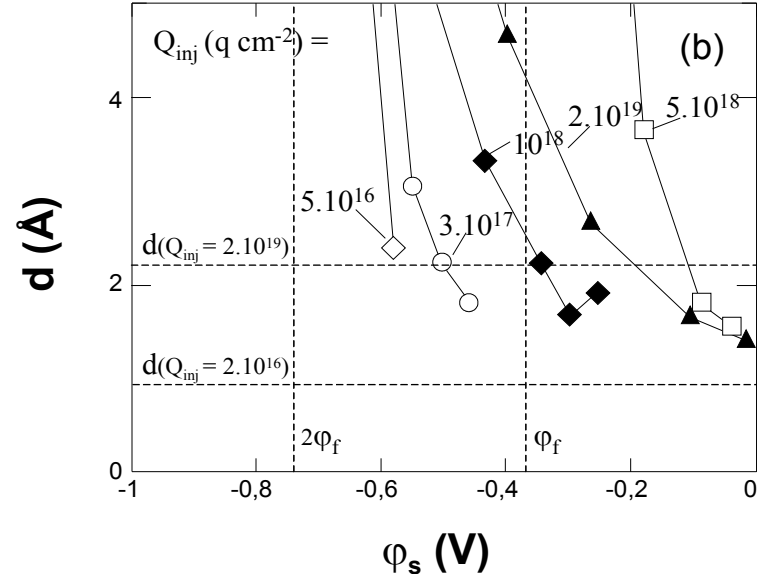
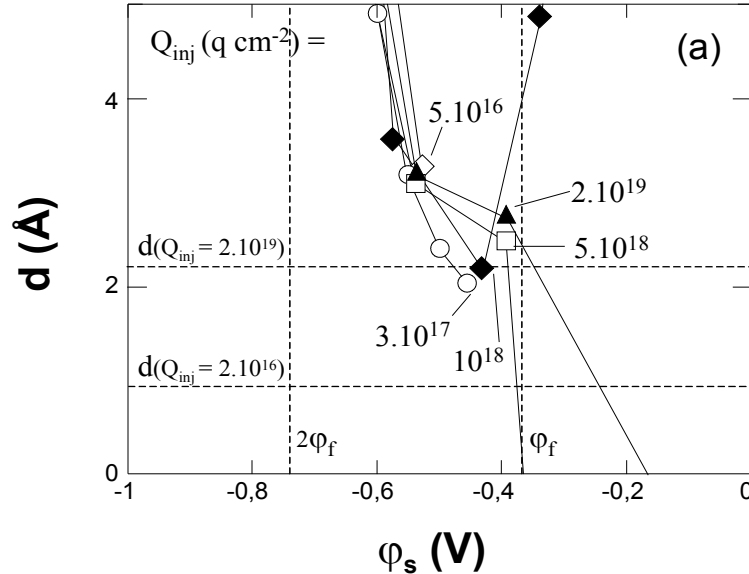
## (a) Spectres simulés

- Faible stress :  $\gamma \approx 1$  sauf en inversion faible où  $\gamma$  diminue brutalement
- Fort stress :  $\gamma < 1$  partout et varie fortement et continuellement

## (b) Spectres mesurés

- Mêmes tendances que (a)
- Pour  $Q_{inj} > 10^{18}$  q cm<sup>-2</sup>, valeurs de  $\phi_s$  irréalistes car proches de 0.

# Spectroscopie de Bruit VII



Evolutions en fonction du potentiel de surface et pour différents niveaux de stress, de  $d$  obtenu à partir de la pente des spectres de bruit entre 1 et 200 Hz (Berz).  
 (a) spectres simulés en introduisant des profils en  $N_t(x) = N_{ts} \exp(-x/d) + N_{t0}$  et les paramètres des profils mesurés et (b) spectres mesurés

■ Berz :  $d = \frac{\lambda}{1 - \gamma}$  avec profil purement exponentiel

■ Seul l'ordre de grandeur de  $d$  peut être mis en évidence aux plus faibles valeurs de courant.

# Spectroscopie de Bruit : Conclusion

---

- Ecart croissant avec le niveau de stress entre les concentrations de défauts dans le volume de l'oxyde obtenues par bruit et par pompage de charges.
- La pente des spectres de bruit a été corrélée à la partie exponentielle des profils.
- $d$  ne peut être extrait à partir des mesures de bruit seules.



# Conclusion

---

- \* Le profil en profondeur de défauts à l'interface Si/SiO<sub>2</sub> peut être mesuré à partir de la technique du pompage de charges.
- \* Cette méthode a été appliquée sur de nombreux dispositifs MOS (à canal n ou p), vierges, stressés, nitrurés, de différentes longueurs.
- \* Le profil obtenu est de la forme  $N_t(x) = N_{ts} \exp(-x/d) + N_{t0}$   
Ce profil de type exponentiel est en accords avec ceux suggérés dans la littérature.
- \* L'évolution des paramètres des profils en fonction du stress et de la nitruration à été étudiée.
- \* L'évolution des paramètres des profils avec le stress a été corrélée à la pente des spectres de bruit.
- \* Perspectives :
  - Poursuite de l'étude sur la dégradation et comparaison avec le bruit.
  - Etude de la dégradation d'oxyde plus minces.
  - Extension de la technique au pompage 3 niveaux.

