

Etude électrique et physique à l'échelle nanométrique des couches minces de SiO₂ thermique sous différentes atmosphères

W. Hourani¹, B. Gautier¹, L. Militaru¹, D. Albertini¹, A. Descamps-Mandine¹, A. Grandfond¹ et R. Arinero²

¹Université de Lyon, Institut des Nanotechnologies de Lyon (INL), UMR CNRS 5270, INSA de Lyon, 7 avenue Jean Capelle, 69621 Villeurbanne Cedex, France

²Université Montpellier 2, Institut d'Electronique du Sud (IES), UMR CNRS 5214, Place Eugène Bataillon, 34095 Montpellier Cedex, France

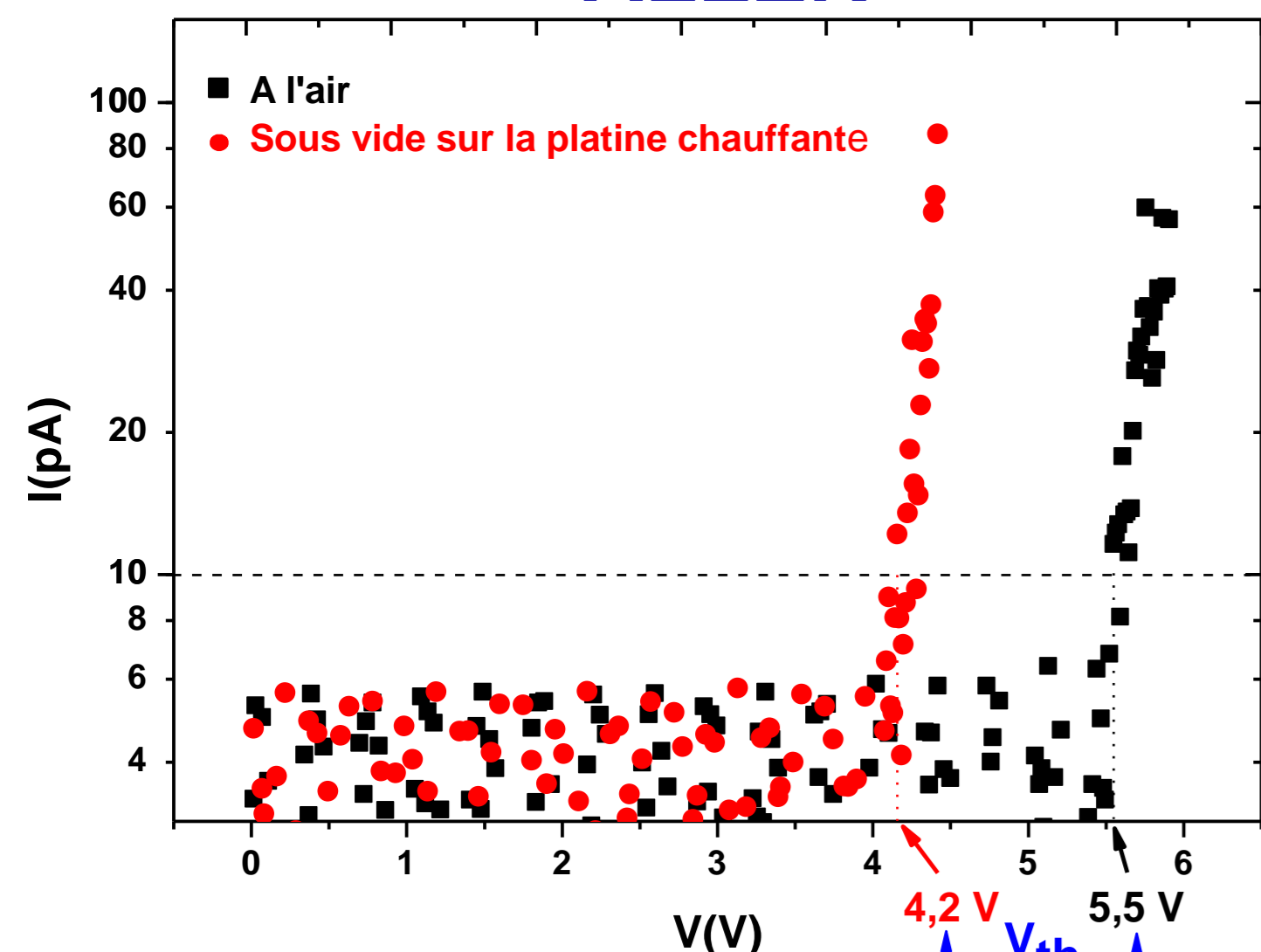
E-mail: wael.hourani@insa-lyon.fr

Objectifs

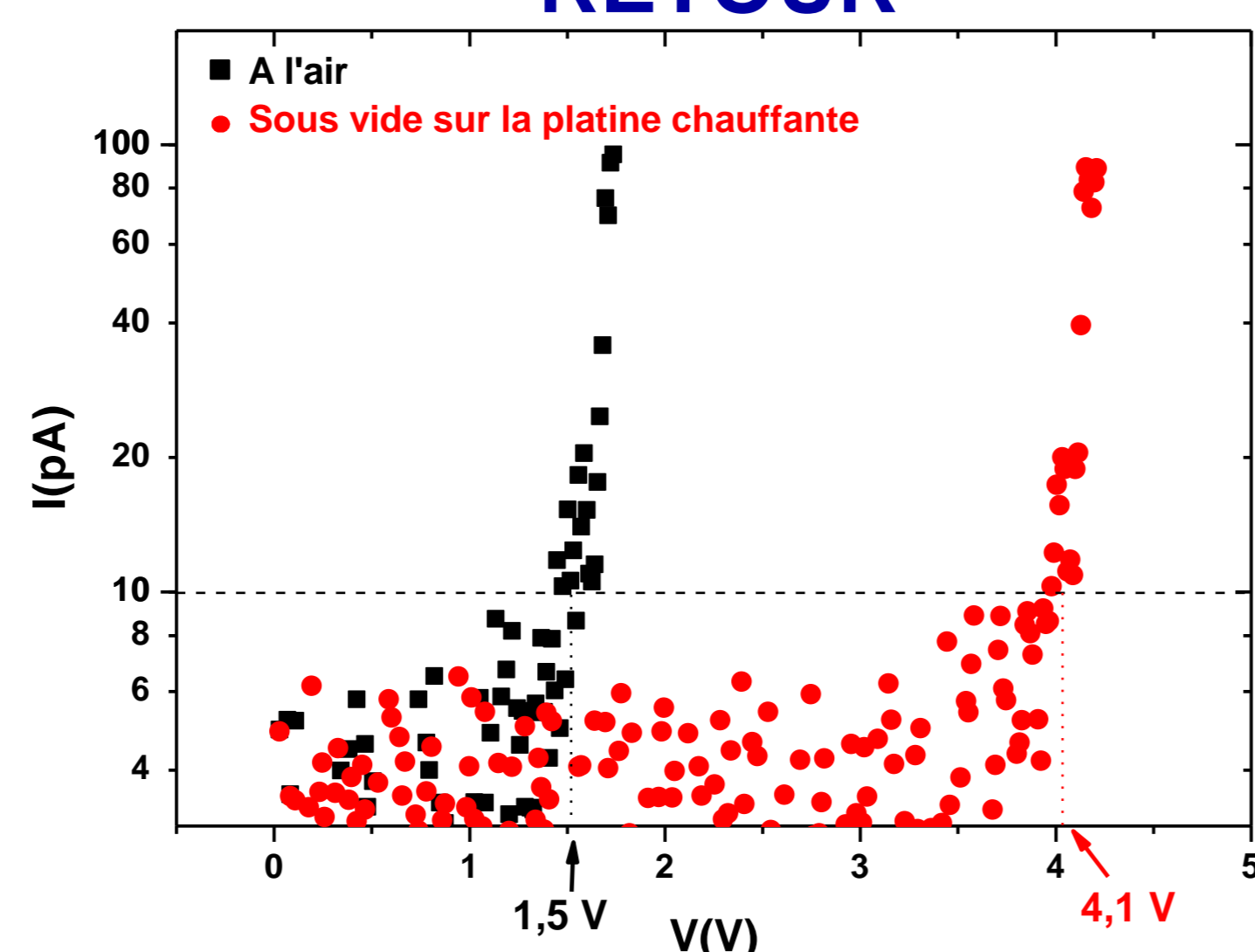
- Etudier les caractéristiques électriques et physiques de SiO₂ thermique d'épaisseur 3,5 nm en utilisant le microscope à force atomique (AFM) mode électrique (TUNA)
- Manipuler à l'air et sous vide avec une platine chauffante afin d'étudier le rôle de l'atmosphère ambiante et en particulier de la couche d'eau adsorbée à la surface de l'oxyde sur la dégradation électrique et physique des films d'oxydes minces
- Utiliser la statistique de Weibull pour vérifier la homogénéité et la non-homogénéité du claquage à l'air et sous vide avec la platine chauffante respectivement

Caractéristiques électriques et le phénomène du claquage

ALLER

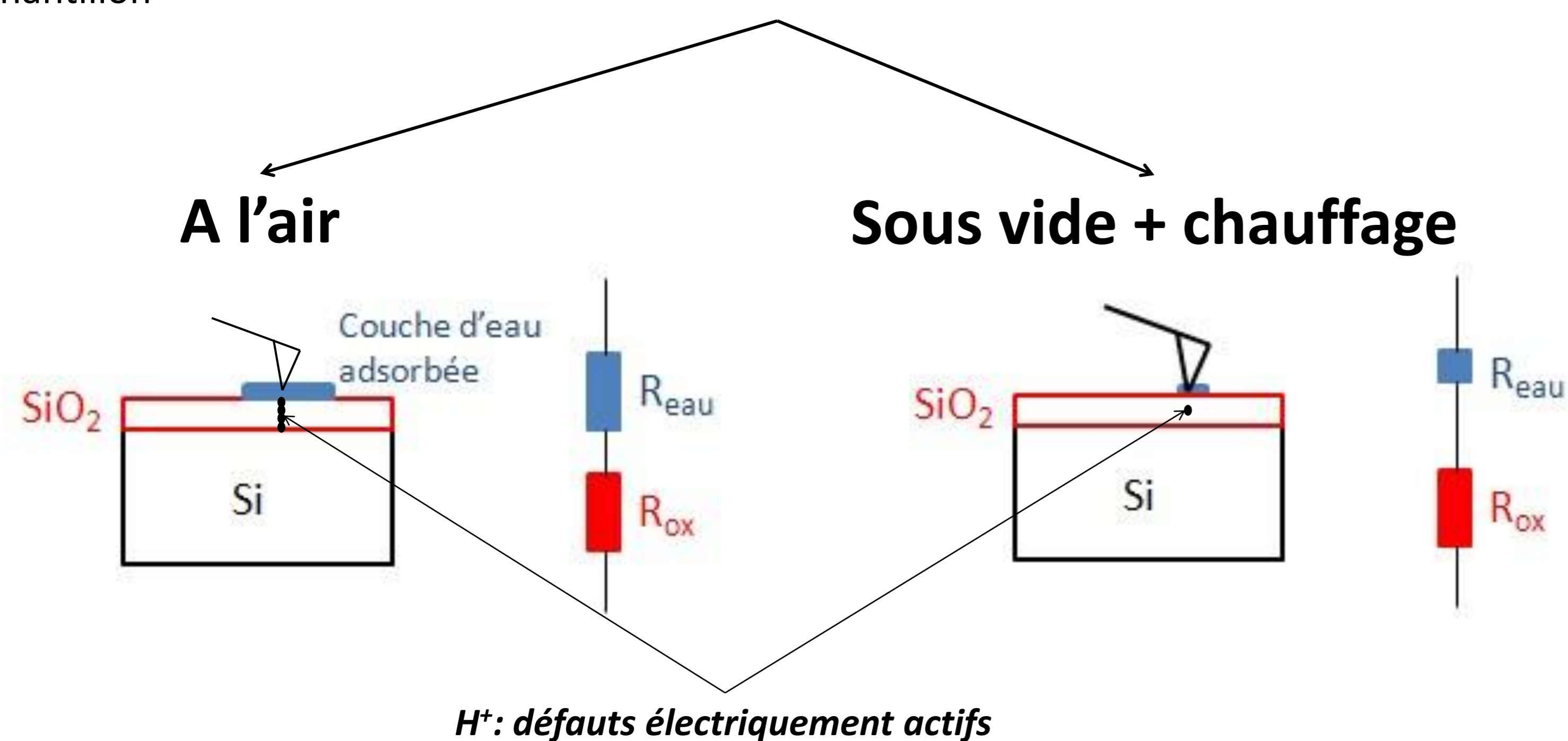


RETOUR



Caractéristiques I-V de SiO₂ d'épaisseur 3,5 nm effectuées à l'air et sous vide sur une platine chauffante

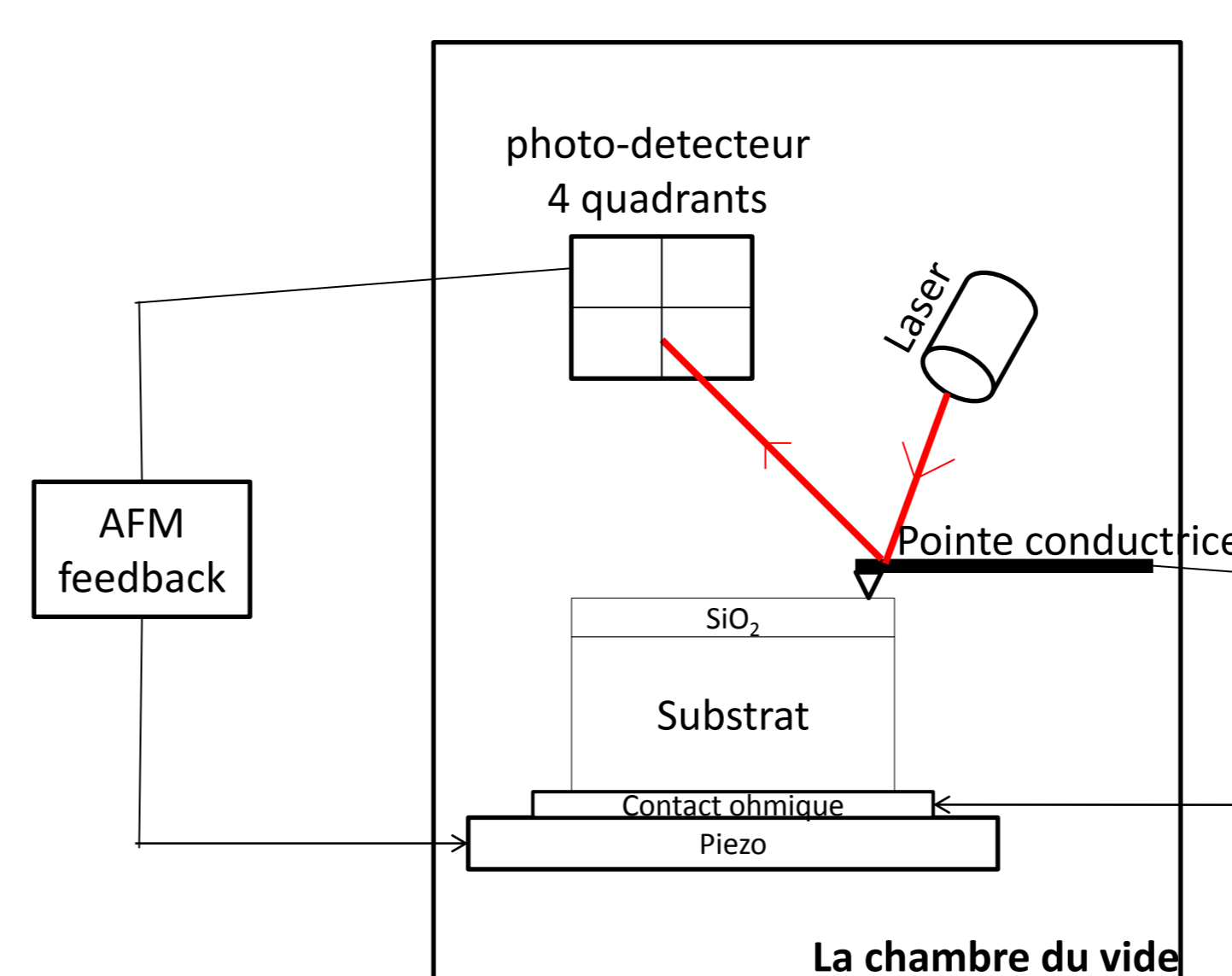
ALLER: $V_{th\ air} > V_{th\ vide} \Rightarrow$ sous vide sur une platine chauffante il y a une suppression partielle de la couche d'eau, qui se traduit par la suppression d'une résistance d'accès entre la pointe et l'échantillon



RETOUR: $V_{th\ air}$ a diminué fortement par rapport à celle de l'ALLER
 $V_{th\ vide}$ reste quasiment la même que celle de l'ALLER

\Rightarrow en appliquant une tension positive à la pointe de l'AFM et en présence d'une couche d'eau à la surface de l'oxyde à l'air, des ions H⁺ sont injectés à travers l'oxyde formant des défauts d'hydrogène électriquement actifs fixés dans le volume. D'autre part, sous vide et sur la platine chauffante, la couche d'eau est largement réduite, réduisant ou supprimant du même coup l'injection d'espèces chargées dans l'oxyde

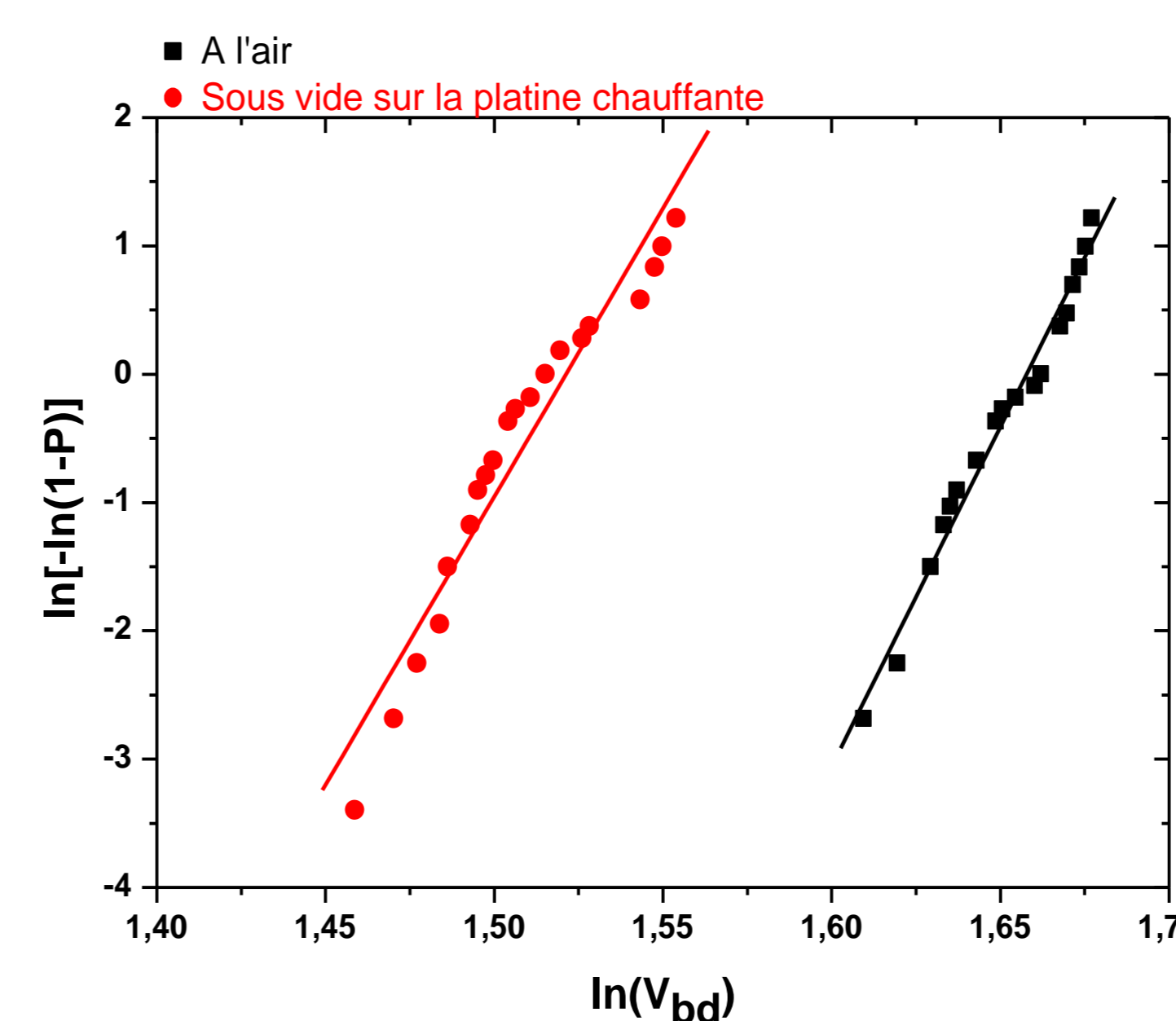
Le principe de l'AFM en mode TUNA dans une chambre du vide



Le mode TUNA est utilisé pour caractériser ces couches électriquement en appliquant des rampes de tension (Ramped Voltage Stress: RVS) et mesurer le courant qui circule à travers l'oxyde. Des caractéristiques courant-tension (I-V) localisées peuvent ainsi être obtenues

Celles-ci ont été effectuées dans deux atmosphères différentes: à l'air à l'aide d'une dimension 3100 et sous vide ($\sim 10^{-6}$ mbar) à l'aide d'un E-SCOPE. En outre, une platine chauffante (jusqu'à ~ 120 °C) a été utilisée sous vide pour continuer à évaporer la couche d'eau adsorbée sur la surface d'oxyde

Statistique du claquage: Weibull



La probabilité cumulée du claquage est donnée par:

$$P_{cumul} = 1 - e^{-\left(\frac{V_{bd}}{\alpha}\right)^\beta}$$

V_{bd} : la tension du claquage (breakdown)
 α : la valeur de V_{bd} pour un taux de défaillance de 63 %
 β : la pente de Weibull représentant la dispersion

Pour extraire les valeurs de α et $\beta \Rightarrow$

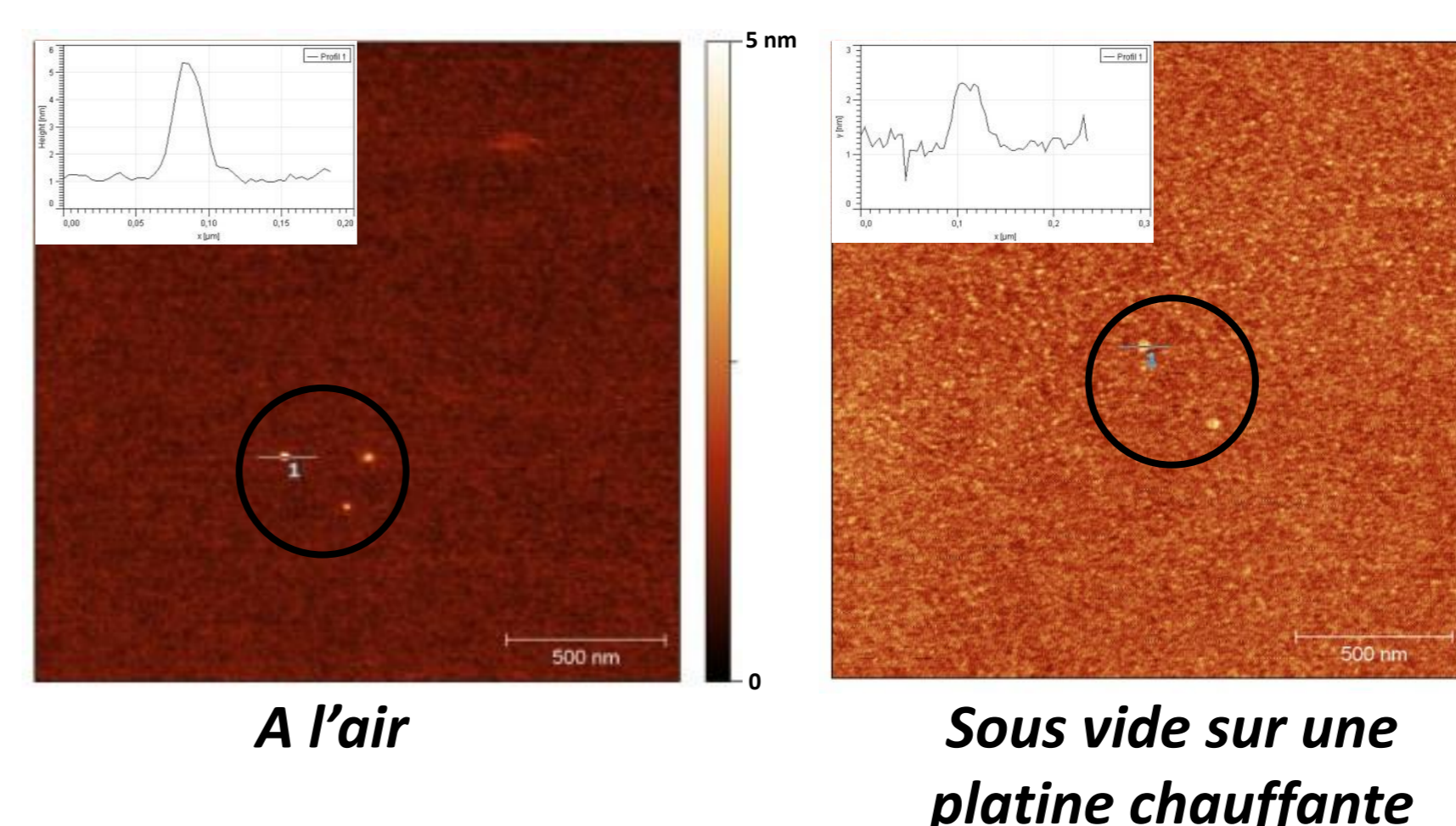
$$\ln[-\ln(1-P_{cumul})] = \beta \ln(V_{bd}) - \beta \ln(\alpha)$$

A l'air: $\alpha = 5,3$ V et $\beta = 52,88$

Sous vide: $\alpha = 4,6$ V et $\beta = 45$

Cohérentes avec le phénomène du claquage discutés avant: A l'air le claquage est plus homogène que sous vide ($\beta_{air} > \beta_{vide}$) à cause de la présence de la couche d'eau à l'air qui génère plus de défauts extrinsèques dans l'oxyde (des ions H⁺)

Modification de la surface



A l'air: hauteur des bosses ≈ 4 nm
Sous vide: hauteur des bosses $\approx 0,5$ nm

Après 2 RVS à l'air, une quantité de charges plus importante passe à travers les défauts créés dans l'oxyde aboutissant à un chauffage local de la zone étudiée par effet Joule plus important

Conclusions

✓ La couche d'eau favorise le claquage de l'oxyde, ce qui souligne l'importance de l'atmosphère de travail dans la dégradation de l'oxyde lors de l'application d'une tension électrique

✓ L'effet électro-thermique paraît jouer un rôle prépondérant dans la formation de la bosse après l'application de rampes