

# Comparaison de mesures dimensionnelles des caractéristiques de pas et de hauteur de marche d'un réseau étalon et d'une structure inconnue par AFM et MEB

*Présenté par A. Delvallée*

# Club Nanométrie – Quelques chiffres

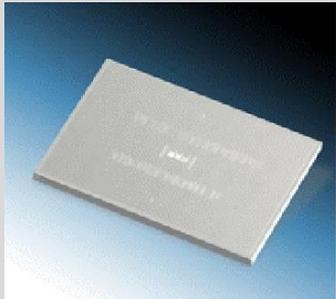
Le Club nanoMétrie, c'est:

- Un **partenariat** entre le LNE et le C'Nano
- **379 membres** (dont **1/3 d'industriels** – 53 PME) intervenant aussi bien dans les domaines des matériaux, de l'instrumentation, des logiciels ou de la fourniture de services
- une **dizaine de journées techniques** proposées depuis 2011
- **1 webinaire gratuit de sensibilisation à la métrologie**
- **10 propositions de projets de recherche** déposées au niveaux Français et Européen suite à des réflexions communes de ses membres (nanoparticules, propriétés électriques, couches minces, ...) pour **4 succès** (série en cours)
- 3 groupes de travail: GT1 – santé environnement, GT2 – Traçabilité, GT3 Instrumentation
- les **2 premières inter-comparaisons de mesure** à l'échelle nano sur le territoire français (48 entités participantes, dont 10 industriels) !

# Objectif de la comparaison

**Objectif de la comparaison** : mesures dimensionnelles des caractéristiques, de pas et de hauteur de marche d'un réseau étalon et d'une structure inconnue, par AFM et MEB

## Etalons VLSI Standards



**VLSI Standards Incorporated**

**CERTIFICATE OF CALIBRATION**

**SURFACE TOPOGRAPHY STANDARD**

Model Number: ST52 -44DP  
Serial Number: 431-43-D10

Substrate Material: Silicon die  
Gild Pattern Material: Platinum coated silicon die

**CALIBRATED VALUES**

Gild Pattern	Mean	Expanded	Mean	Expanded
Height of Step	Height	Uncertainty	Height	Uncertainty
1.8 $\mu\text{m}$	( 1.802 $\pm$ 0.023 ) $\mu\text{m}$	( 41.7 $\pm$ 0.9 ) nm		
3 $\mu\text{m}$	( 2.994 $\pm$ 0.023 ) $\mu\text{m}$	( 41.8 $\pm$ 0.9 ) nm		
5 $\mu\text{m}$	( 4.996 $\pm$ 0.023 ) $\mu\text{m}$	( 42.2 $\pm$ 0.9 ) nm		

Pub Reference Standard: NIST SRM 478 / SC-6-024-0-02  
NIST SRM 479 / SC-6-024-0-02  
NIST SRM 479 / SC-6-024-0-08

Step Height Reference Standard: NIST Test # 82091889-09 44C/4342-12-02

Environmental conditions at the time of measurement:

Temperature	( 21 $\pm$ 1 ) $^{\circ}\text{C}$
Humidity	( 41 $\pm$ 2 ) %

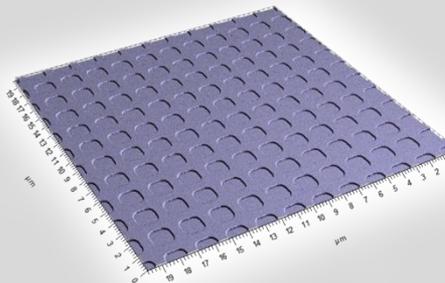
This document is prepared in compliance with ISO 10012:2003 and ANSI/ASQ Z39.0-1-2004.

Customer use required: accept of full written authorization from VLSI Standards.

T.S. Lab  
Calibration Technician

Statement Date: 12/12/2014

3 Technology Drive, Milpitas, CA 95035-7166 • 408-438-3800 • Fax 408-438-9335 • www.vlsi-standards.com

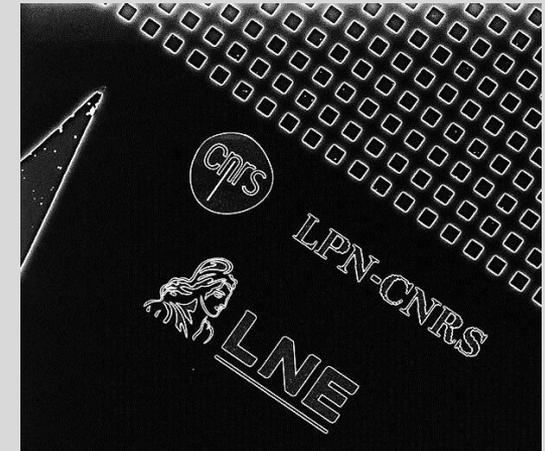
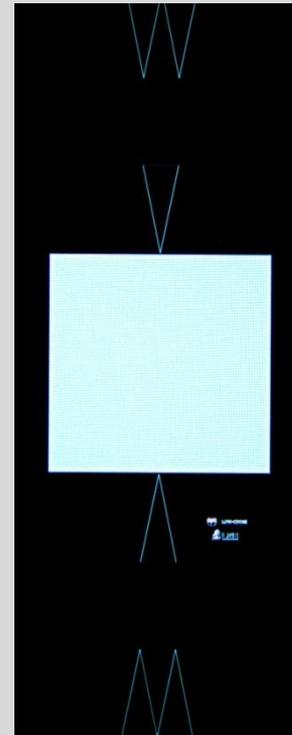


- pas des réseaux : 1,8  $\mu\text{m}$
- hauteur de marche : 44 nm
- incertitude sur le pas : (1,802 +/- 0,023)  $\mu\text{m}$
- incertitude sur la hauteur : (41,7 +/- 0,9) nm

**VLSI Standards Incorporated**

**KUMMER**  
SEMICONDUCTOR TECHNOLOGY

## Structures « inconnues » fabriquées par le LPN\*



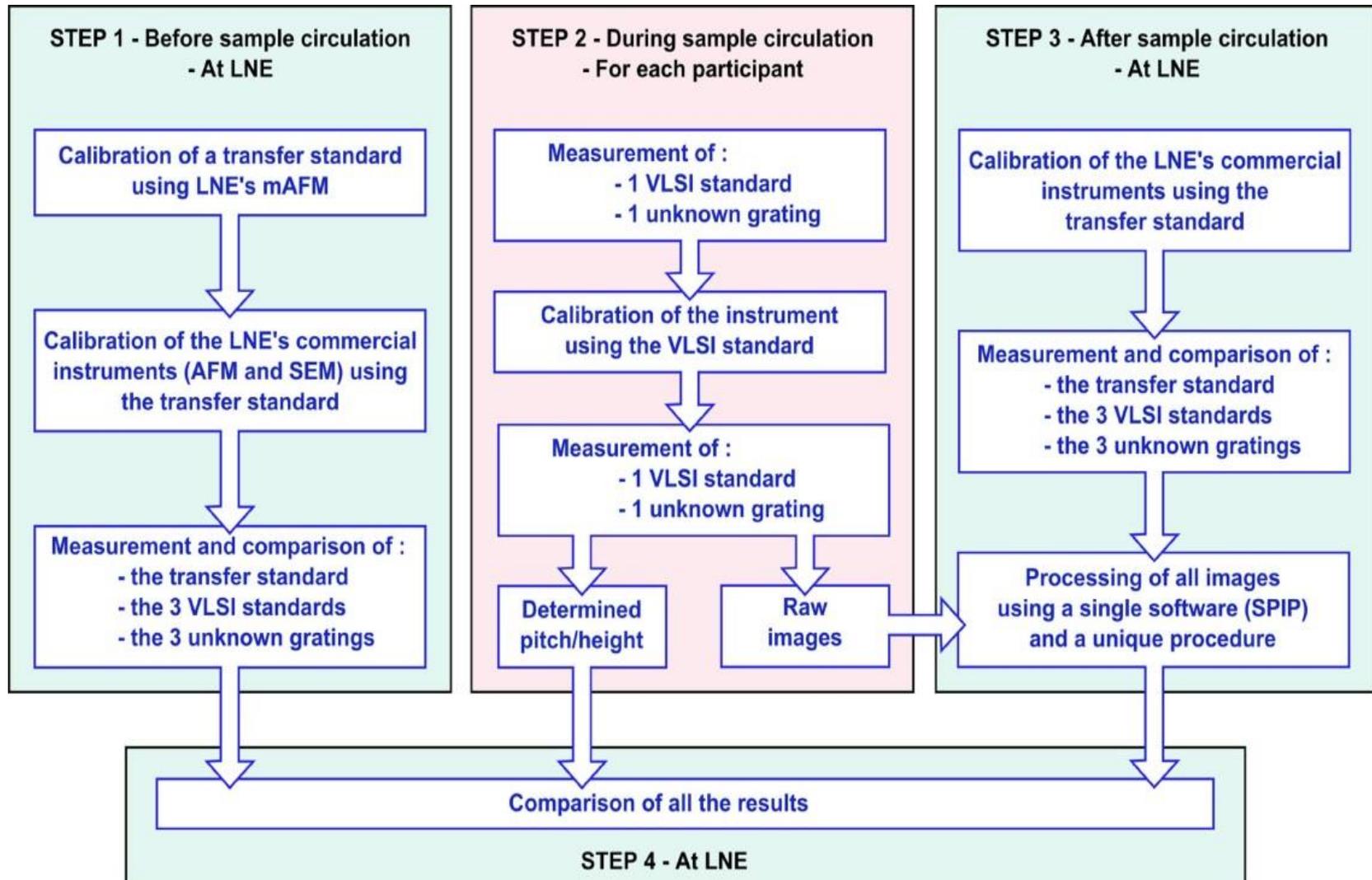
(\*Christian Ulysse)

- pas du réseau : 900 nm
- hauteur de marche : 30 nm



# Principe de la comparaison

## Organisation de la comparaison



# Présentation des différents principes de mesure

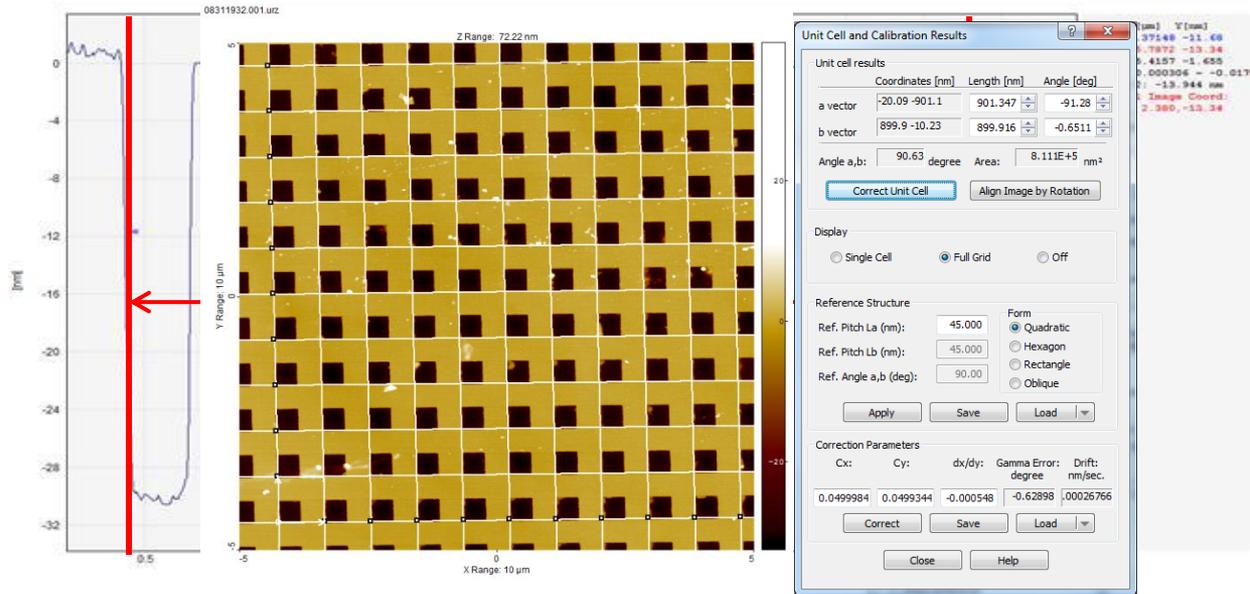
Pour la hauteur de marche:

- A partir d'un ou plusieurs profil(s) : différence entre les points hauts et les points bas ISO 5436

- A partir d'histogramme

Pour la mesure de pas de réseau :

- A partir d'un ou plusieurs profils
- A partir d'une transformée de Fourier



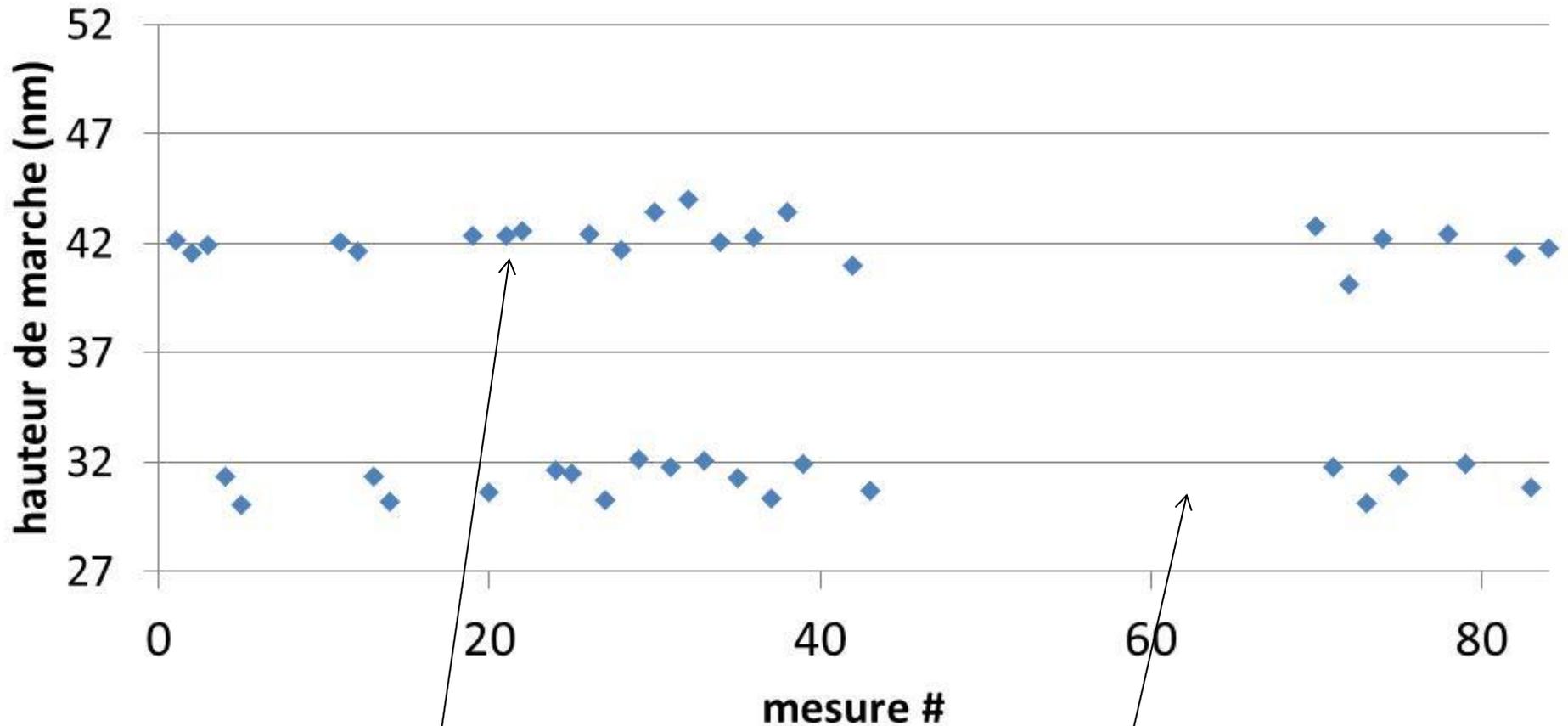
# La comparaison: quelques chiffres



- 26 participants
- 16 organismes représentés
- Académique 31%, EPIC 34%, industriels 35 %
- 27 instruments (17 AFM et 10 MEB)
- 1 an de mesures
- 91 mesures effectuées
- 80% des mesures suivent le protocole
- 690 images
- 13 logiciels différents pour le traitement des données
- AFM, utilisation des modes tapping (71%), contact (18%), peak force tapping (7%) et close contact (3,5%)
- MEB, utilisation des modes in lens (77%), électrons secondaires (23%)

# Mesure de hauteur de marche par AFM

Hauteurs de marche des réseaux mesurées après étalonnage

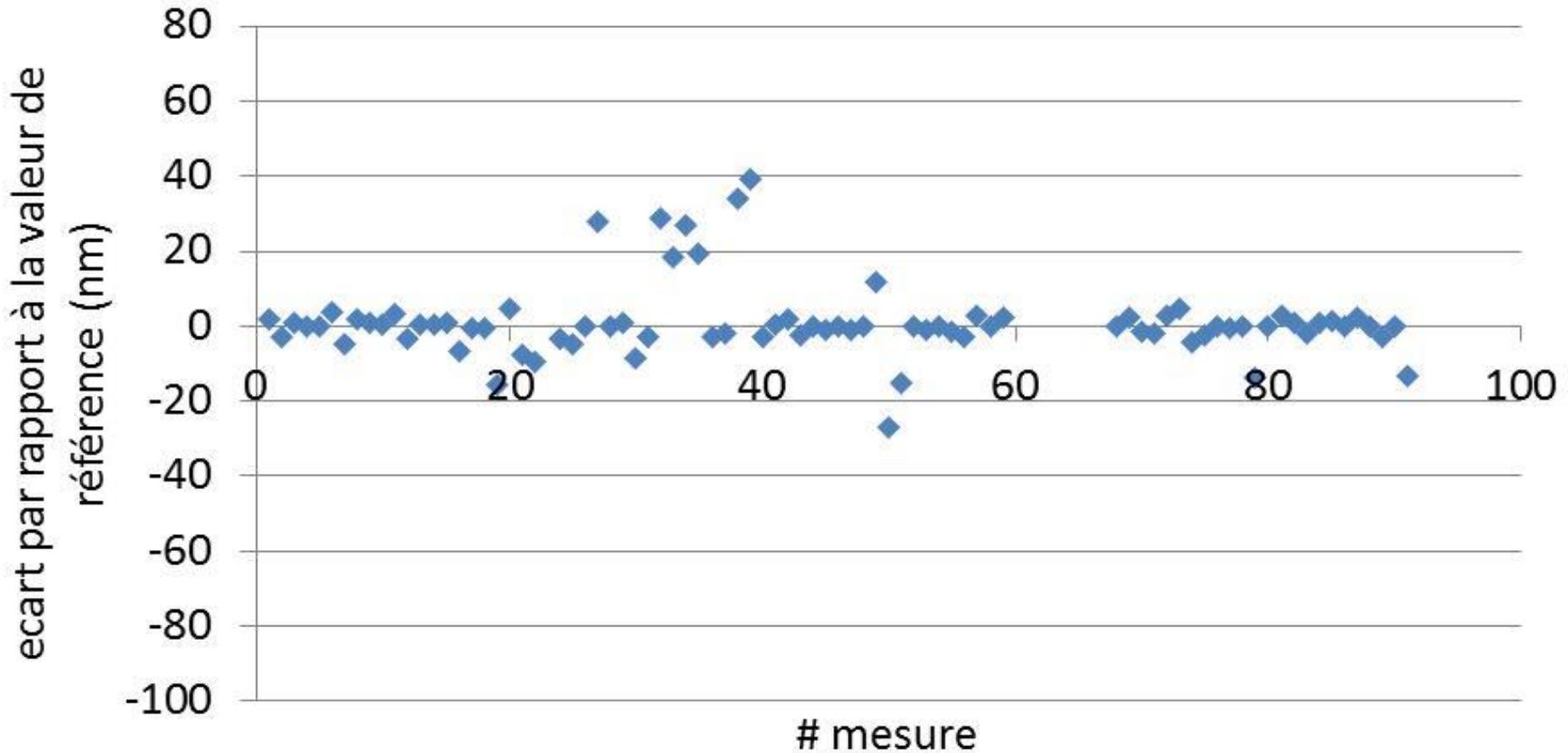


Hauteur de marche réseau VLSI :  
moyenne = 42,16 nm  
écart type = 0,79 nm

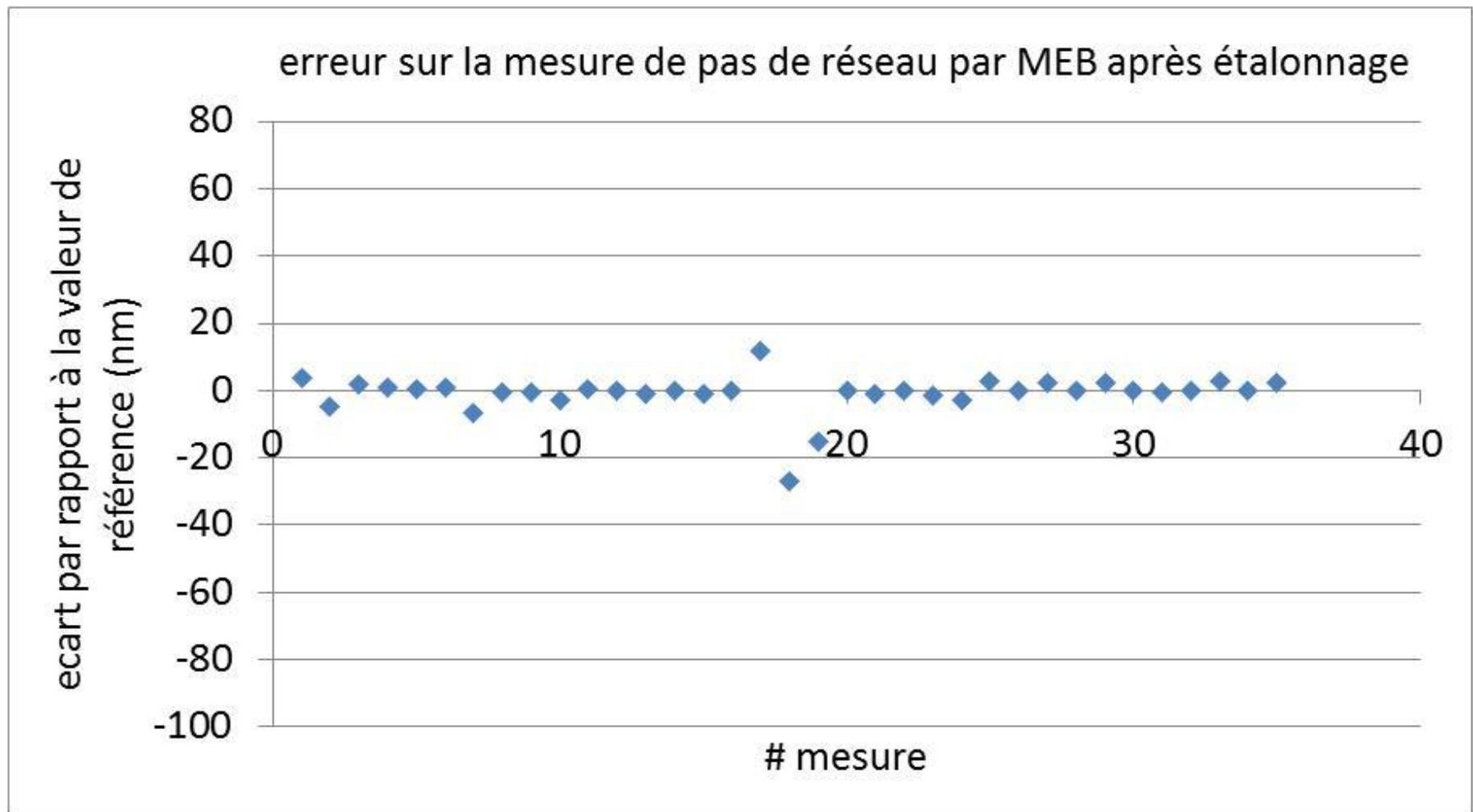
Hauteur de marche réseau LPN :  
moyenne = 31,20 nm  
écart type = 0,68 nm

# Mesure du pas de réseau par AFM

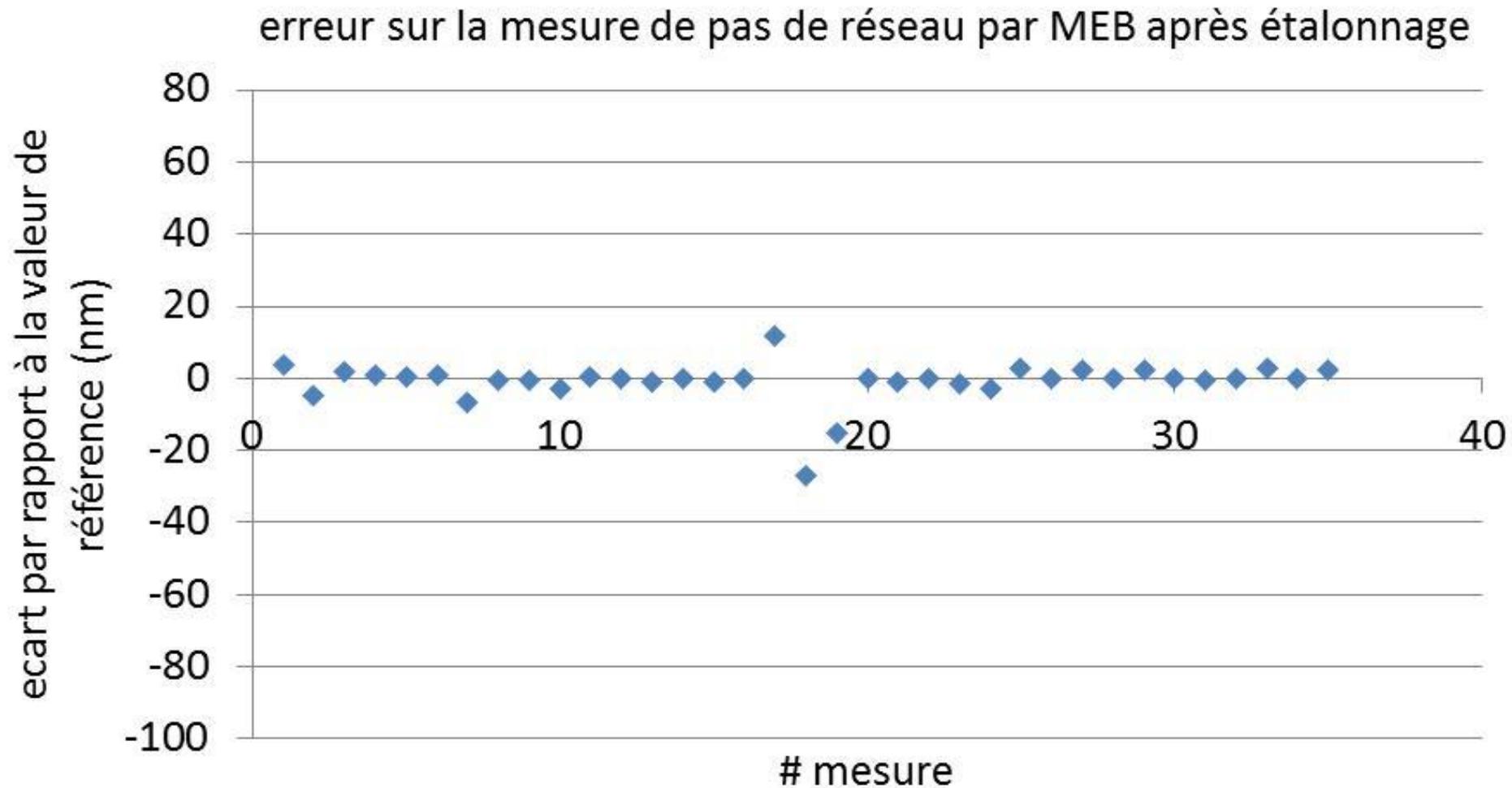
erreur sur la mesure du pas des réseaux après étalonnage



# Mesure du pas de réseau par MEB



# Comparaison AFM/MEB sur la mesure du pas de réseau



Après étalonnage, le MEB semble mieux adapté que l'AFM pour la mesure de pas de réseau.

# Bilan de la comparaison du GT3

La comparaison a montré que :

- L'étalonnage des instruments permettait de réduire d'un facteur 2 à 3 la dispersion des mesures.
- Les erreurs de justesse sont principalement dues à des manques ou de mauvais étalonnage de l'instrument.
- Concernant la cohérence des valeurs:

	Cohérence des valeurs fournies dans les certificats d'étalonnage VLSI et telle que mesurée au LNE	Incertitudes fournies dans les certificats d'étalonnage VLSI	Dispersion des mesures des participants après étalonnage
Pas de réseau	+/- 3 nm	+/- 23 nm	+/- 35 nm
Hauteur de marche	+/- 0,5 nm	+/- 0,7 nm	+/- 2 nm

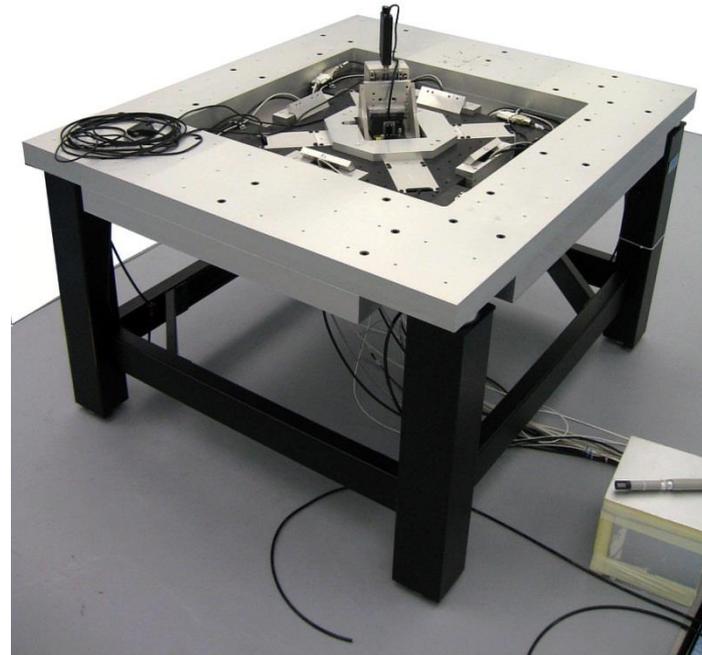
# Bilan de la comparaison du GT3

La comparaison a montré que :

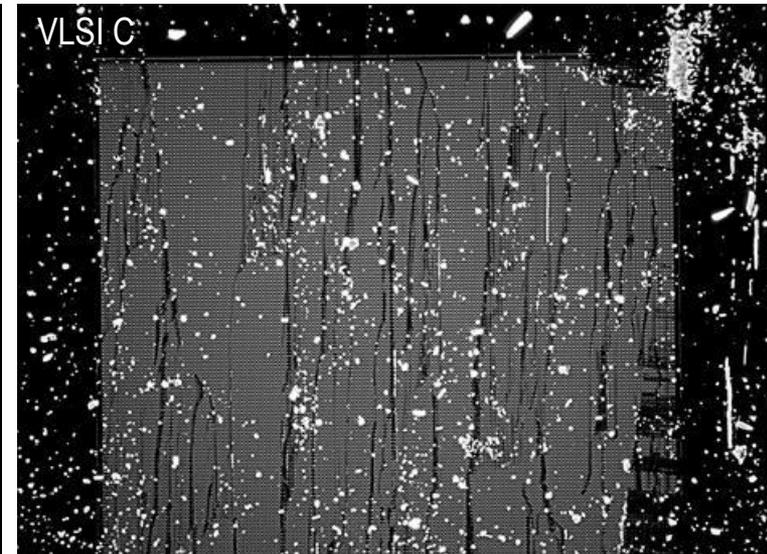
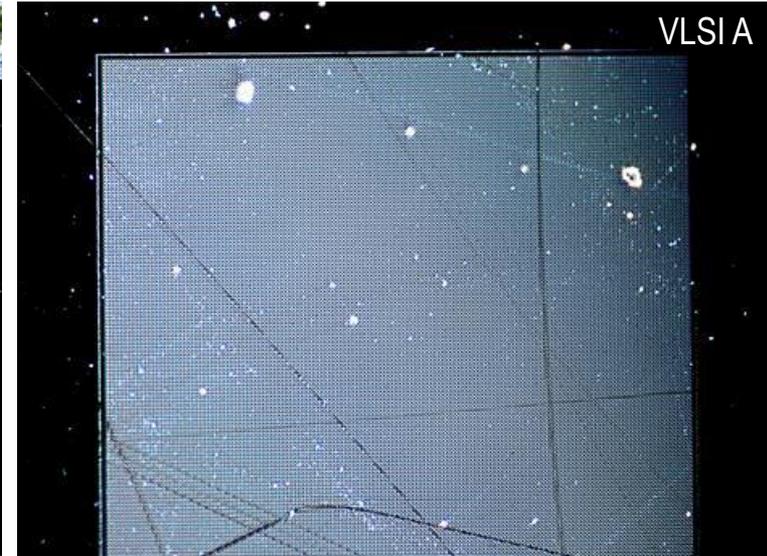
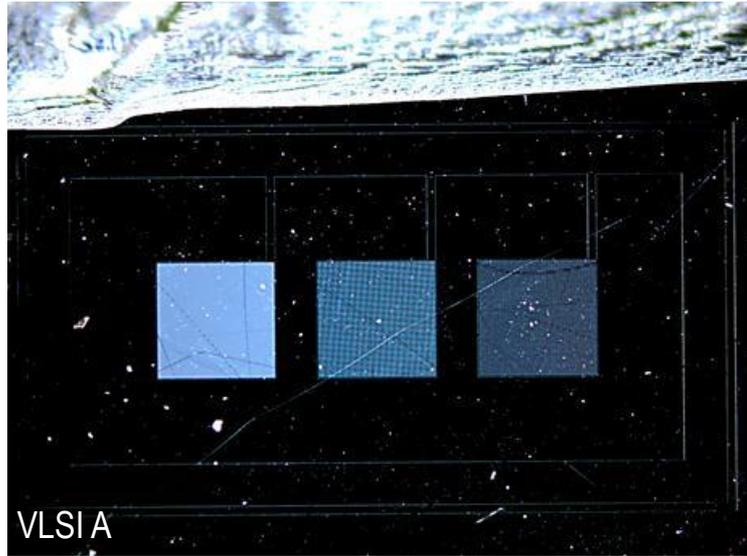
- Malgré tout, pour certains participants, la limite que représente les étalons VLSI (incohérence des valeurs et incertitudes proposées) est atteinte voire dépassée.

Pour aller plus loin, il est nécessaire de disposer d'un instrument de référence afin de réduire les incohérences constatées mais également d'améliorer les incertitudes de mesures :

=> AFM métrologique du LNE



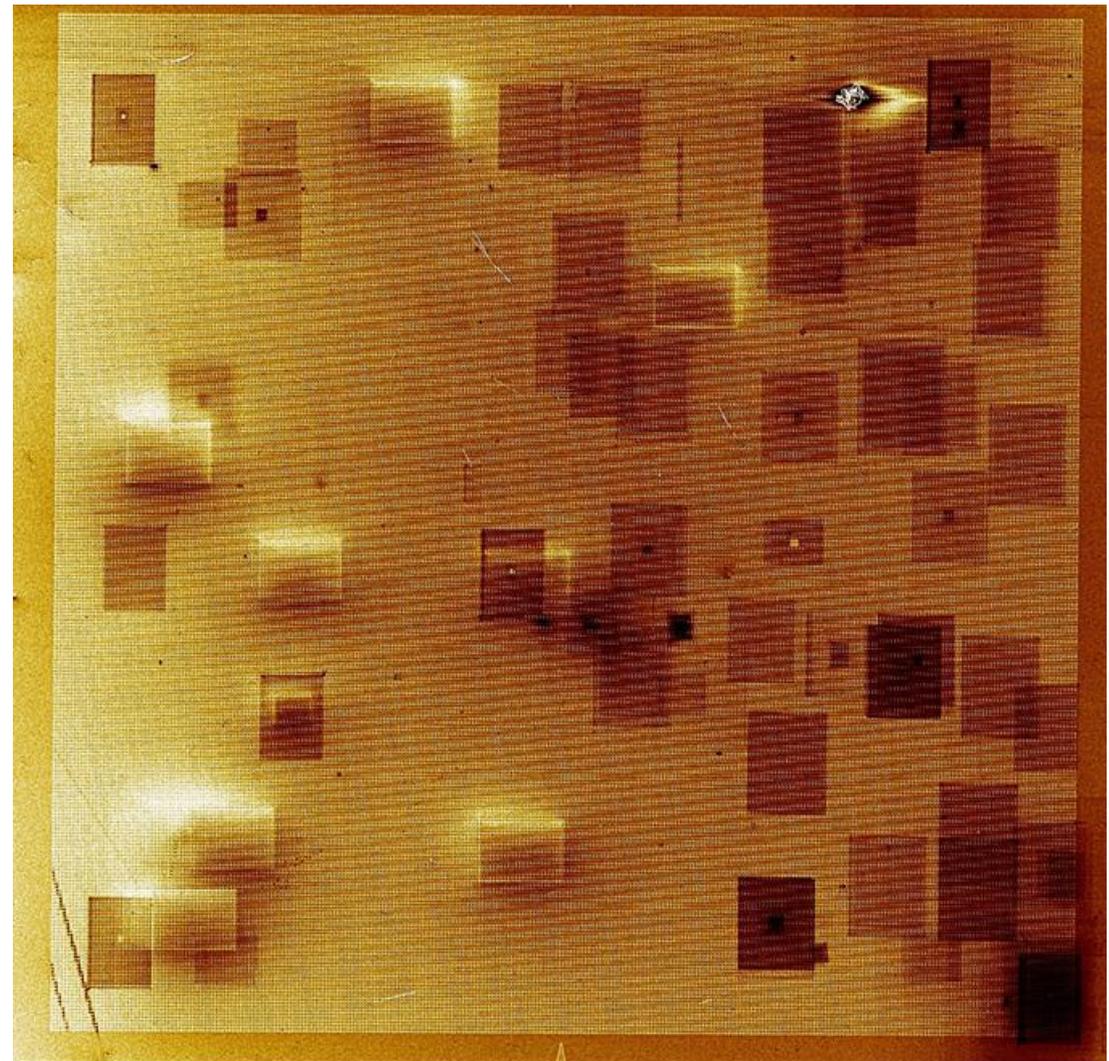
Après circulation



## Dépôt de carbone lors des observations au MEB :

Quel est l'impact de cette contamination sur les mesures AFM et MEB ?

Pour une prochaine comparaison, il serait judicieux que les échantillons destinés aux mesures AFM ne soient pas les mêmes que ceux destinés aux mesures MEB



EHT = 3.00 kV

Signal A = InLens

WD = 3.5 mm

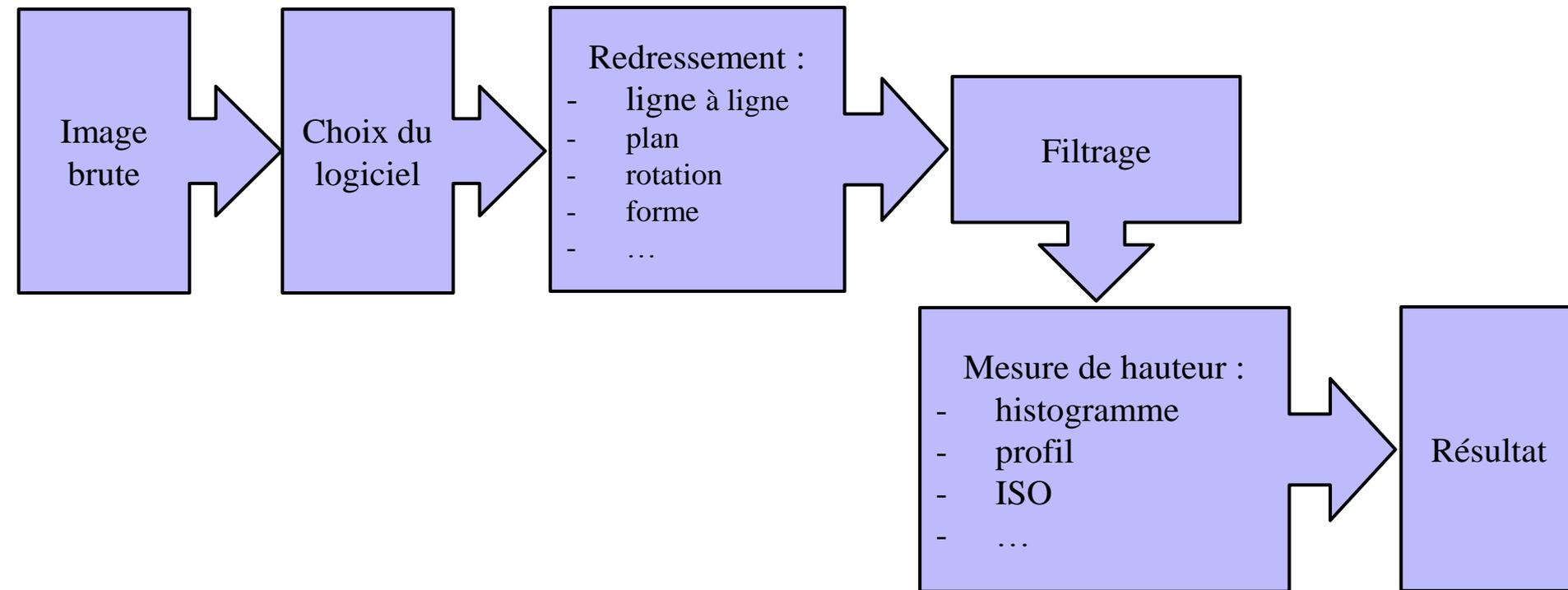
High Current = Off

Aperture Size = 30.00  $\mu$ m

## Enseignements tirés :

- Pour l'AFM, les scanners asservis en position présentent réellement un net avantage. Les équipements en boucle ouverte ne peuvent pas prétendre aux mêmes performances que les instruments en boucle fermée.
- Il n'a pas été possible de voir l'influence des traitements d'image, l'influence de l'instrument étant prédominante.
- Des problèmes de détérioration des structures et de fortes contaminations ont été rencontrés.
- La contamination a une influence notable sur la dispersion des mesures.
- Seulement 4 participants se sont lancés sur l'évaluation d'une incertitude de mesure !!

# Mise en place d'une nouvelle comparaison



A quel point l'utilisateur et la façon dont il traite ses images a une influence sur le résultat final ?

# Mise en place d'une nouvelle comparaison

Mise à disposition de plusieurs images tests non traitées:

- Pour la mesure de rugosité
- Pour la mesure de hauteur de marche
- Pour la mesure de pas de réseau
- ...

Et d'images tests simulées

Détermination de:

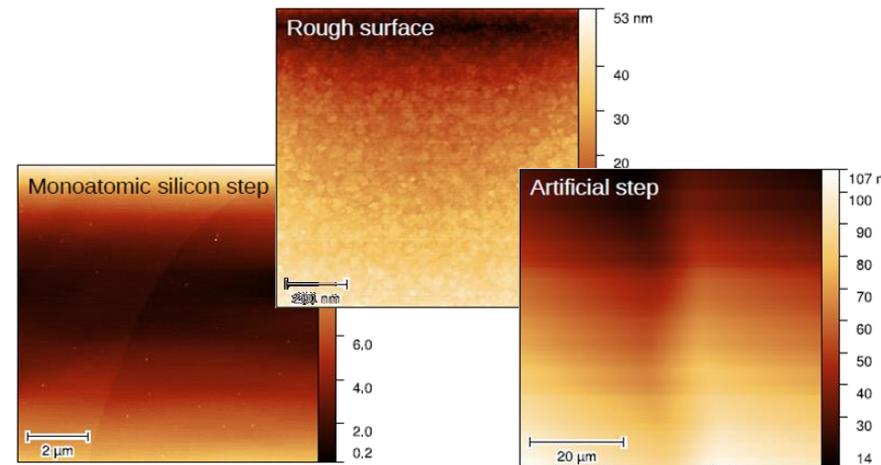
- L'influence du redressement (ligne à ligne, ordre...)
- L'influence du choix du traitement des données (histo, profil)

Plus d'infos sur ce sujet:

## Study of user influence in routine SPM data processing

*David Necas, Petr Klapetek*

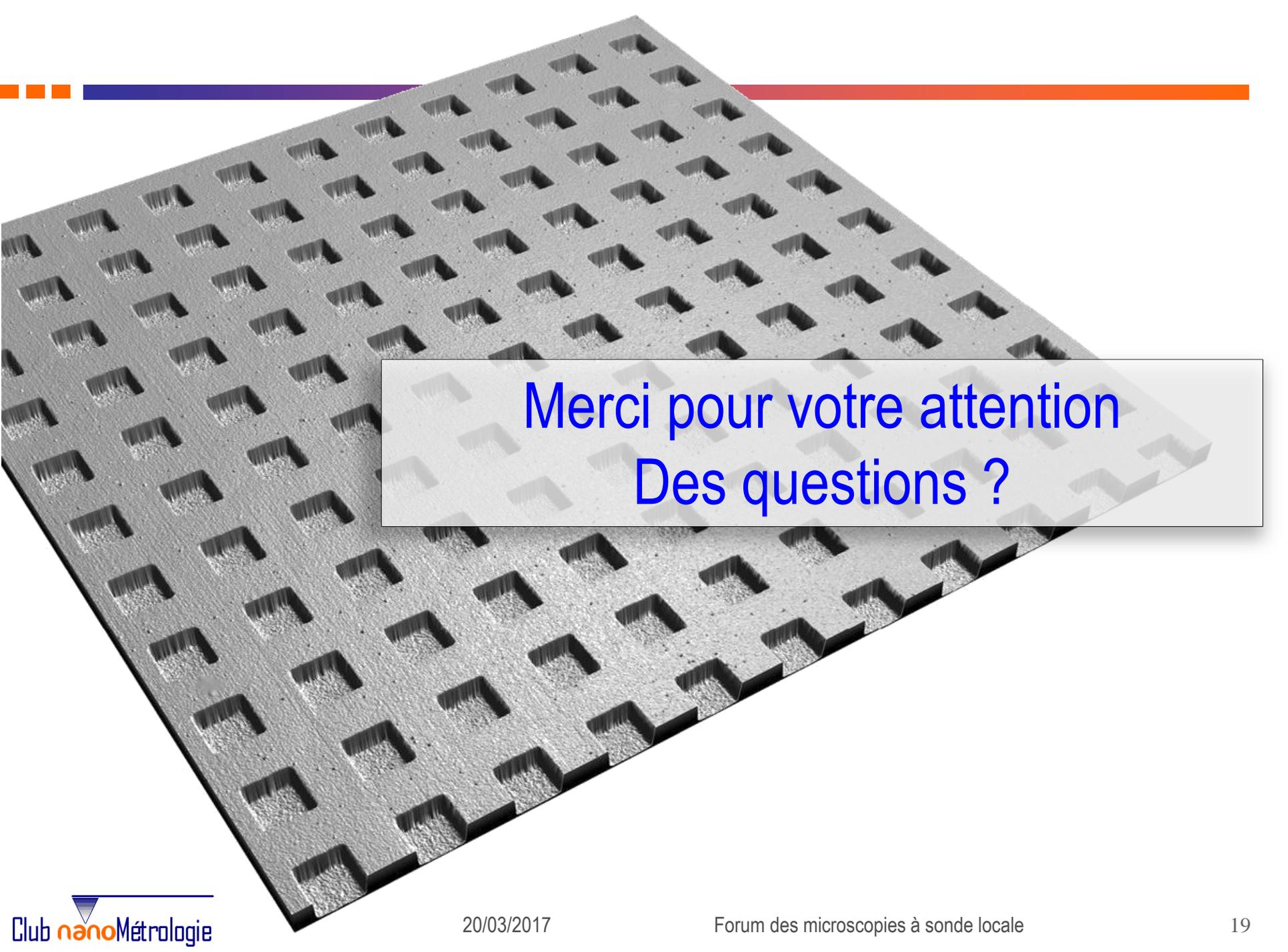
Publié en janvier 2017 dans MST



Sébastien Ducourtieux	LNE
Liana Ramiandrisoa	LNE
Muriel Thomasset	Synchrotron Soleil
Guy Louarn	IMN CNRS
Christophe David	LPN
Bruno Berini	GEMAC UVSQ/CNRS
Odile Bezencenet	Thales
Frédéric Wyczisk	Thales
N. Barthélemy	Solvay
J.-PH. Bournonville	Solvay
Thomas Gautier	Intertek
Nicolas Stephant	Univ, Nantes
Hervé Denis	CEA
Cyril Dupuet	Renault
Jean Luc Pellequer	CEA
David Albertini	INL
Philippe Hamoumou	INL
Alexandra Delvallée	LNE
Benjamin Villani	Biophy Research
Guillaume Noircler	LNE
Lionel Aigouy	ESPCI Paritech
Laurent Devuille	LNE
Samuel Lesko	Bruker
Christian Ulysse	LPN
Ophelie Lancry	Horiba Scientific
Christophe Lecouvey	CEA LETI

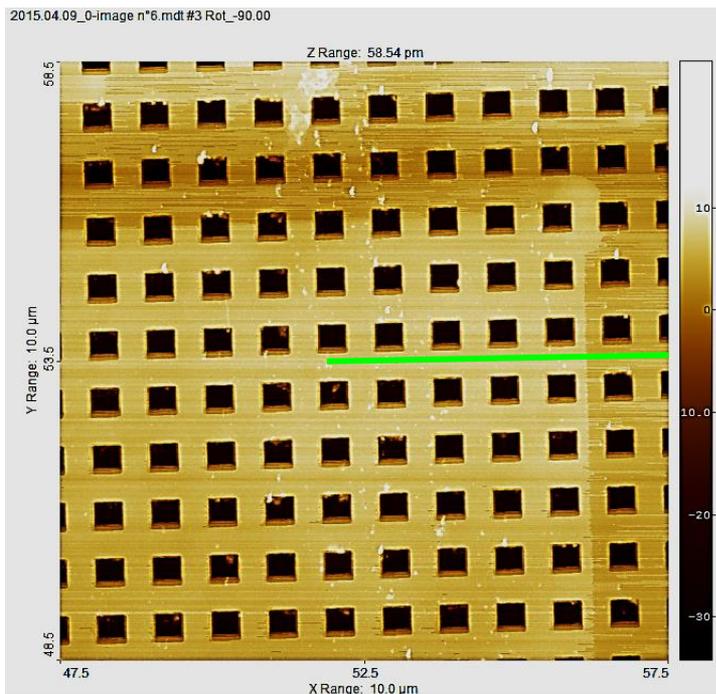
Un grand merci :

- à tous les participants de la comparaison pour le temps qu'ils y ont consacré,
- à Digital Surf pour le support fourni,
- au LPN pour la fabrication des structures.



Merci pour votre attention  
Des questions ?

# Dépôt de carbone lors des mesures au MEB



Hauteur du dépôt de carbone : 2,5 nm

