

Webinaire Groupe métrologie, inspection

The CNRS logo consists of the lowercase letters 'cnrs' in white, centered within a dark blue circle. This circle is placed on a blue arrow-shaped background pointing to the right.

cnrs

RéNIL

*Réseau National de la Lithographie par
Nano-Impression*



**Laboratoire
Hubert Curien**

UMR • CNRS • 5516 • Saint-Étienne



RENATECH
French national nanofabrication network

28 Mai 2024

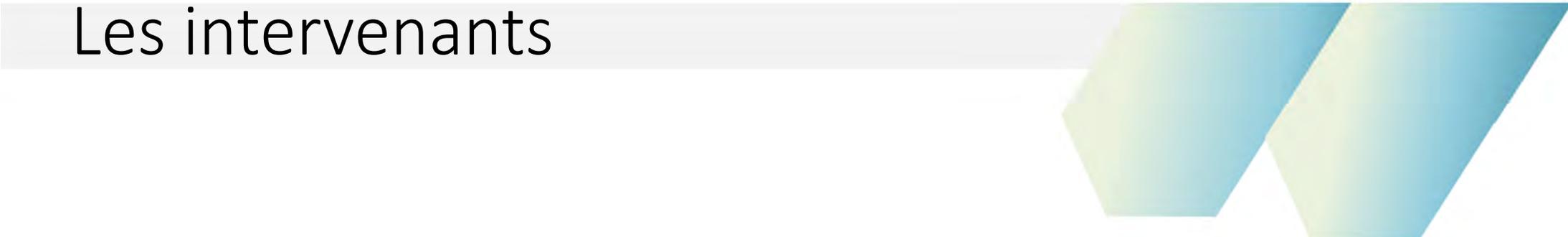
The CEA logo consists of the lowercase letters 'cea' in white, centered within a red square. A white horizontal line is positioned below the letters.

cea

The LETI logo consists of the lowercase letters 'leti' in a red, sans-serif font. A red L-shaped graphic element is located at the bottom right corner of the logo area.

leti

Les intervenants

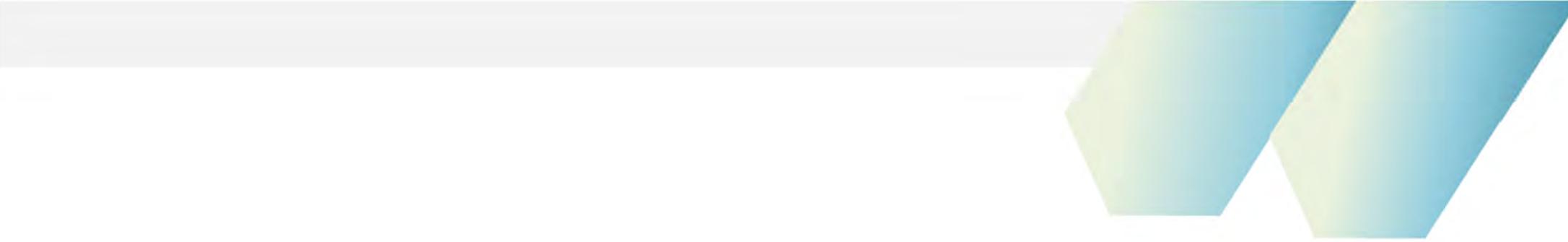


- **Céline Chevalier**
Institut des Nanotechnologies de Lyon
- **Yoann Blancquaert**
CEA-Leti
- **Api Warsono**
CEA-Leti
- **Yves Jourlin**
Laboratoire Hubert Curien
- **Elliot Chevalier**
Université Montpellier/CEA-Leti
- **Olivier Dubreuil**
CEA-Leti

Agenda



1. Introduction générale, présentation du webinaire Céline Chevalier
2. Présentation générale du groupe de travail métrologie RÉNIL Yoann Blancquaert
3. La lithographie NIL au Leti Api Warsono
4. Métrologies pour les mesures dimensionnelles et d'overlay Yoann Blancquaert
5. Wafer scale submicron optical grating for the picometre measurement of aberrations and stitching errors in step and repeat cameras Yves Jourlin
6. La mesure de défektivité Elliot Chevalier
7. La mesure épaisseur par ellipsométrie Olivier Dubreuil
8. Actions à venir Cécile Chevalier / Yoann Blancquaert



Introduction générale, le réseau RÉNIL



Réseau National de la Lithographie par NanoImpression

Contact:

renil_cogouv@groupe.renater.fr

COMMUNAUTE

ANIMATION SCIENTIFIQUE

EXPERTISES *Technologiques, fondamentales, Simulation*

Process

Full wafer
Roller-type
Hybrid...

Moule

Master : soft-NIL
NIL thermique
Multi-échelles...

Matériau

Résines, matériau
fonctionnels,
chimie...

Outils

R&D
Industriels et start-
up
Applications
spécifiques

Métrieologie, inspection

Moules,
impressions...

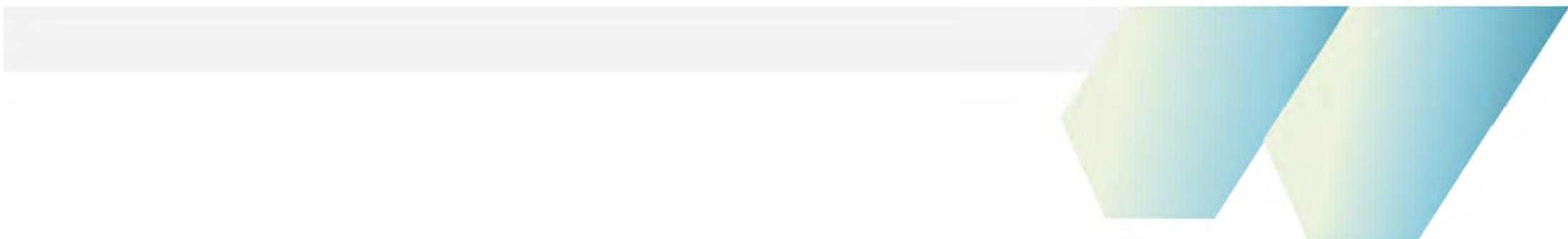
Théorie

Rhéologie
« filling »
« curing »
Démoulage...

Sciences
surface et
interface,
mécanique des
fluides...

Simulation

Rhéologie
« filling »
« curing »
Démoulage
Déformation ...



Groupe de travail métrologie RéNIL

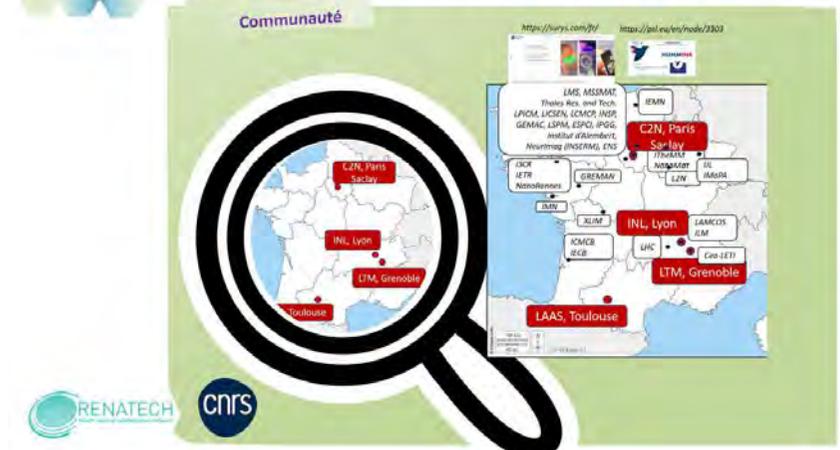
Groupe de travail métrologie RÉNIL

- Pourquoi des groupes de travail?
 - Consolider la communauté
 - Elargir la communauté
 - Mutualiser les expertises
 - Exploiter la complémentarité des moyens et compétences
 - Proposer une animation scientifique
 - Faire naitre des collaborations

COMPETENCES Technologiques

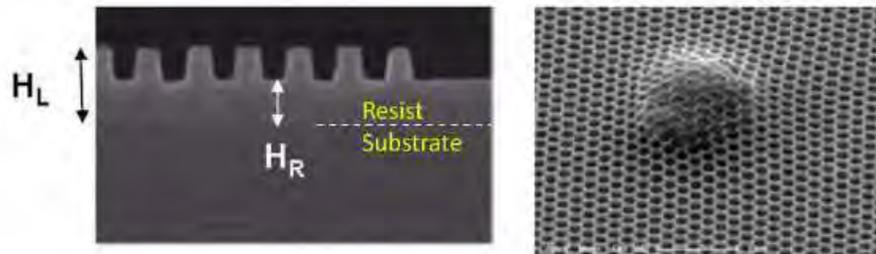


IV. Les ressources en France



Groupe de travail métrologie RéNIL

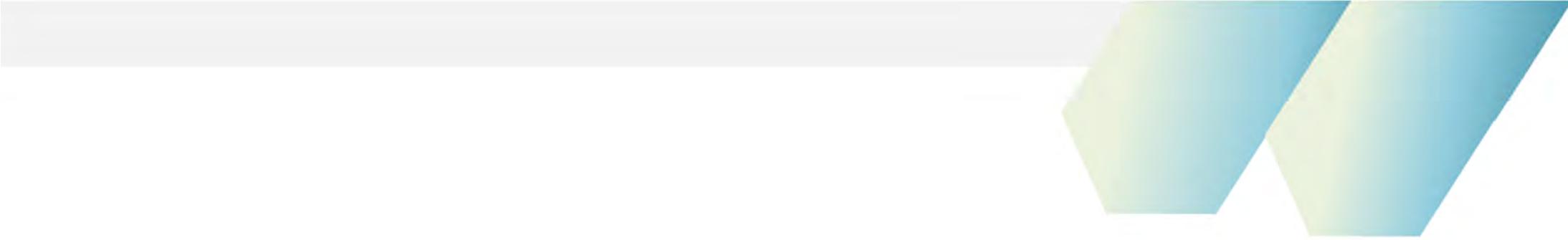
- Problématiques pour la métrologie illustrées en deux images



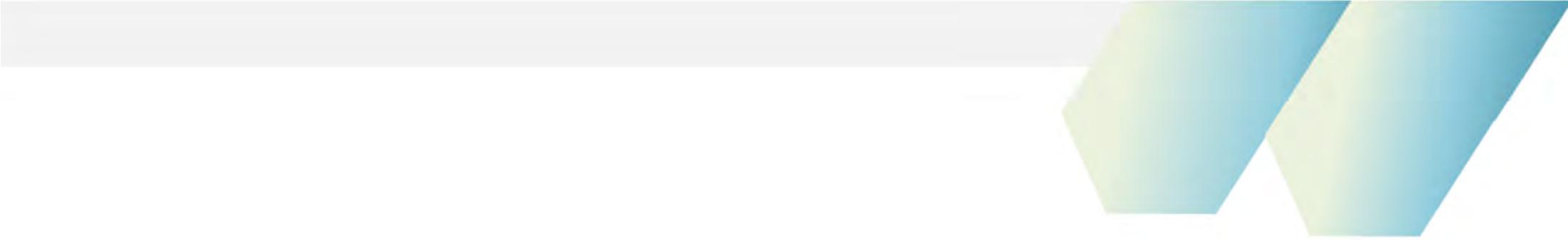
- Morphologie des lignes transférées?
- Hauteurs Résiduelles, uniformité?
- Indices optiques, topographie de surface?
- Défectivité ajoutée ?
- Etude sur le master et sur le substrat

- Une première présentation sur la thématique métrologie en Mai 2023¹ autour de la métrologie par scatterométrie
- De premières discussions:
 - Brice Gautier (INSA Lyon) – GDR CarMa Nano
 - Julie Marteau (Université Technologie de Compiègne) – GDR Surf’Topo. Interrogation sur méthodes de mesure, mutualisation possible?
 - Yves Jourlin (Laboratoire Hubert Curien)
 - Alexandra Delvallée (LNE) – mesures AFM reliées au SI
 - Etienne Palleau (Laboratoire de Physique et Chimie des Nano-Objets)
- A contacter
 - GDR APPAMAT, axe1 : thématique mesure
 - LTM: plateforme impact

1. <https://inl.cnrs.fr/jnil-2023-journees-nationales-de-la-lithographie-par-nanoimpression/>



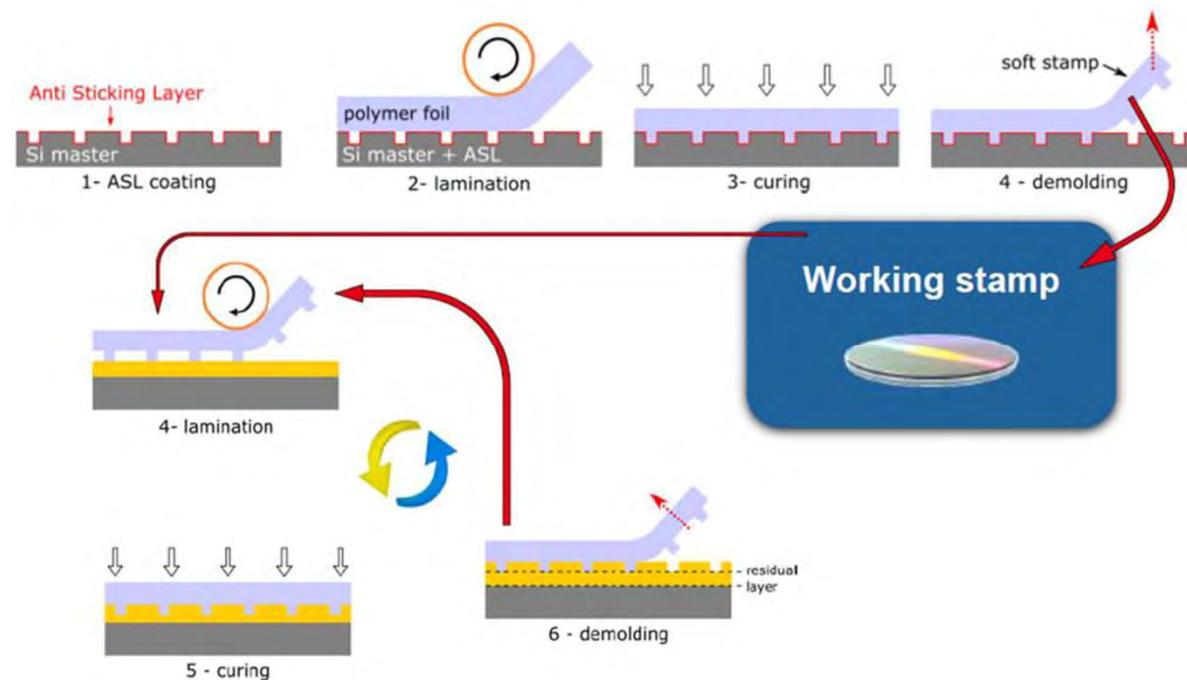
La lithographie NIL au LETI



Métrologies pour les mesures dimensionnelles et d'overlay

Métrologies pour les mesures dimensionnelles et d'overlay

- Quelles métrologies possibles/nécessaires¹ pour le procédé NIL ?



Courtesy of J.Reche

- Pour la caractérisation des matériaux : X-Ray, Raman spectroscope, **ellipsométrie**, EDX...

- Pour la topographie de surface Interférométrie...

- Pour la détection de défauts **SEM review**

- Mesure dimensionnelles **AFM-3D, CD-SEM, Scatterometry (OCD)**, TEM

- Pour l'alignement **Image Based or diffraction based Overlay, Overlay Phase detection**

- Pour l'analyse de contrainte **μRaman**

Webinaire Réseau NIL, groupe métrologie, inspection, 28 Mai 2024

1. https://www.nanopedia.org/index.php?title=Nanoimprint_Lithography

Métrologies pour les mesures dimensionnelles et d'overlay

- Pour les mesures dimensionnelles, le microscope à force atomique
 - Principe:
 - Les interactions entre une pointe et une surface donnent lieu à des forces attractives ou répulsives agissant sur la pointe.
 - Ces forces d'interaction provoquent une déflexion du levier qui supporte la pointe dont la mesure, couplée à un balayage de la surface (figure1), permet d'obtenir des images dans l'espace direct de la surface analysée.

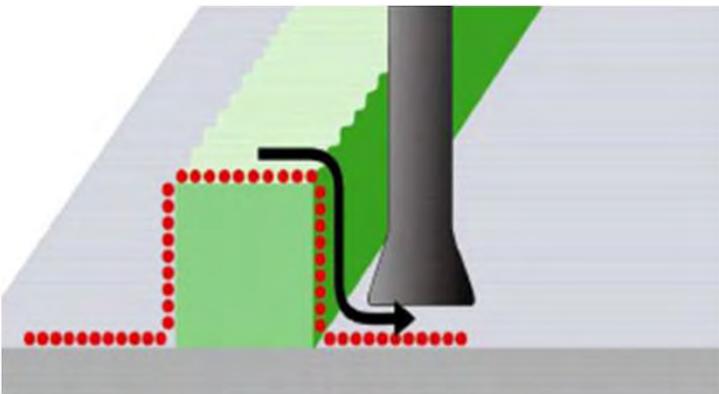


Figure1: Illustration du parcours de de la pointe le long de la structure mesurée

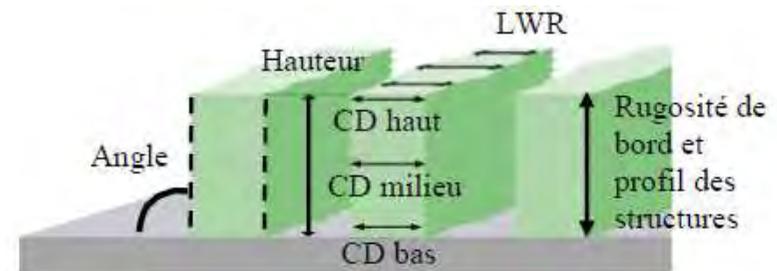


Figure2: Illustration¹ des paramètres mesurables par AFM-3D

1. « Etude par microscopie a force atomique en trois dimensions de l'évolution de la rugosité de bord de ligne lors de la fabrication d'une grille de transistor MOS », J.Thiault, Thèse, 2008

Métrologies pour les mesures dimensionnelles et d'overlay

- Pour les mesures dimensionnelles, le microscope à force atomique
 - AFM et AFM-3D (ou CD-AFM¹):
 - Les sondes des AFM standard sont souvent de forme pyramidale ou cylindrique, alors que celle des AFM- 3D est évasée pour suivre plus efficacement les flancs des structures mesurées.

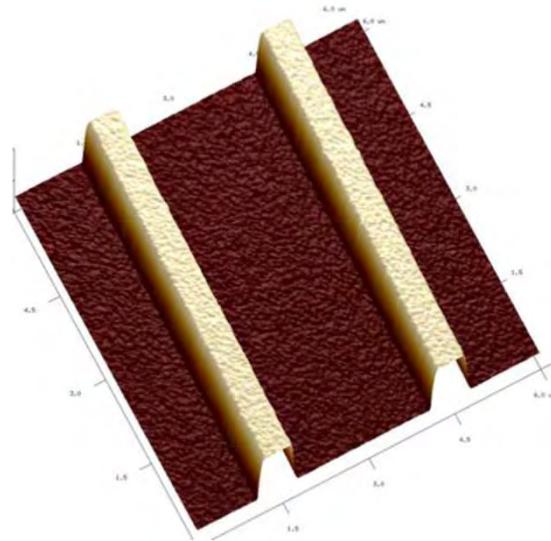
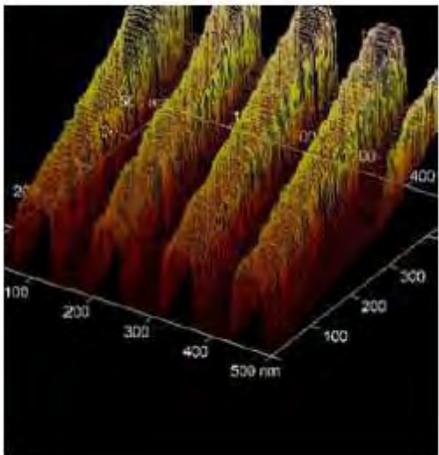


Figure: résultats d'acquisition par AFM-3D (BRUKER) de réseaux de lignes réalisées par lithographie par nano-impression au CEA-Leti

Limitations principales:

- Temps d'acquisition², de quelques minutes à quelques heures
- Zones d'analyses, inférieures à 20x20μm²
- Usure et tailles des pointes

1. « Advances in CD-AFM Scan Algorithm Technology Enable Improved CD Metrology », L.Mininni, *Proc. of SPIE Vol. 6518*, 2007

2. *Throughput*

Métrologies pour les mesures dimensionnelles et d'overlay

- Pour les mesures dimensionnelles, le CD-SEM

- Principe:

- CD-SEM: Critical Dimension –Scanning Electron Microscopie
- Collection des électrons secondaires et retro diffusés (figure1)
- Signal plus intense sur une surface inclinée que plane (figure2)
- Utilisation d'algorithmes de détection de contraste¹ pour remonter au CD (largeur de lignes, de tranchées, diamètre de plots...)

Figure1: représentation² des différentes interactions électrons-matière sous forme de poire d'interaction

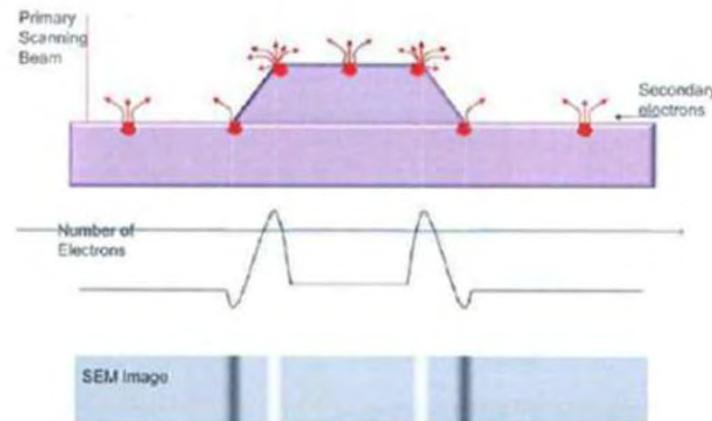
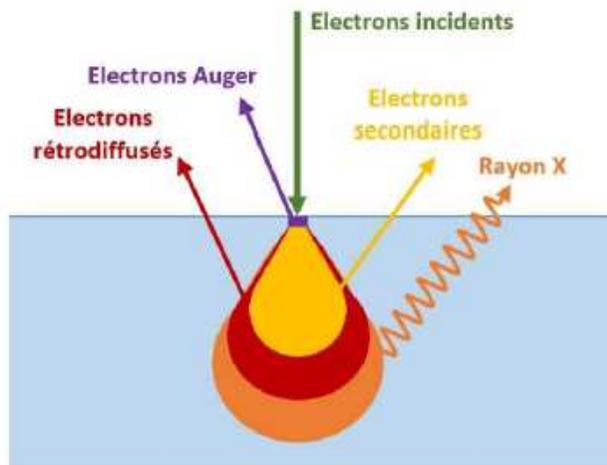


Figure2: représentation des électrons secondaire sur une surface non-plane

1. « Top-down versus cross-sectional SEM metrology and its impact on lithography simulation calibration », R.Jones et al., *Metrology, Inspection and Process Control Microlithography XVII*, 2003
2. « Nouvelle méthodologie hybride pour la mesure de rugosités sub-nanométriques », J.Réche, thèse, 2019

Métrologies pour les mesures dimensionnelles et d'overlay

- Pour les mesures dimensionnelles, le CD-SEM
 - Résultats:



Limitations principales:

- Pas ou peu (tilt canon d'électrons) d'informations 3D
- Interaction électrons-matière: impact sur certains polymères utilisés en lithographie
- Algorithme de détection de contraste

Figure: résultats d'acquisition, image et cartographie des largeurs de ligne par CDSEM de réseaux de lignes réalisées par lithographie par nano-impression au CEA-Leti

Métrologies pour les mesures dimensionnelles et d'overlay

- Pour les mesures dimensionnelles, la scatterométrie optique (OCD)

- Principe:

- La scatterométrie¹ = mesure et l'analyse de la lumière diffractée par un réseau périodique
- Basée sur des mesures ellipsométriques couplées à des algorithmes de modélisation utilisés pour déduire les dimensions caractéristiques à partir de la différence de phase et d'amplitude du faisceau réfléchi

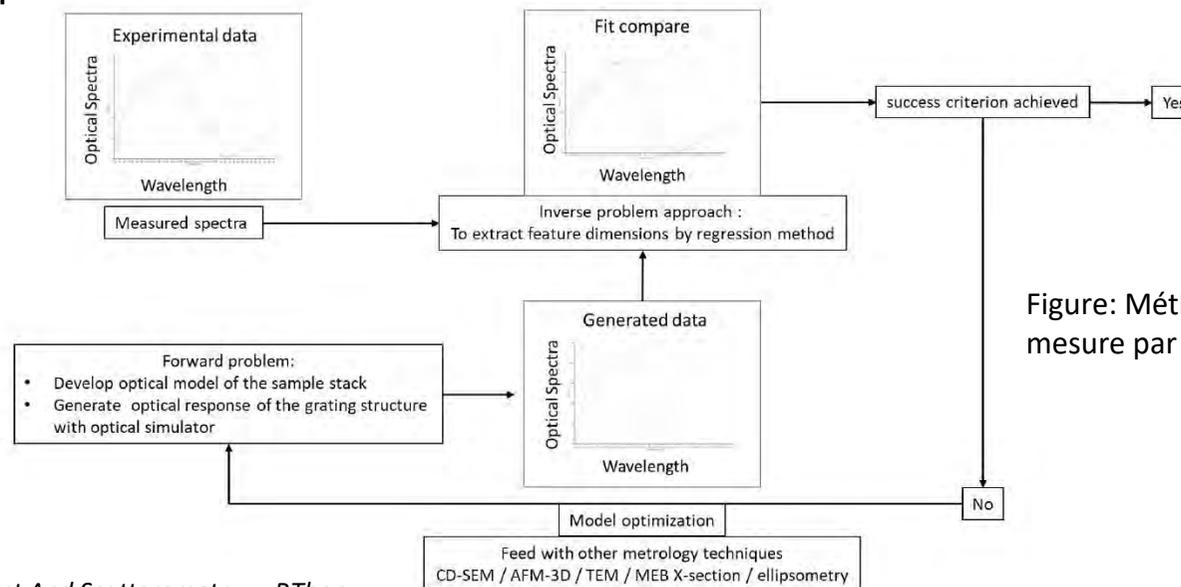


Figure: Méthode de travail de la mesure par scatterométrie

1. « Review Of CD Measurement And Scatterometry », P.Thony, Characterization and Metrology for VLSI Technology, 2003

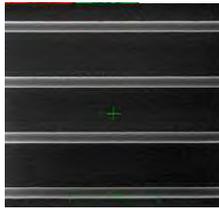
Métrologies pour les mesures dimensionnelles et d'overlay

- Pour les mesures dimensionnelles, la scatterométrie optique (OCD)

- Résultat:

- CD-SEM

- Largeur de lignes,
uniformité à travers le
wafer



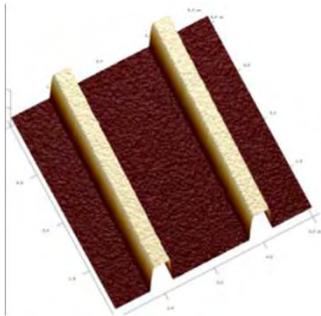
- TEM

- Morphologie d'une ligne,
estimation des épaisseurs



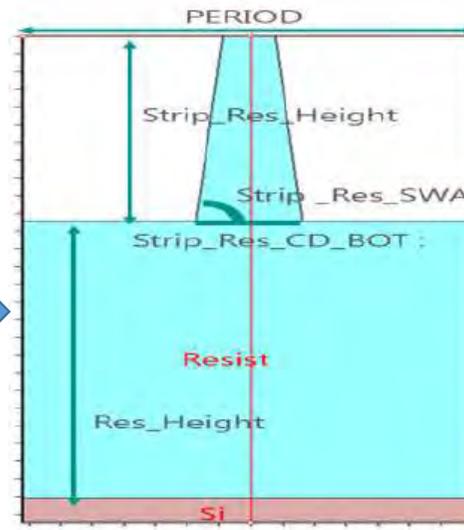
- AFM-3D

- Hauteur des lignes



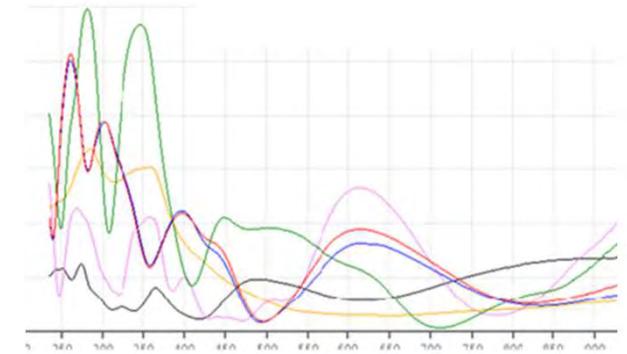
- OCD

- Création d'un modèle décrivant la
structure



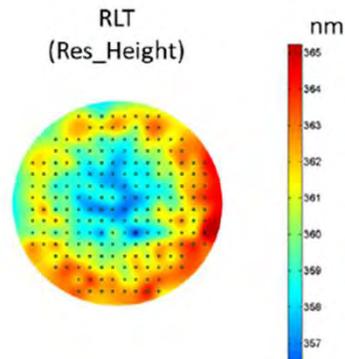
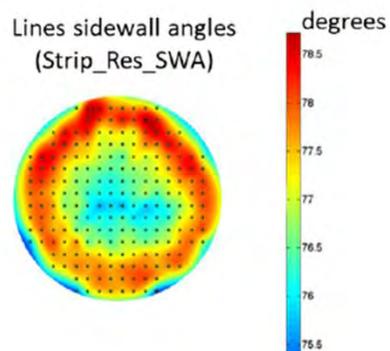
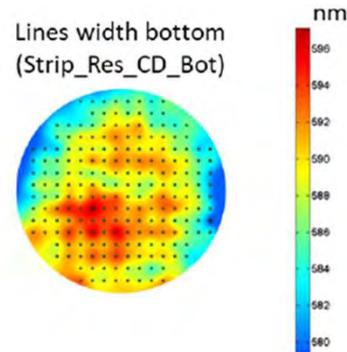
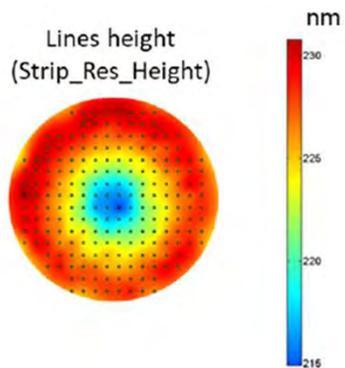
- OCD

- Comparaison signaux expérimentaux
et modélisés



Métrologies pour les mesures dimensionnelles et d'overlay

- Pour les mesures dimensionnelles, la scatterométrie optique (OCD)
 - Résultat:



Limitations principales:

- Méthode indirecte (modélisation): connaissance au préalable du procédé
- Métrologies complémentaires souvent nécessaires

Métrologies pour les mesures dimensionnelles et d'overlay

- Les mesures dimensionnelles: le bilan
 - Finalement quelle technique est la plus adaptée?

Techniques	Destructive	Throughput	Time to solution	Statistic	3D-information	Measuring capability ¹
CD-SEM	+	+	++	-	-	+
OCD	-	++	--	++	++	+
AFM-3D	-	-	+	-	++	+
MEB	++	--	-	--	++	+

- Vers une hybridation des données, interprétation différente des données
 - Hybridation des données^{1,3}
 - Machine learning + scatterometry²
- *Plus de techniques de métrologie raccordées au S.I.³ → LNE*

1. « Hybrid Metrology Applied to dimensional Control in Lithography », N. Griesbach, these, 2018

2. « Application of scatterometry-based machine learning to control multiple electron beam lithography », Figueiro, N., Blancquaert, Y., ASMC, IEEE, 2018

3. « Métrologie hybride AFM/SEM pour mesurer la dimension de nanoparticules », L.Crouzier, N.Feltin, A.Delvallée, Techniques de l'Ingénieur (réf. : R6737 V1), 2020

Métrologies pour les mesures dimensionnelles et d'overlay

- Mesures du désalignement
 - Désalignement entre deux niveaux lithographies: overlay (OVL)

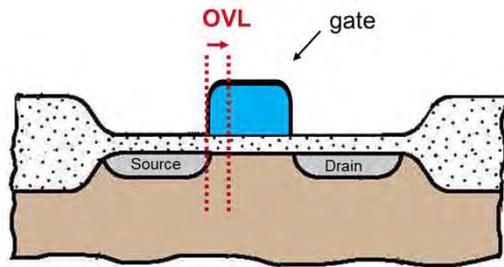


Figure1: Illustration¹ de l'overlay dans un semiconducteur

- Désalignement sur un même niveau: stitching

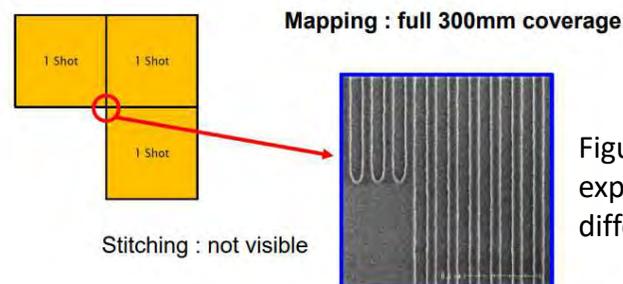


Figure2: Illustration² du stitching sur un wafer 300mm entre différentes expositions de lithographie optique avec image CD-SEM à l'interface entre les différentes exposition

1. "Overlay measurements for advanced technologies" L.Alrifai, stage Master2, 2021
2. the take-off of immersion lithography immersion lithography at Leti" C.Lapeyre, rapport, 2018

Métrologies pour les mesures dimensionnelles et d'overlay

• Représentation de l'overlay

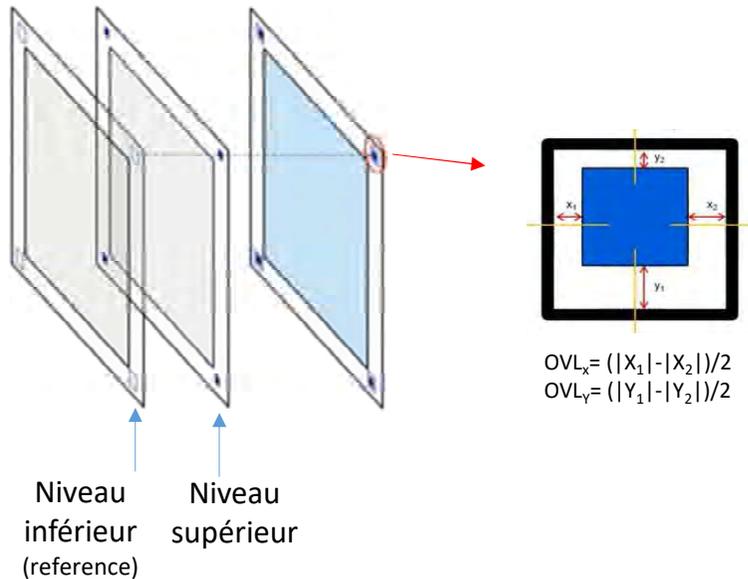


Figure1: Définition de l'overlay selon la direction X (OVL_x) et Y (OVL_y)

Termes possibles composants l'erreur overlay

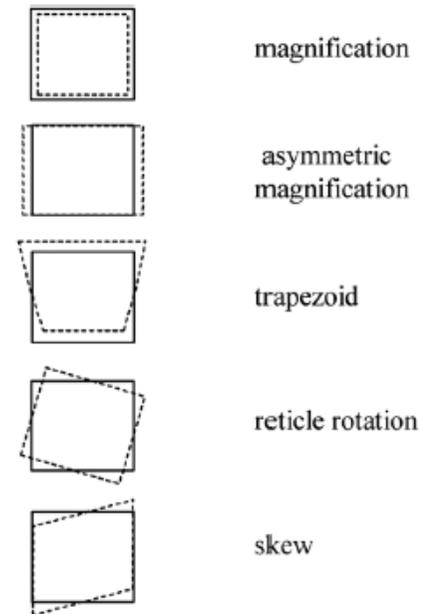


Figure2: illustration¹ des erreurs overlay intra-champs les plus communes

1. « *Principle of lithography* », H.J.Levinson, SPIE PRESS, 2010

Métrologies pour les mesures dimensionnelles et d'overlay

- Focus sur une technique de mesure de l'overlay basée sur l'analyse d'image
Image Based Overlay (IBO)
 - Principe:
 - Microscope optique automatisé couplé à un algorithme d'analyse d'images
 - Cette technique utilise des motifs de métrologie dédiés (figure1) pour recherche de centres de symétries → impossible de mesurer l'OVL sur les composants du circuit.
 - Mesures de motifs dont les deux niveaux sont séparés d'une épaisseur allant jusqu'à 15 μm

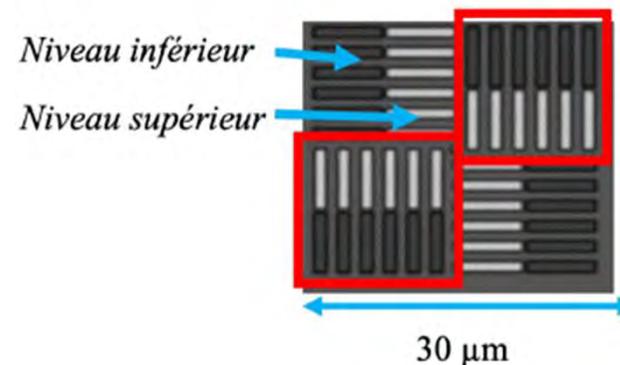
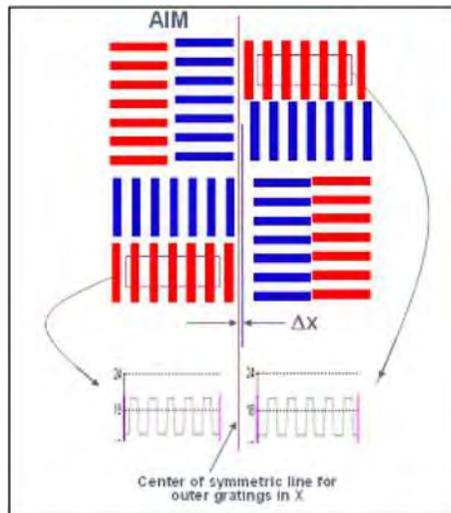
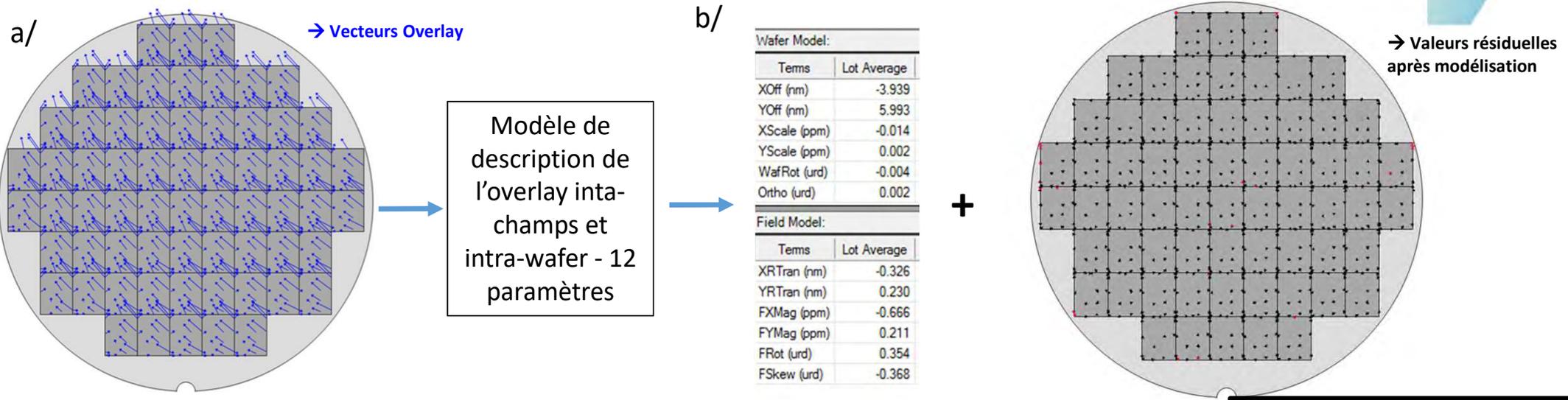


Figure2: Imagerie optique d'une AIM avec identification du niveau inférieur et supérieur

Figure1: Advanced Imaging Metrology (AIM), motifs de métrologie dédié à la technique IBO.

Métrologies pour les mesures dimensionnelles et d'overlay

- Une technique de mesure de l'overlay – Basée sur l'analyse d'image
- Résultat:

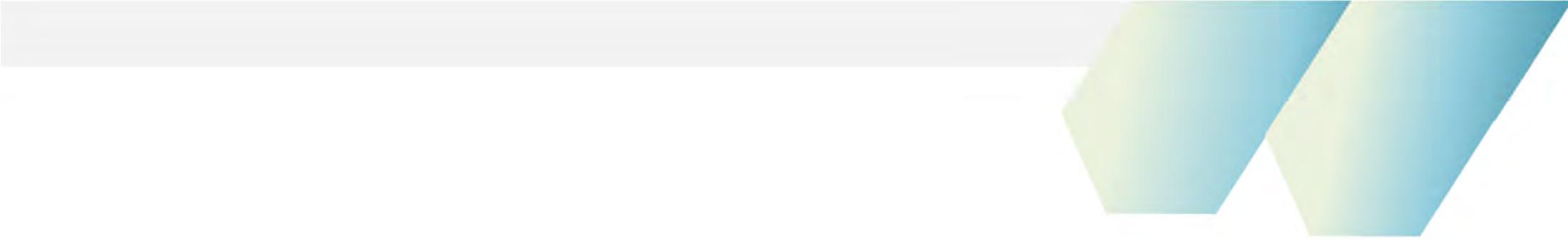


Figures: a/ Représentation des mesures overlay (vecteurs) sur des mire AIM et b/ termes overlay déduits après application d'un modèle overlay 12 paramètres (6 intra-champs+6 intrafield) et les résiduels associés.

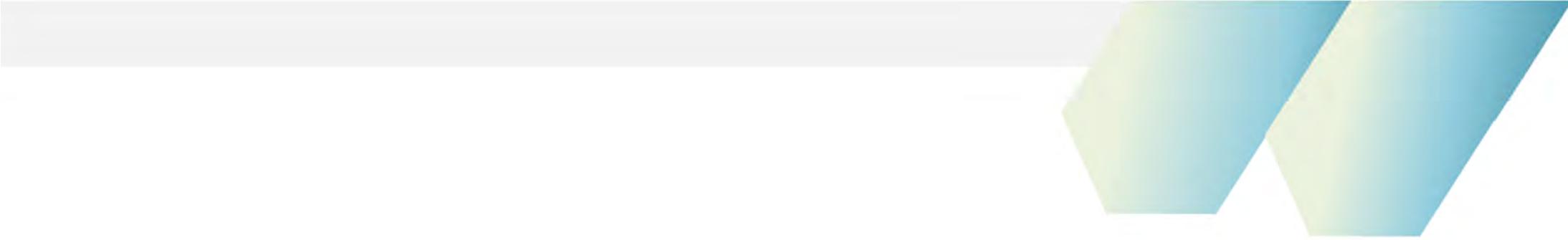
Les autres techniques:

- Electron Based¹
- X-Ray Based Overlay²
- Diffraction Based overlay³

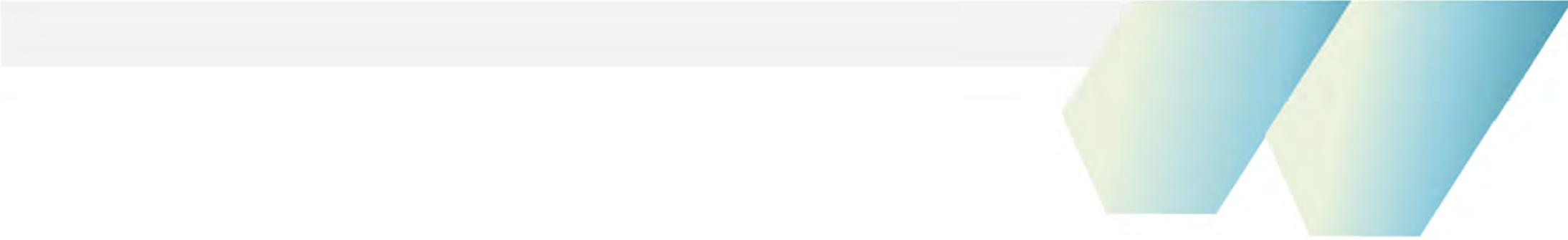
1. « High-spatial frequency on-device overlay characterization using CDSEM contours », T.Bourguignon, SPIE Advanced Lithography + Patterning, 2023
 2. « Small Angle x-ray scattering overlay metrology for advanced nodes », T.Choisnet et al, Metrology, Inspection, and Process Control XXXVIII, 2024
 3. « Diffraction Based Overlay and Image Based Overlay on production flow for advanced technology node », Y.Blancquaert et al, SPIE advanced Lithography, 2013



Wafer scale submicron optical grating for the picometre measurement of aberrations and stitching errors in step and repeat cameras



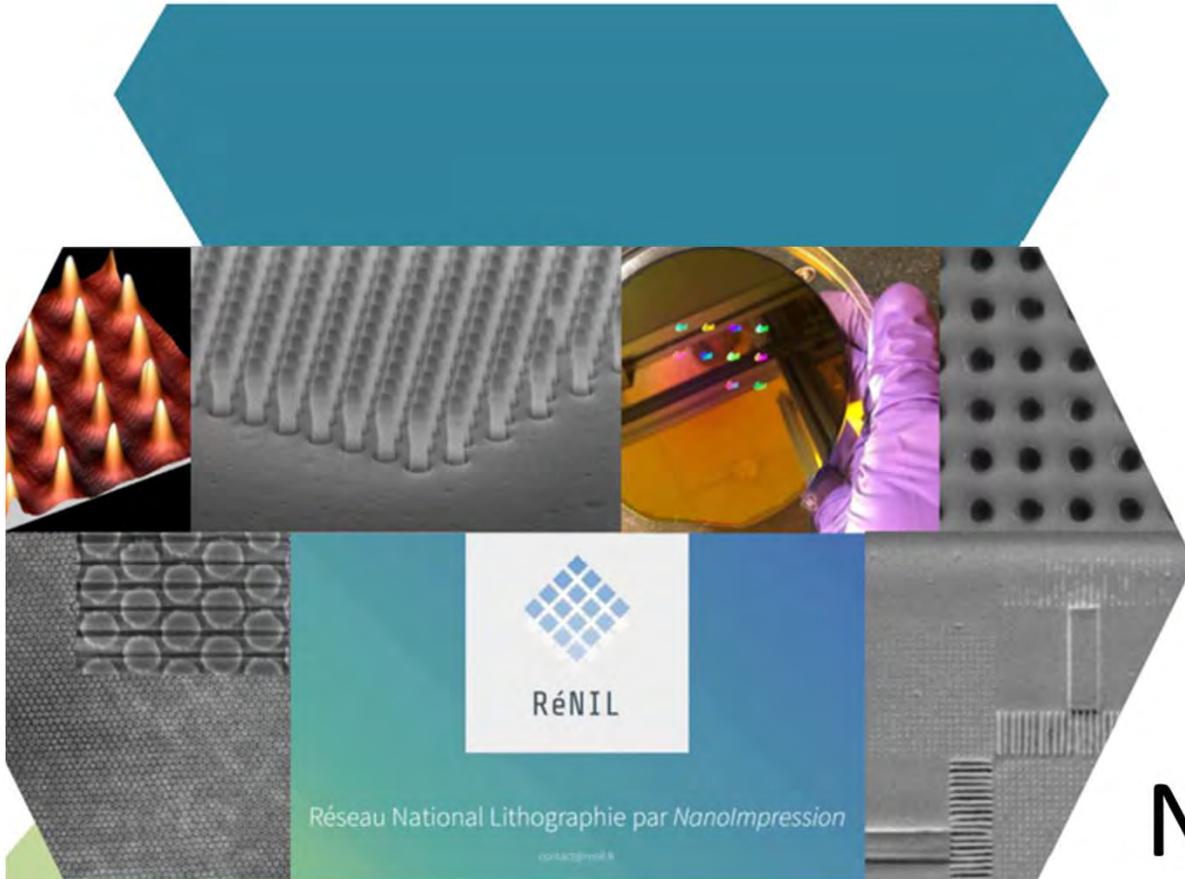
La mesure de défektivité



Mesure épaisseur par ellipsométrie

Actions à venir

- Réunions régulières avec thématique particulière
 - Répondre à une problématique « procédés »: quelles techniques de métrologie pourraient répondre à ce besoin particulier
- Recherche de problématiques communes pour mutualisation des efforts et moyens
- Connecter les mesures aux SI
 - **l'exactitude**¹ et **précision** de mesure
- Veille bibliographique
- Animation de nouvelles rencontres scientifiques
 - Caractérisation des matériaux ?



Merci pour votre participation

N'hésitez pas à nous rejoindre !

Contact:
Yoann Blancquaert
04 38 78 16 64
Yoann.blancquaert@cea.fr