

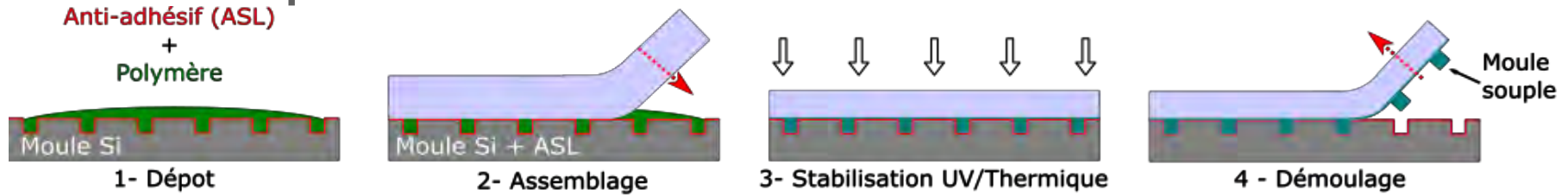
NIL : PERFORMANCE ET INTÉGRATION DE MOTIFS DE RÉSOLUTION 50 NM À L'ÉCHELLE D'UN WAFER 200 MM

J. RECHE, M. ARGOUD, A. DE LEHELLE D'AFROUD, A. WARSONO

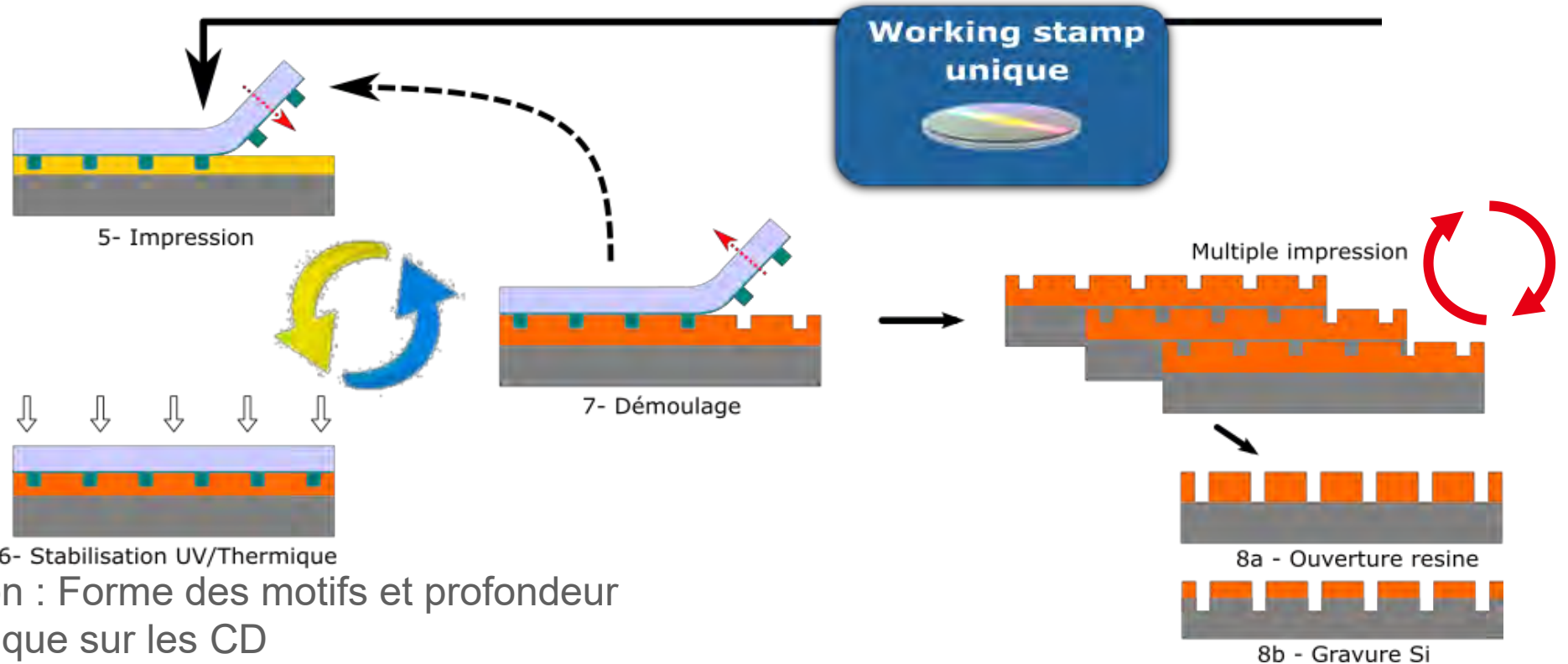
JN-NIL 2021 | 18-19 Novembre 2021

PROCÉDÉ DE NANOIMPRESSION AU CEA-LETI

- Création d'un moule souple intermédiaire



- Réplication



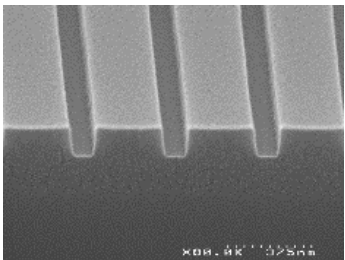
- Caractérisation

- SEM cross-section : Forme des motifs et profondeur
- CD-SEM : Statistique sur les CD
- Défectivité

- **La technologie NIL au CEA-Leti**
- **Design pour évaluer le NIL**
- **Quatre critères de performance**
 - Résolution atteignable
 - Intégration
 - Défectivité
 - Overlay – la distorsion
- **Conclusions et perspectives**

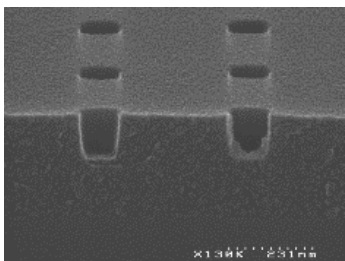
- Lignes denses (L/S)**

- Ratio CD:Pitch = 1:5
- CD motifs suivis
 - 100 nm
 - 50 nm
 - 45 nm

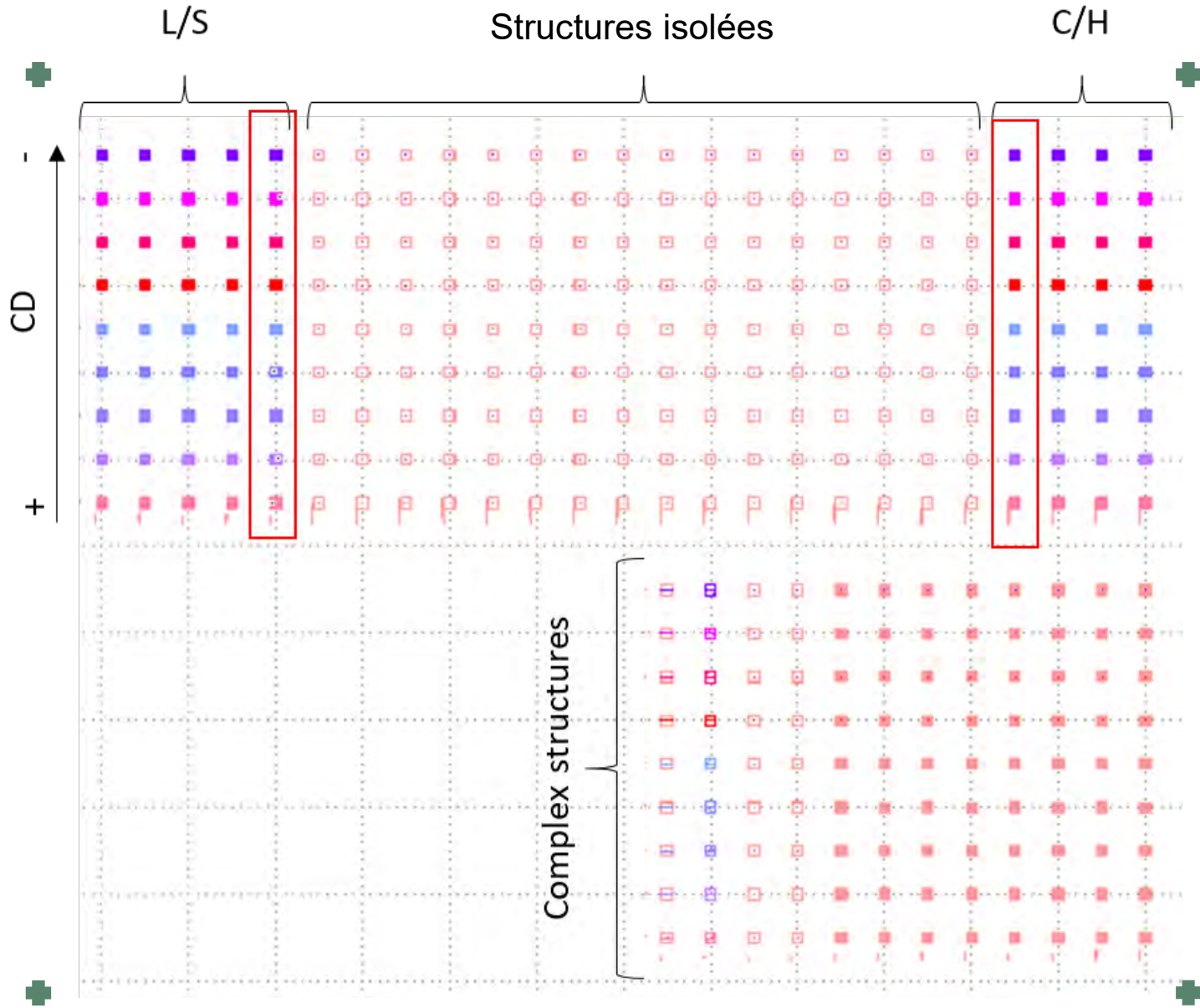


- Contact denses (C/H)**

- Ratio CD:Pitch = 1:4
- CD motifs suivis
 - 100 nm
 - 50 nm
 - 45 nm



- Marques overlay**



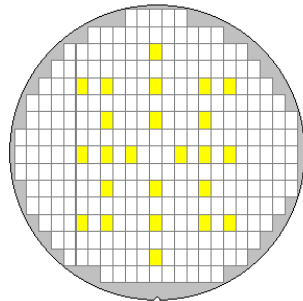
- **La technologie NIL au CEA-Leti**
- **Design pour évaluer le NIL**
- **Quatre critères de performance**
 - Résolution atteignable
 - Intégration
 - Défectivité
 - Overlay – la distorsion
- **Conclusions et perspectives**

- Deux types d'équipement

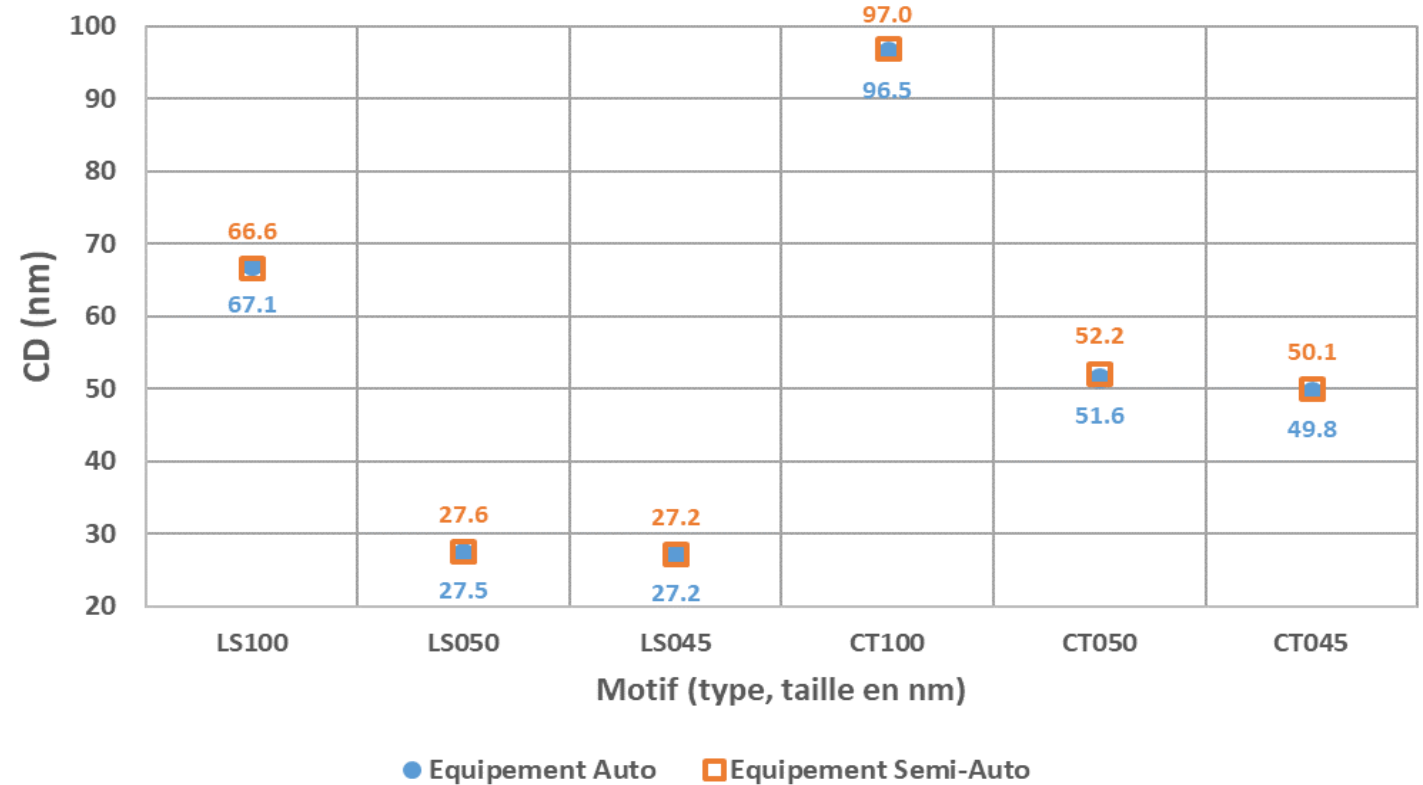
- Automatique
- Semi-Automatique

- Mesures CD-SEM

- 1 plaque par équipement
- 24 puces réparties
- 6 Motifs différents



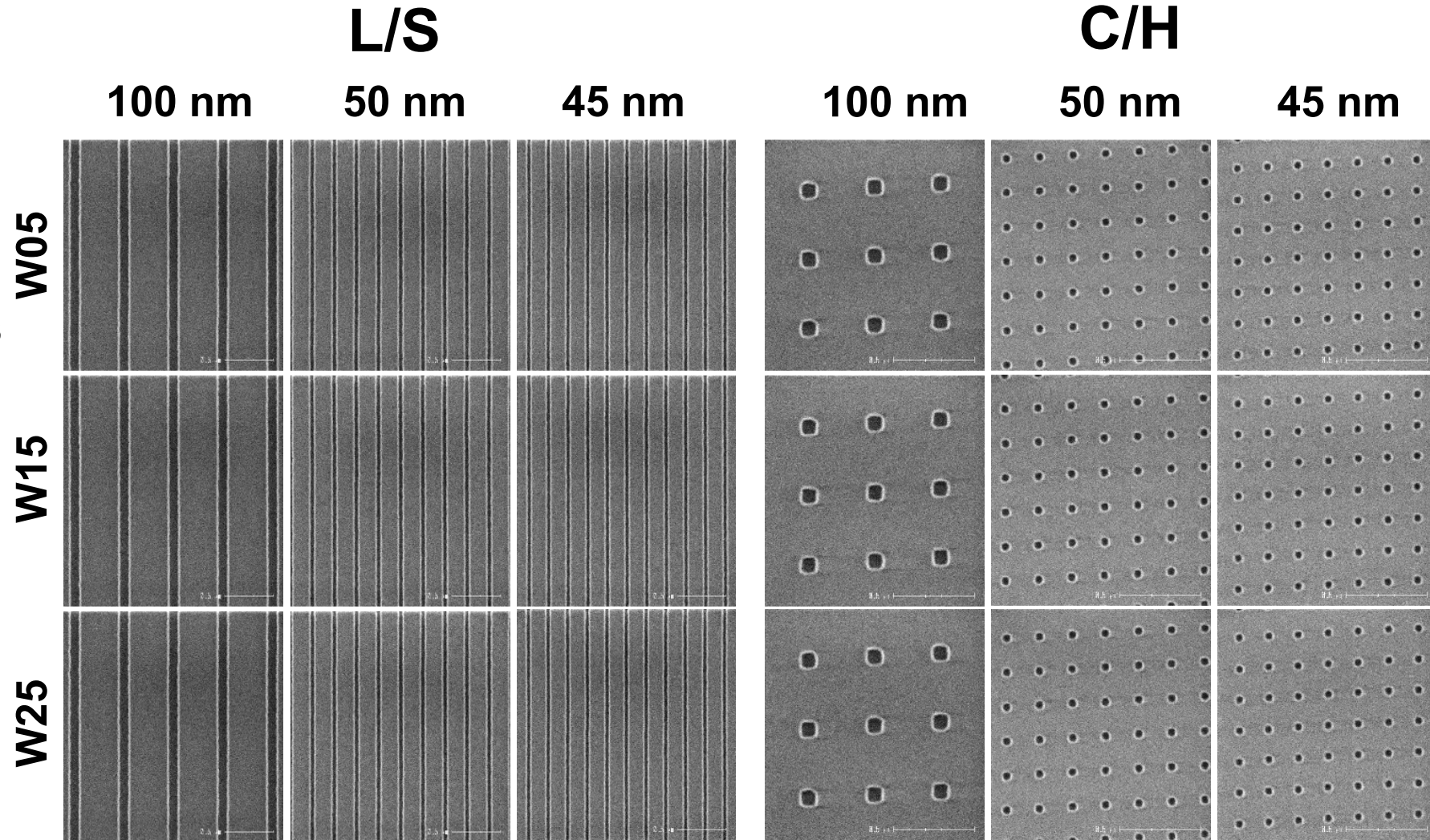
- Résultats similaires sur les deux équipements



Performances principalement liées aux matériaux

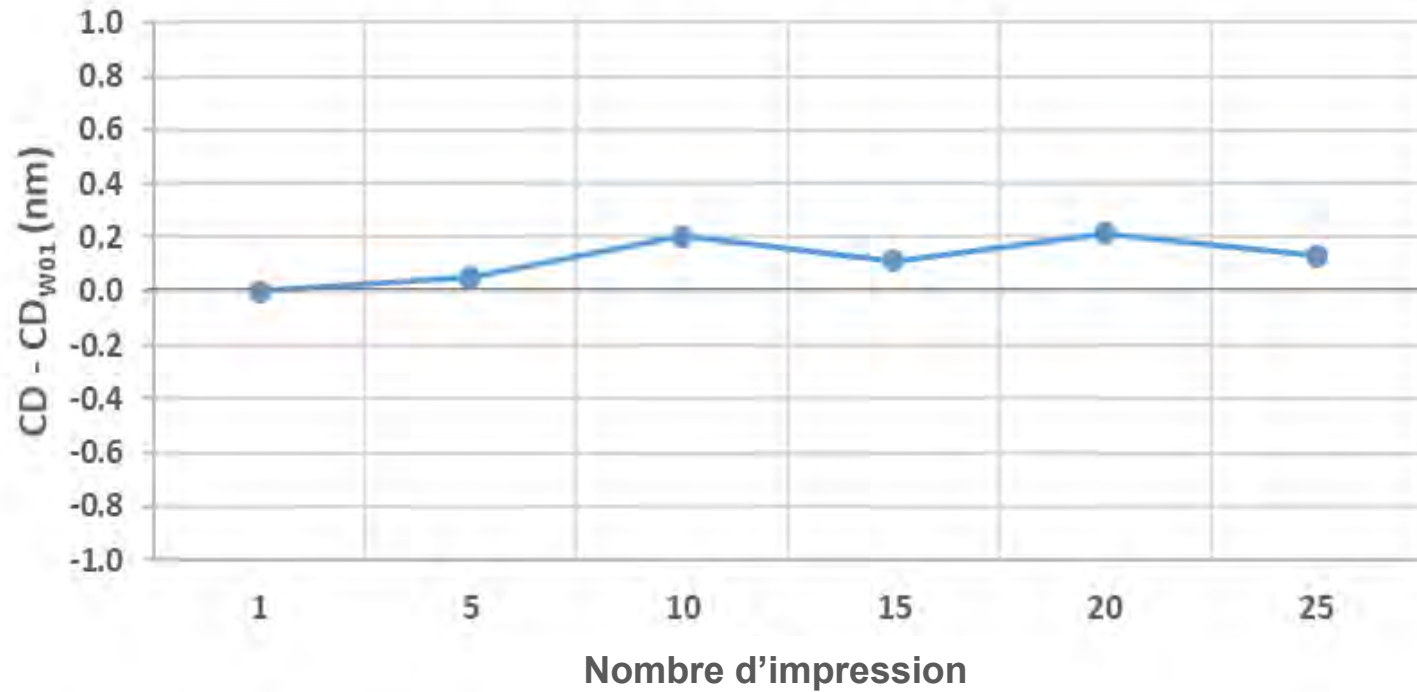
RÉPÉTABILITÉ : OBSERVATION

- 25 plaques imprimées avec un moule souple
- Aucun défauts détectés
 - CD-SEM
 - L/S et C/H
 - Toutes les dimensions
- Motifs 45 nm résolus
 - L/S droit
 - C/H forme arrondie



Répétabilité validée sur un lot complet

Variation CD sur un lot



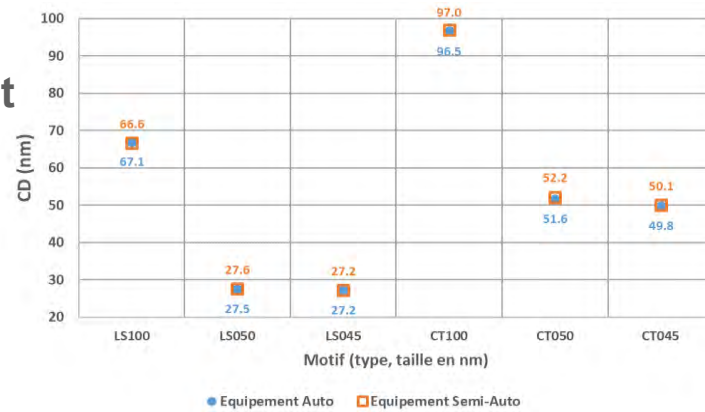
- **Première plaque comme référence**
 - Extraction sur L/S
 - Variation = $CD - CD_{w01}$
- **Variations**
 - $< \pm 0.1$ nm plaque à plaque
 - Faible tendance à l'augmentation
 < 0.2 nm après 25 réplifications
- **Proche des valeurs de variabilité intra-plaque**

Variation sur tout le lot < 0.2 nm

QUATRE CRITÈRES DE PERFORMANCE

Résolution atteignable

- Résolution < 50nm
- Répétabilité sur un lot
- Faible dispersion



Intégration

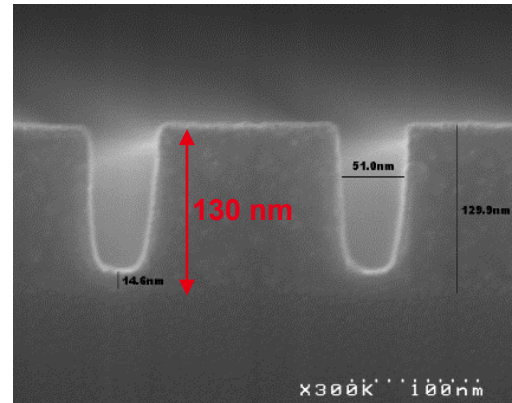
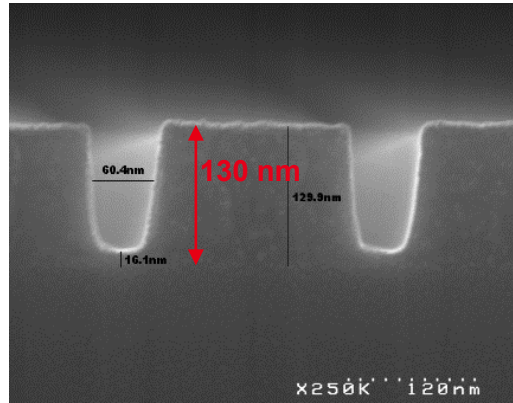
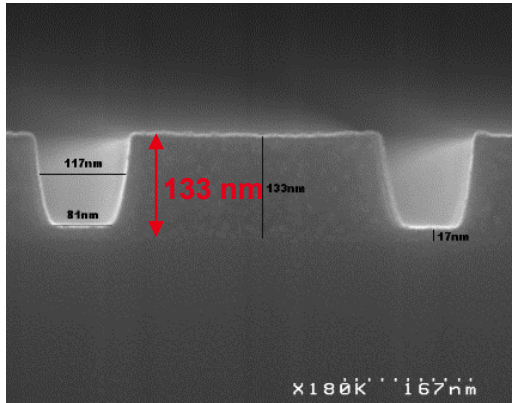
CAPABILITÉ DE GRAVURE L/S

100 nm

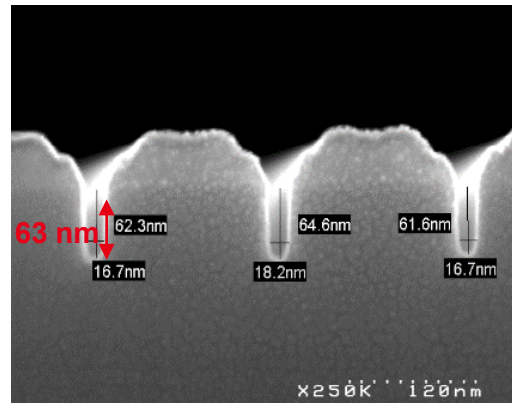
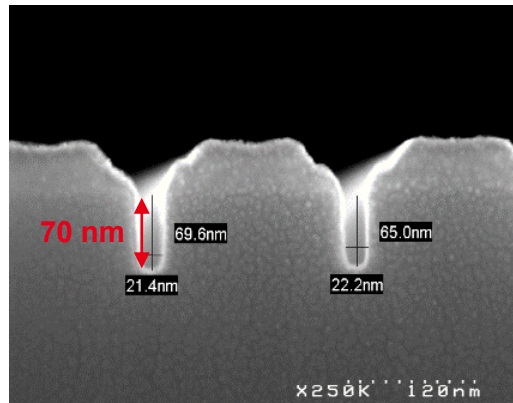
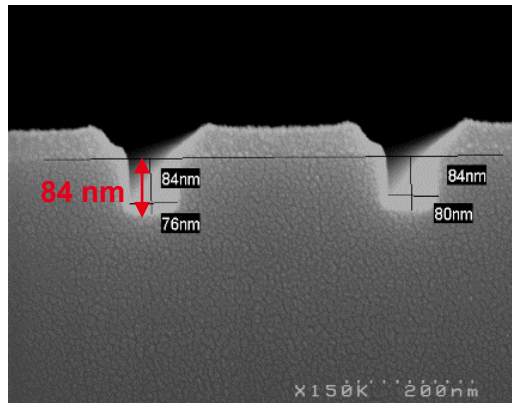
50 nm

45 nm

NIL



Etch



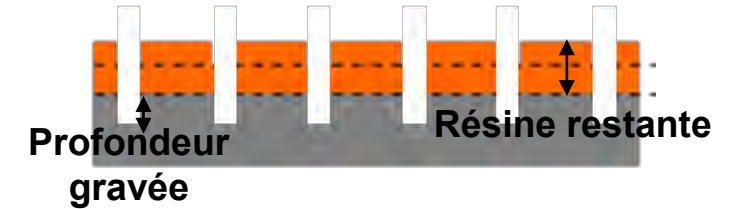
Etape NIL

- Epaisseur résiduelle <20 nm
- Budget résine >100 nm



Après gravure

- Profondeur gravée ~65 nm
- Résine restante 40 nm



Epaisseur et profondeur équivalentes sur la gamme [100-45] nm

CAPABILITÉ DE GRAVURE C/H



100 nm

50 nm

45 nm

- **Etape NIL**

- Epaisseur résiduelle < 20 nm
- Budget résine > 100 nm

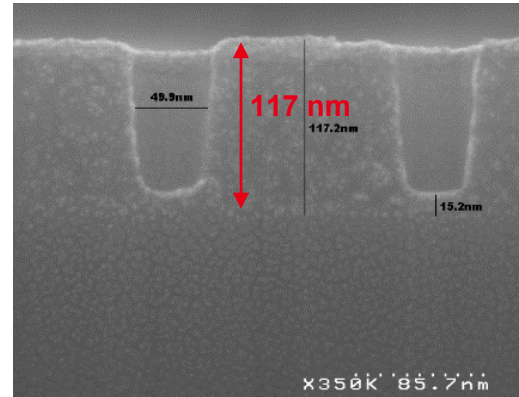
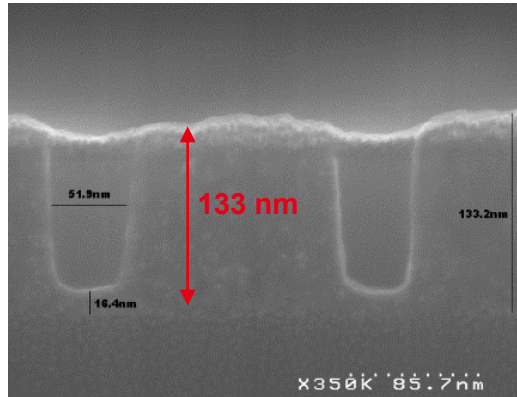
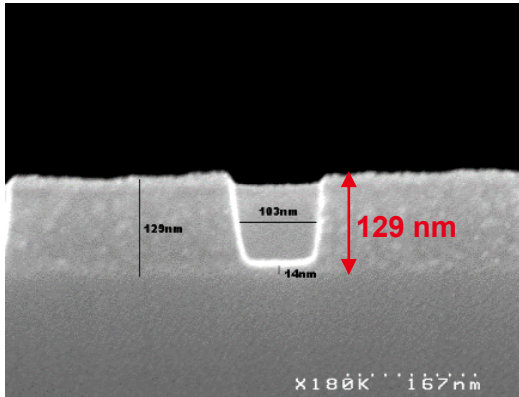
- **Après gravure**

- Profondeur gravée > 65 nm
- Résine restante 40 nm

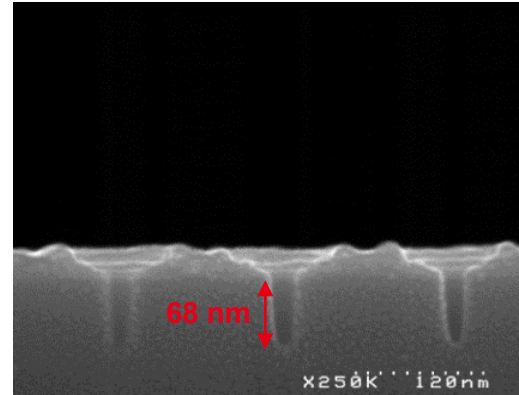
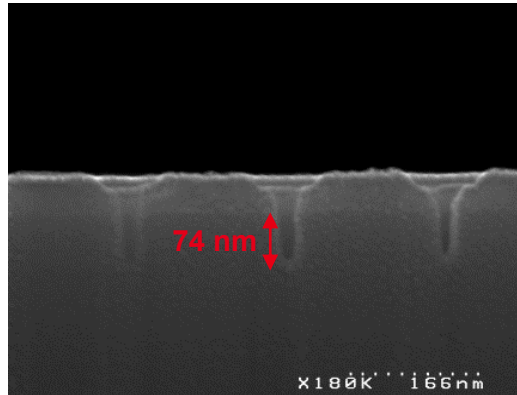
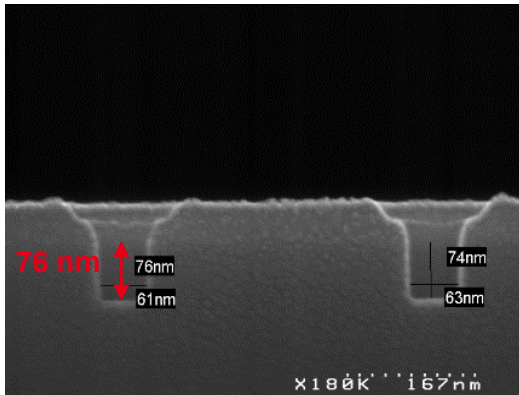
- **Variations CD**

- Un biais de CD est présent entre NIL et gravure

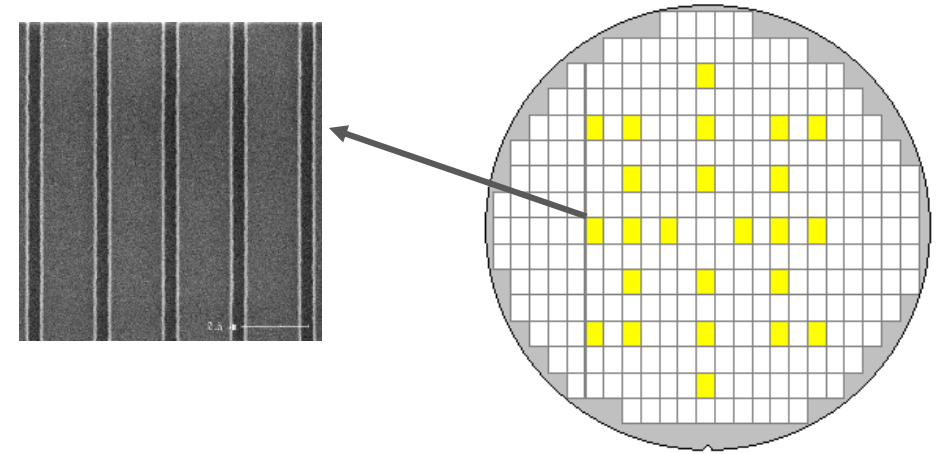
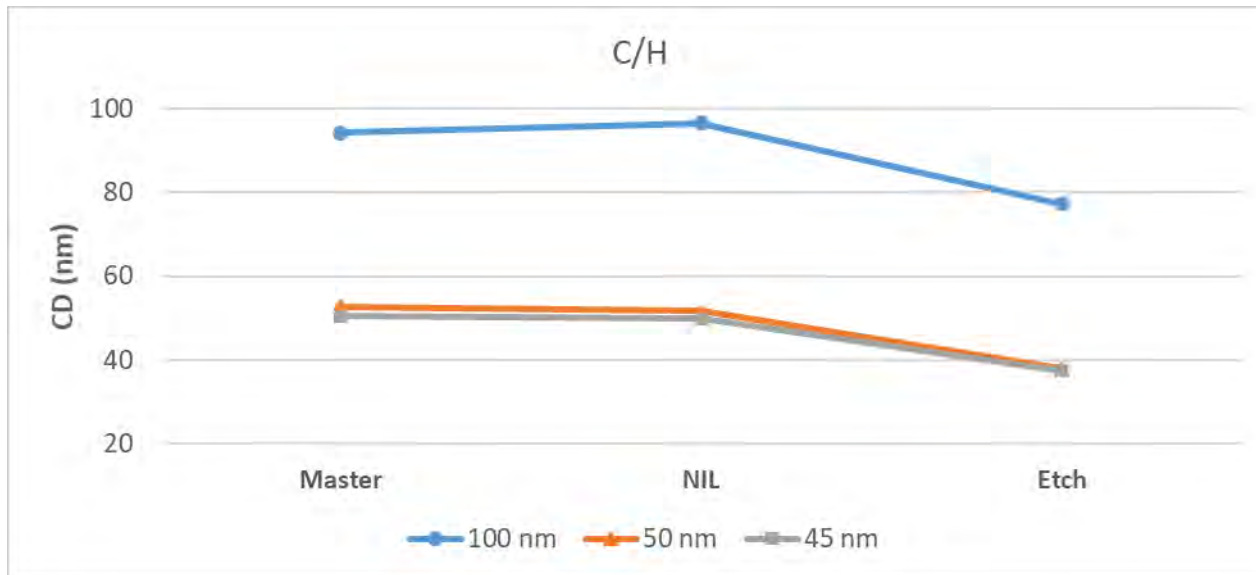
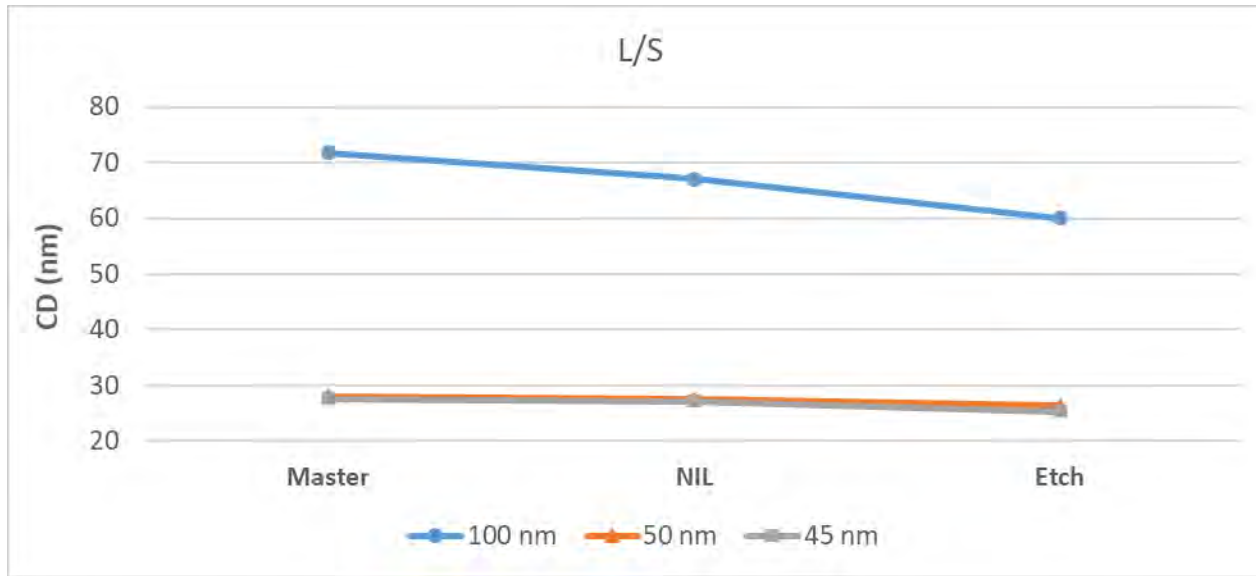
NIL



Etch



Biais CD visible sur les motifs C/H



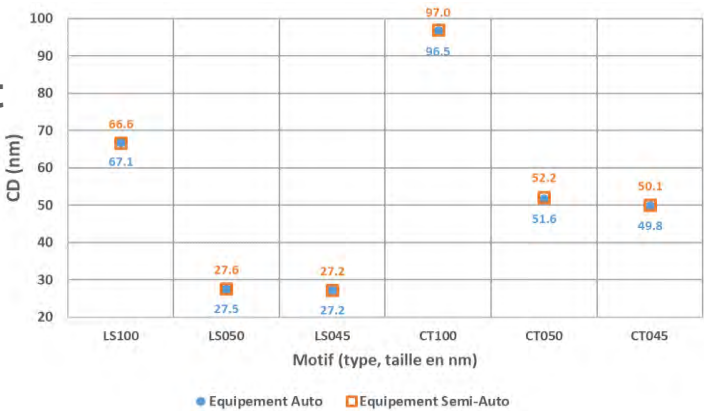
- 6 motifs mesurés sur 24 puces
 - A toutes les étapes
 - 100, 50 et 45 nm
- Biais limité entre le master et l'impression
 - L/S
 - 100 nm <5%
 - 50 et 45 nm <2%
 - C/H <3%
- Biais de gravure
 - 20% pour C/H
 - 50 et 45 nm L/S pas de biais

Dépendance du biais selon les motifs

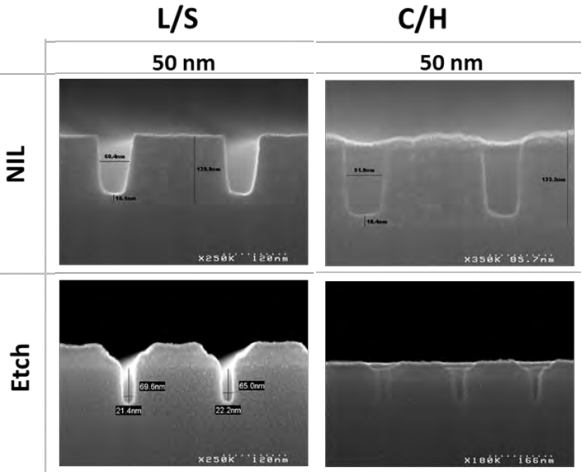
QUATRE CRITÈRES DE PERFORMANCE

Résolution atteignable

- Résolution < 50nm
- Répétabilité sur un lot
- Faible dispersion



Intégration



- Intégration de motif 45 nm
- Résiduel faible < 20 nm
- Biais contrôlé

Défectivité

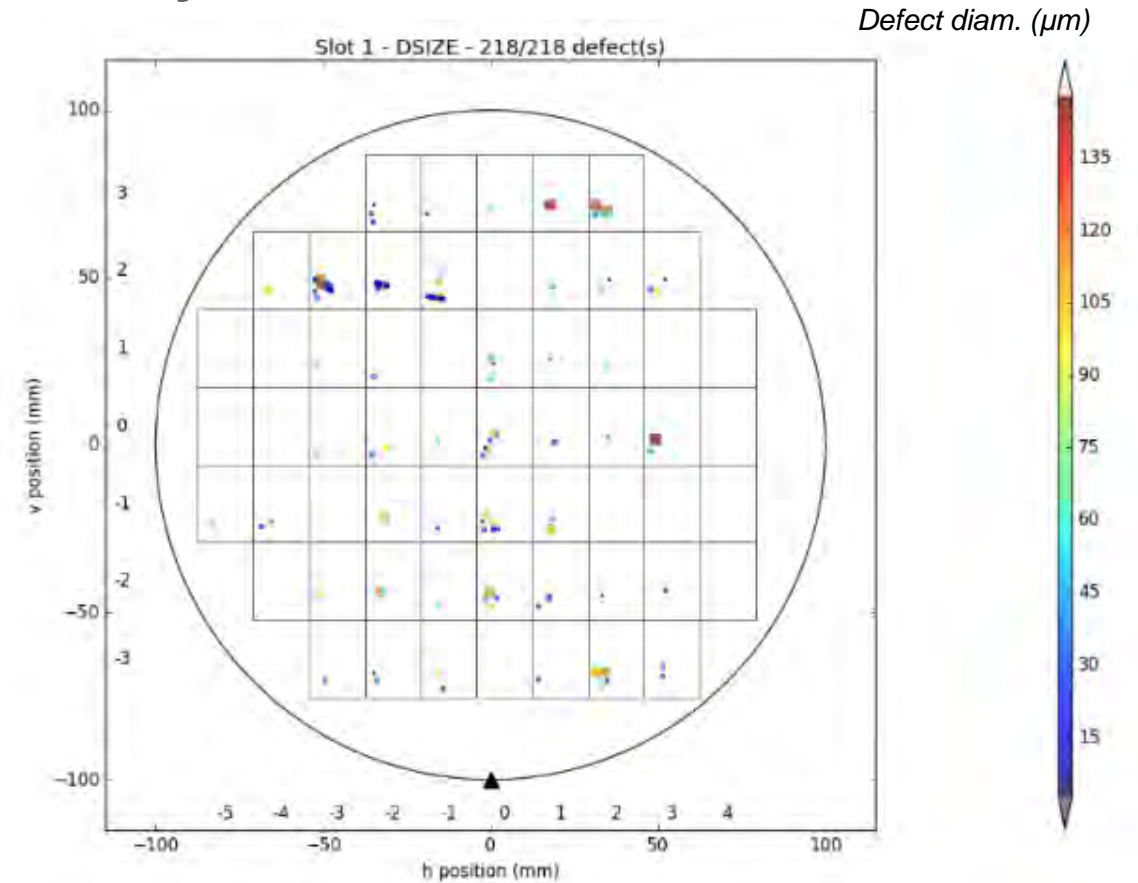
- Critique pour la montée en puissance du NIL

- Dépend de l'application
- Dépend du design répliqué

- Méthodes d'analyses

- Equipement automatique de défectivité
 - Quantification
 - Limite de détection => diam~200nm
- Extraction des données sous deux formes
 - Cartographies à l'échelle du wafer → localisation des défauts
 - Histogrammes → comparaison entre wafers

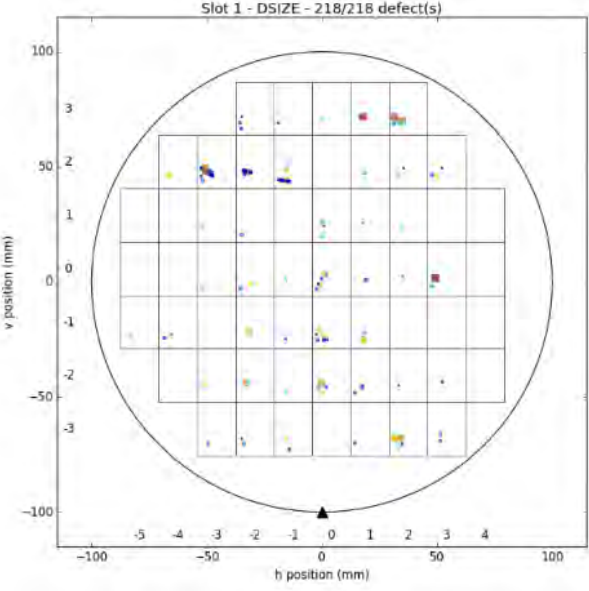
- Analyse d'un wafer



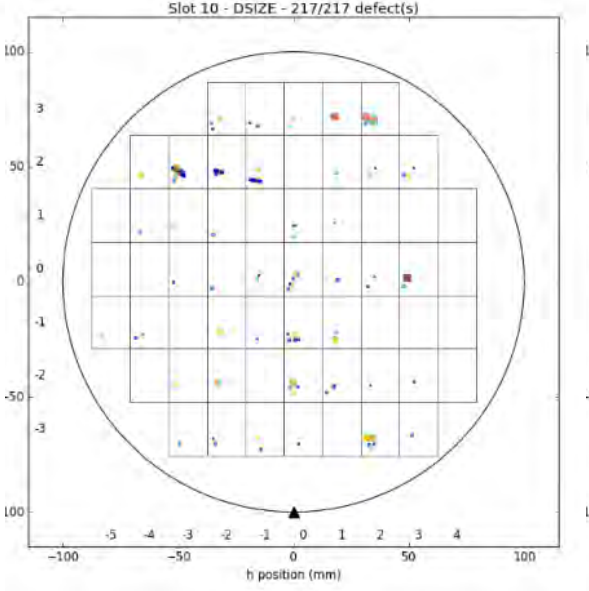
~4 défauts/cm² pour le design considéré

CARTOGRAPHIE SUR 25 WAFER IMPRIMÉS SUCCESSIVEMENT

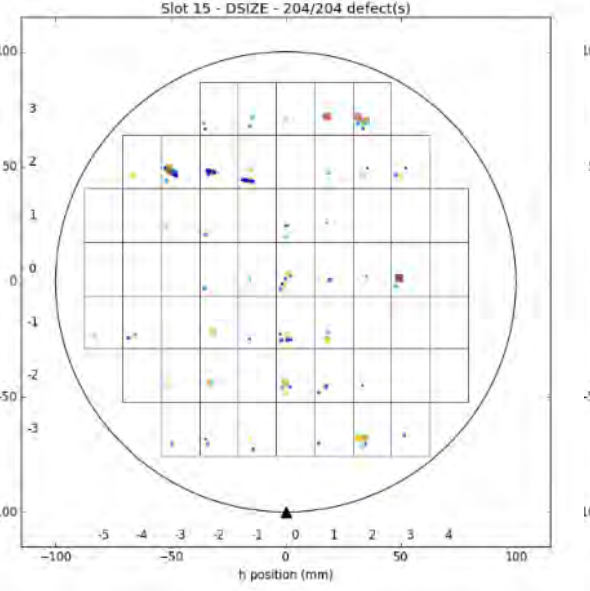
Imprint 01



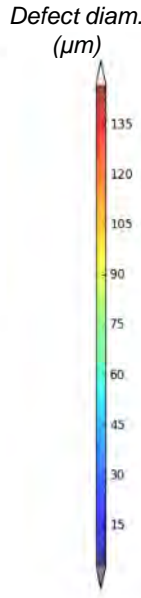
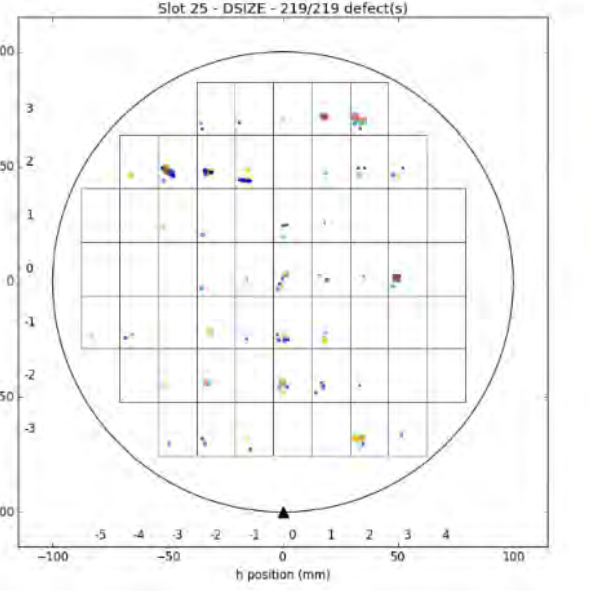
Imprint 10



Imprint 15



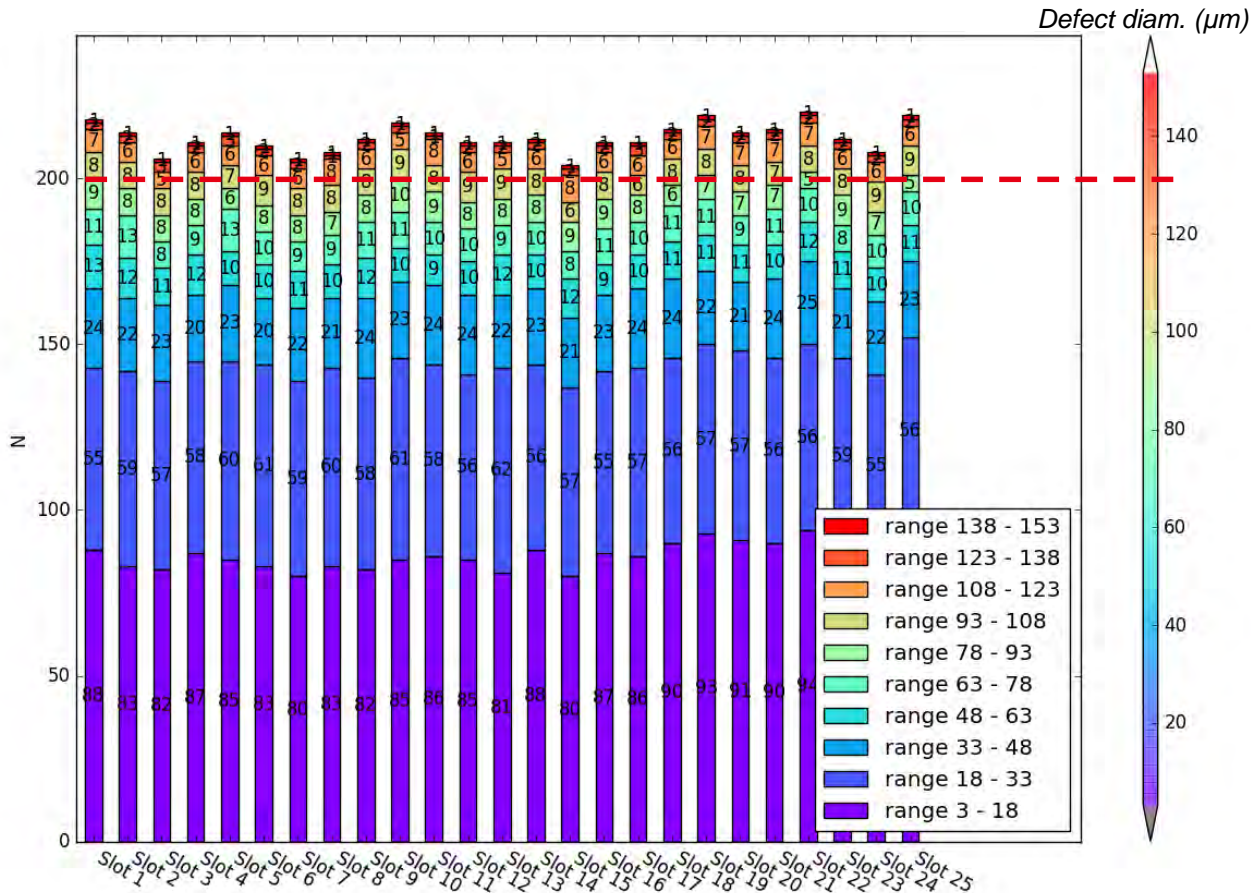
Imprint 25



Signature de défektivité wafer à wafer

HISTOGRAMME SUR 25 WAFER IMPRIMÉS SUCCESSIVEMENT

Note : 50 défauts ~ 1 défaut/cm²
 - - - - - ~ 4 défauts/cm²

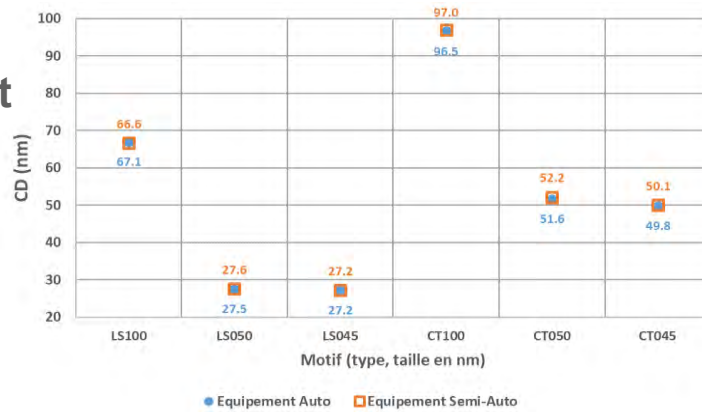


Quantité et dimension des défauts similaire selon les wafers

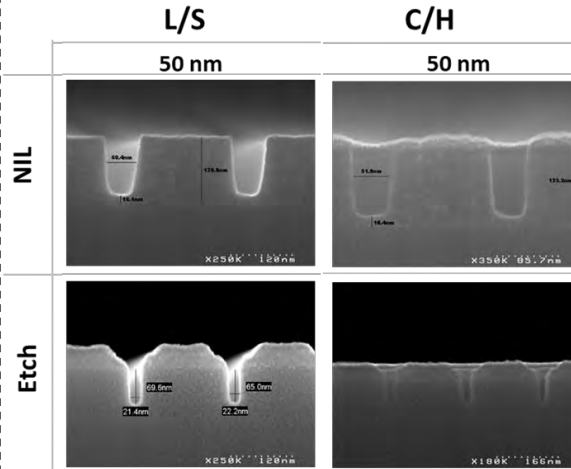
QUATRE CRITÈRES DE PERFORMANCE

Résolution atteignable

- Résolution < 50nm
- Répétabilité sur un lot
- Faible dispersion



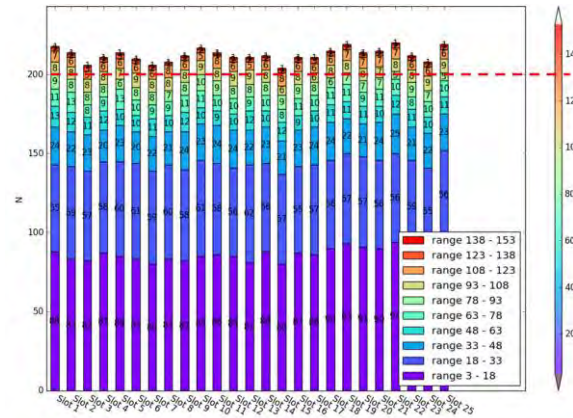
Intégration



- Intégration de motif 45 nm
- Résiduel faible < 20 nm
- Biais contrôlé

Défectivité

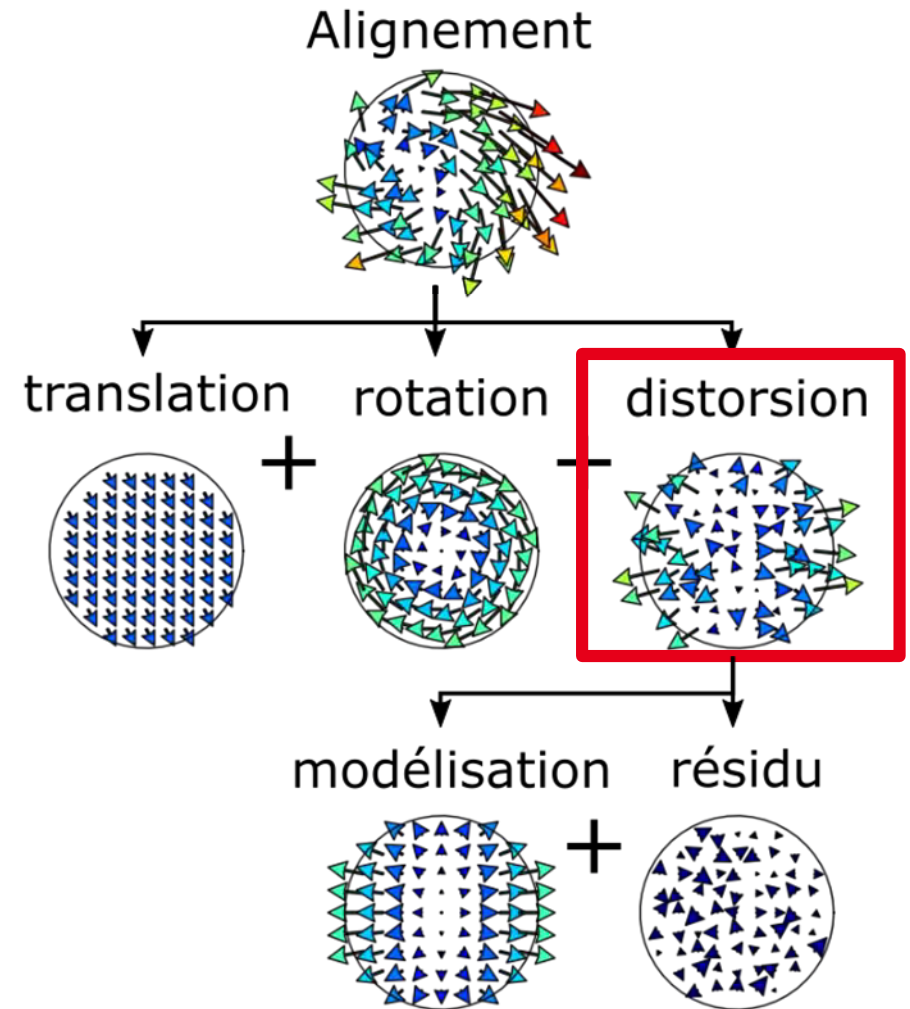
- Méthode de quantification
- Stabilité WtW, ~4def /cm²
- Signature identifiée



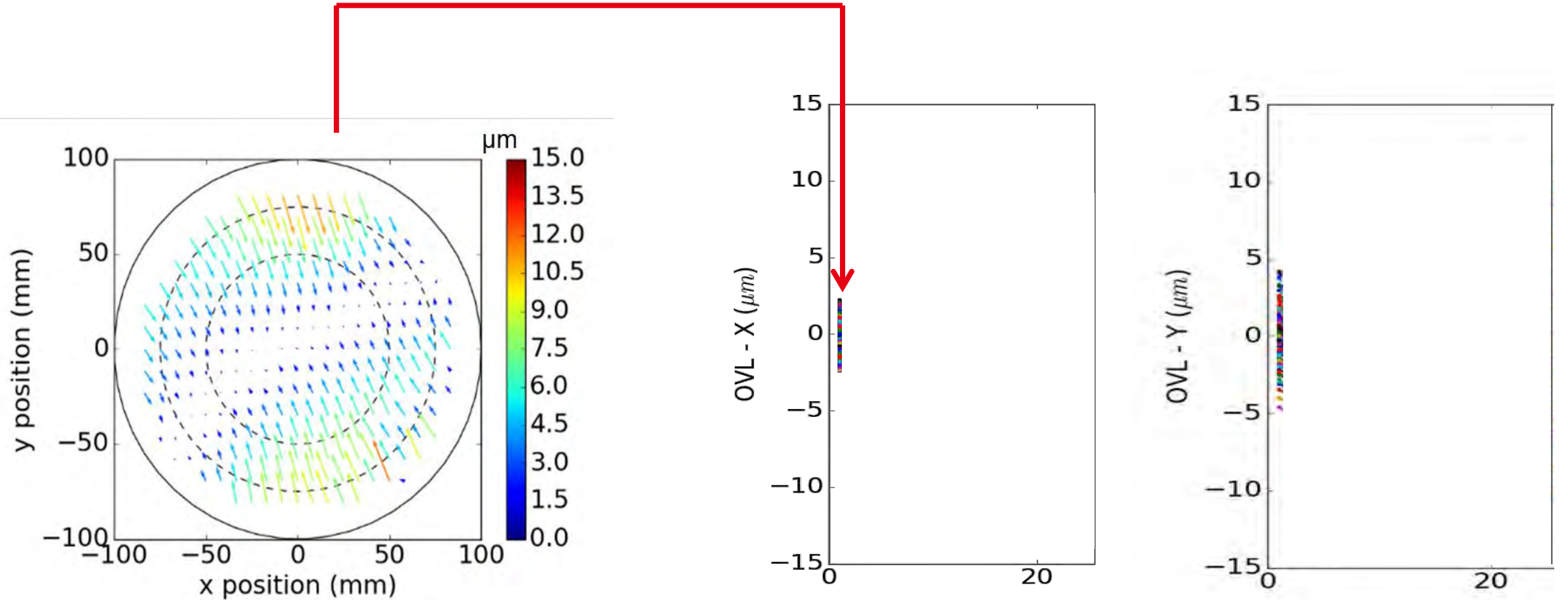
Overlay - Distorsion

- **Alignement**
 - Mesure Overlay
- **Translation et rotation**
 - Liés aux capacités de l'équipement à aligner des marques
 - Ajuster un niveau sur un autre

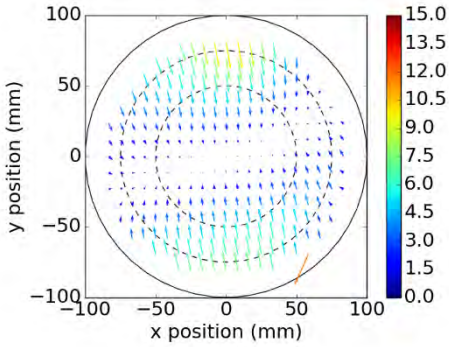
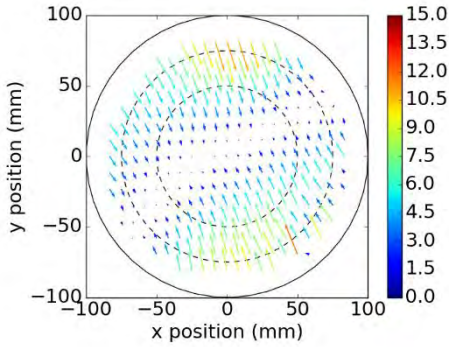
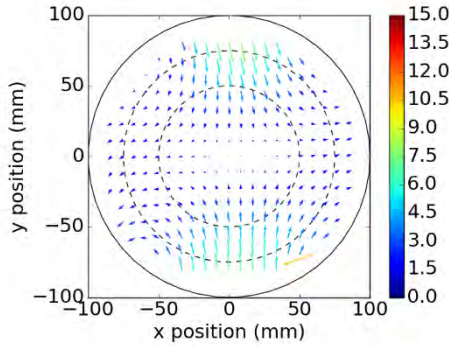
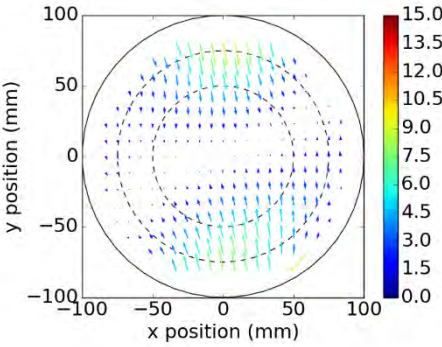
- **Distorsion**
 - Déformation de la nappe
 - Liée au procédé et la technologie
- **Modélisation**
 - Partie répétable plaque à plaque, lot à lot, ...
- **Résidu**
 - Ce qu'il reste après modélisation



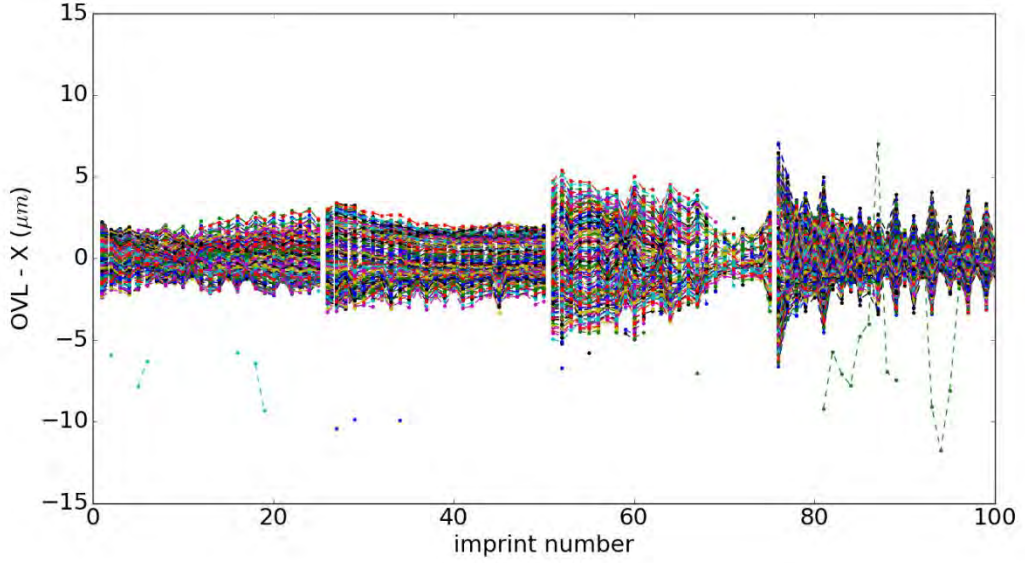
CARTOGRAPHIE DE DISTORSION



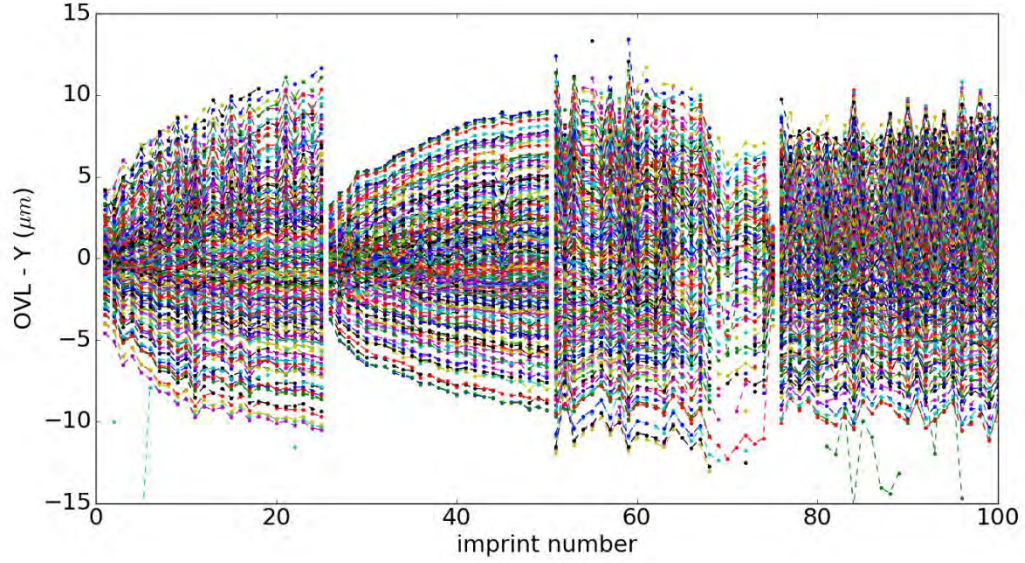
Indicateurs d'évolution de la distorsion



- Contribution axe Y > axe X

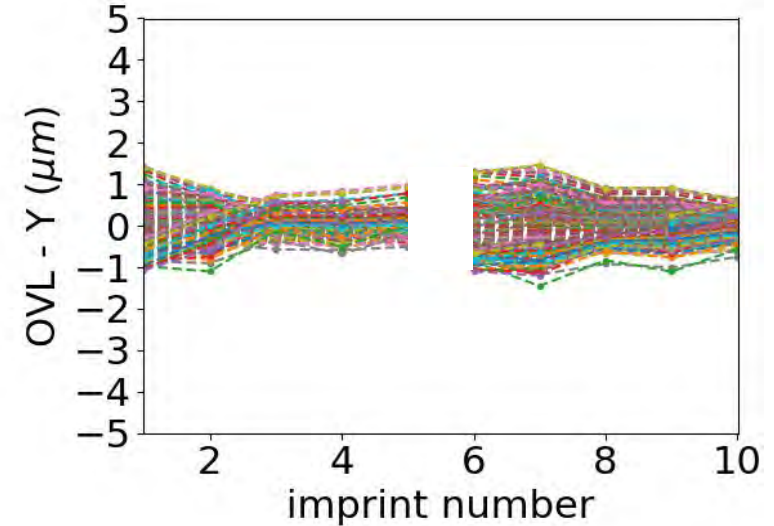
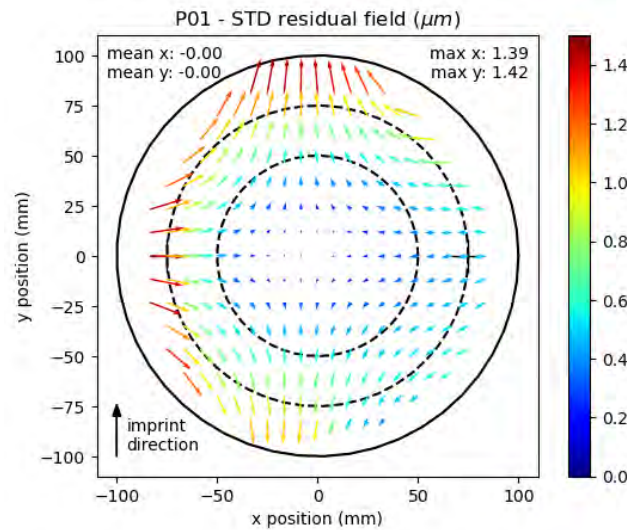
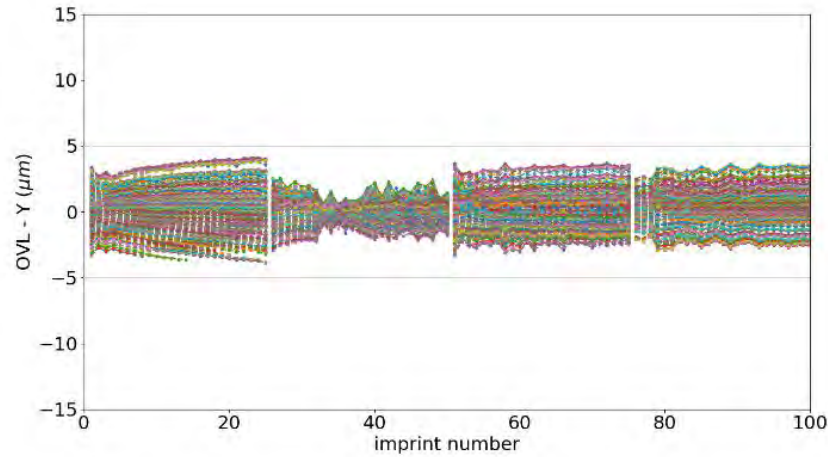


- Variations plaque à plaque importantes



Jusqu'à +/- 13 µm de distorsion

- **Mises à jours équipement**
 - Nouveau bilan fin 2020
 - Distorsion inférieure à $5 \mu\text{m}$
- **Optimisation des procédés**
 - Travaux en cours
 - Investigation de nouveaux paramètres



Distorsion $< 2 \mu\text{m}$ en X et Y

- **La technologie NIL au CEA-Leti**
- **Design pour évaluer le NIL**
- **Quatre critères de performance**
 - Résolution atteignable
 - Intégration
 - Défectivité
 - Overlay – la distorsion
- **Conclusions et perspectives**

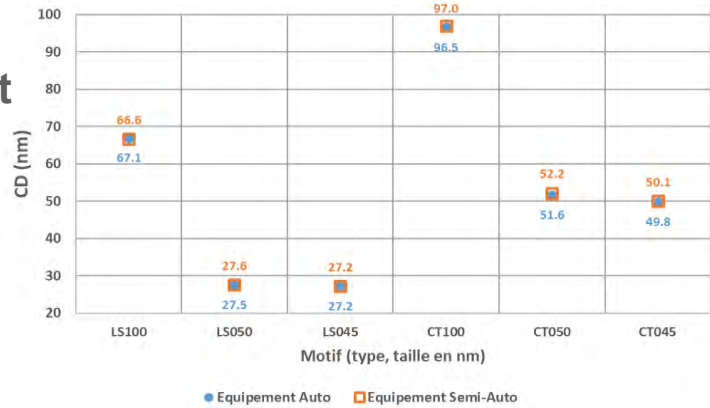
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Résolution atteignable

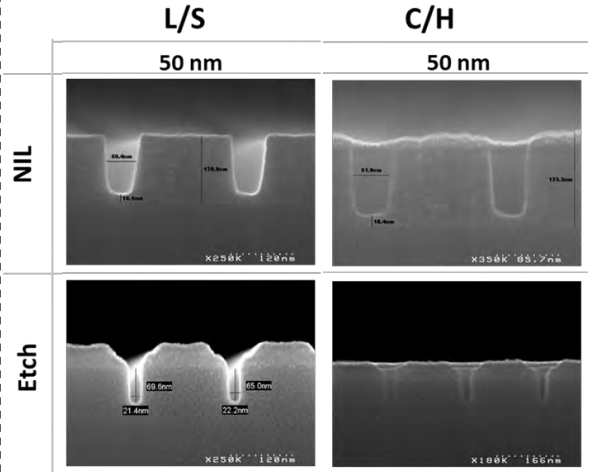
- Résolution < 50nm
- Répétabilité sur un lot
- Faible dispersion

Perspectives

- Stabilité fort volume
- Formes complexes



Intégration



- Intégration de motif 45 nm
- Résiduel faible < 20 nm
- Biais contrôlé

Perspective

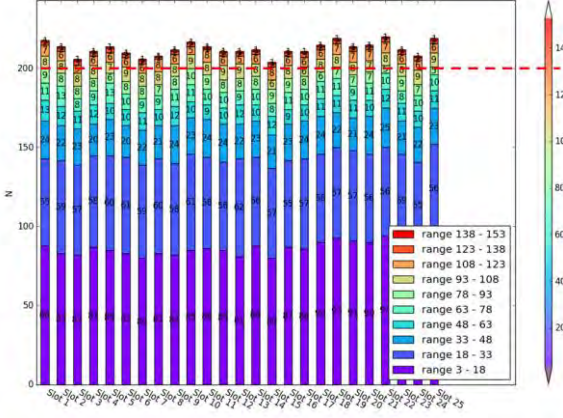
- Intégration directe sur design réel

Défectivité

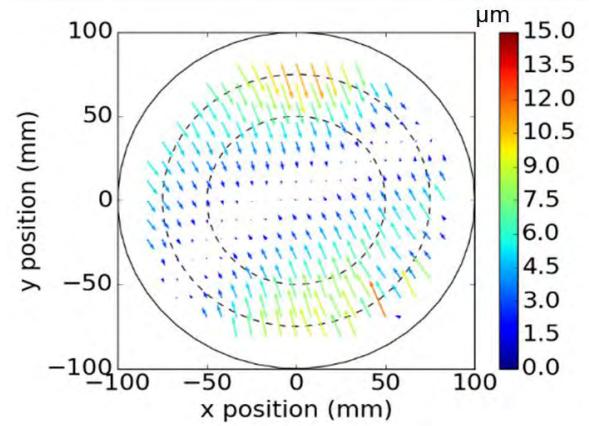
- Méthode de quantification
- Stabilité WtW, ~4def /cm²
- Signature identifiée

Perspectives

- Identification des types de défauts
- Lien potentiel master vs impression
- Impact du design sur la défectivité



Overlay - Distorsion



- Bilan de départ >13 µm
- Distorsion proche de 1 µm

Perspectives

- Stabilisation lot à lot
- Evaluation de l'overlay global



Merci de votre attention!

Leti, technology research institute
Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
Minatec Campus | 17 rue des Martyrs | 38054 Grenoble Cedex | France
www.leti-cea.com

