

TOMOGRAPHIE X DANS LE MEB INSTALLATION ET PREMIERS RESULTATS

Labo d'analyse de défaillance / ST-Ericsson Grenoble

Pascal GOUNET - Member of Technical
Staff
2012-12-07

Disclaimer

© Copyright ST-Ericsson 2012. All rights reserved.

The contents of this document are subject to change without prior notice.

ST-Ericsson makes no representation or warranty of any nature whatsoever (neither expressed nor implied) with respect to the matters addressed in this document, including but not limited to warranties of merchantability or fitness for a particular purpose, interpretability or interoperability or, against infringement of third party intellectual property rights, and in no event shall ST-Ericsson be liable to any party for any direct, indirect, incidental and or consequential damages and or loss whatsoever (including but not limited to monetary losses or loss of data), that might arise from the use of this document or the information in it.

ST-Ericsson and the ST-Ericsson logo are trademarks of the ST-Ericsson group of companies or used under a license from STMicroelectronics NV or Telefonaktiebolaget LM Ericsson.

All other names are the property of their respective owners.

For more information on ST-Ericsson, visit www.stericsson.com

Merci pour leur aide à:

Sandrine Barberan
Laure Canovas
Delphine Guilet

Julie Gratier
Sylvain Choisnet
Jean Frédéric Guillaumond
Gérald Haller
Guillaume Texier

Vincent Richard - GATAN

AGENDA



AGENDA

- Introduction
 - Présentation du labo ST-Ericsson Grenoble
 - Tomographie X dans un MEB: quel système? Place dans notre projet XRAY global.
- Présentation du système
 - Généralités
 - Mise en œuvre interne
- Utilisations typiques
 - Cas d'analyses traitées
- Premiers résultats
- Idées / Travaux futurs

INTRODUCTION

Labo ST-Ericsson Grenoble

- 13 personnes, réparties comme suit:
 - 6 personnes en EFA – dont le responsable labo
 - Interface avec les demandeurs
 - Spécifications produits
 - Diagnostic électrique
 - Localisation électrique
 - 5 personnes en PFA (niveau boîtier et puce + FIB edit)
 - Préparation d'échantillons, deprocessing, FIB edit
 - Inspections et analyses non- ou semi- destructives (XRAY, SAM, SEM, EDX ...)
 - Cross sections mécaniques, ioniques...
 - 2 experts techniques (Member of Technical Staff)
 - 1 MTS en Analyse Electrique (EFA)
 - 1 MTS en Analyse Physique (PFA)

Labo ST-Ericsson Grenoble

- Equipements internes
 - Electricite / Localisation
 - **Hamamatsu** Iphemos, Phemos1000, Themos1000,
 - **IRLabs** IREM II,
 - **Verigy** V93K, **TESEDA**, **Inovys** Personal Ocelot.
 - Physique
 - **FEI** DB235, **HELIOS600**, **MAGELLAN**, **FIB200**,
 - **FEI** V400ACE,
 - **Kleindiek** (4 MM3A + module STA): ex-situ ou in-situ (DB235)
 - Plasma type **Nextral** NE90, NE860,
 - Xray **InsidiX** Fox, **SAM Sonoscan** et **PVA-TEPLA**,
 - Outils de preparation d'échantillons (polissage, chimie, laser, etc...).

Labo ST-Ericsson Grenoble

- Equipements externes
 - Accès à la plateforme CIMPACA: SIMS, TOF-SIMS, TEM, etc...
 - Accès à toutes les ressources de FA à travers le « FA Network » interne



Labo ST-Ericsson Grenoble

- ANADEF
 - **L'association ANADEF** fondée en 2001, rassemble des industriels et des scientifiques concernés par les mécanismes de défaillance des composants électroniques et des assemblages, dans une optique de PREVENTION, de DETECTION et d'ANALYSE
 - Promouvoir et animer un réseau de spécialistes et d'experts volontaires afin de partager connaissances et expériences, et accompagner les évolutions technologiques
 - Responsable du groupe « Analyse EDX » au sein de l'ANADEF.
- EURIPIDES / Projet Européen
 - **EURIPIDES, YOUR SMART SYSTEMS INNOVATION PARTNER IN EUROPE:** EURIPIDES is the EUREKA R&D program dedicated to Smart Systems, packaging and systems integration. These products are more and more part of our life and environment in communication (smart phones), automotive industry (electric cars), aeronautics, secure societies, medical, agro food, water and energy. They are invisible, but essential and vital! See details here: www.euripides-eureka.eu

Quel système? Place dans le projet XRAY global

- Nos besoins

Ordre décroissant
d'importance

Un système XRay, en remplacement de notre système actuel, qui permet de regarder une pièce, un tray de pièces ou une carte entière avec une très bonne résolution 2D.

Que ce système puisse faire de la tomographie avec une résolution correcte.

Que ce système puisse également permettre d'effectuer des mesures 2D/3D.

Que ce système puisse également permettre une certaine automatisation de certaines tâches.

Et bien sûr.... Un système pas cher! 😊

- Nos actions

Evaluation de différents systèmes XRadia, Phoenix, Xylon et DAGE principalement pour la partie « XRay grand format », et SkyScan et GATAN pour le XRay embarqué dans un MEB.

Envoi d'échantillons identiques à tous les fournisseurs « XRay grand format ».

Demande d'évaluation sur site pour les systèmes embarqués.

Quel système? Place dans le projet XRAY global

- Quelques conclusions...

Un seul système ne donnera jamais une résolution, sur tous types d'échantillon, de moins de 5/10 microns surtout sans préparation d'échantillon!

En dessous de quelques microns de résolution, il faut toujours être capable de préparer l'échantillon et de le manipuler / visualiser facilement.

Ce que vous ne voyez pas en 2D, vous ne le découvrirez pas en 3D – attention à la reconstruction et à sa complexité!

- Notre réponse

Un système « XRay grand format » à savoir DAGE XD7600NT

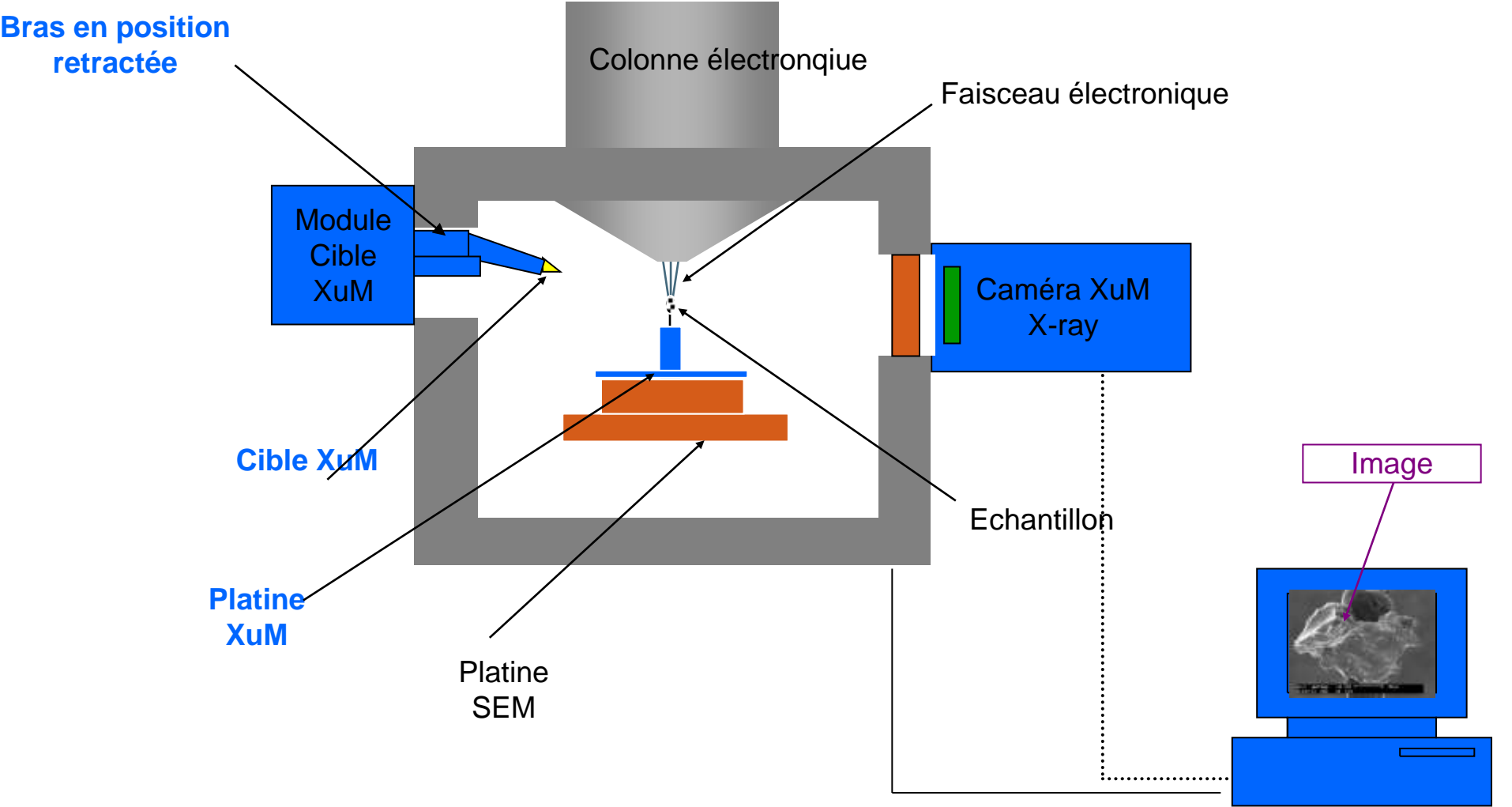
Un système « XRay embarqué » à savoir GATAN XuM (depuis mi-Septembre 2012)

Systemes absolument complémentaires! Pas concurrents!

Dage est le système XRay équivalent à un SEM; XuM est équivalent à un TEM.

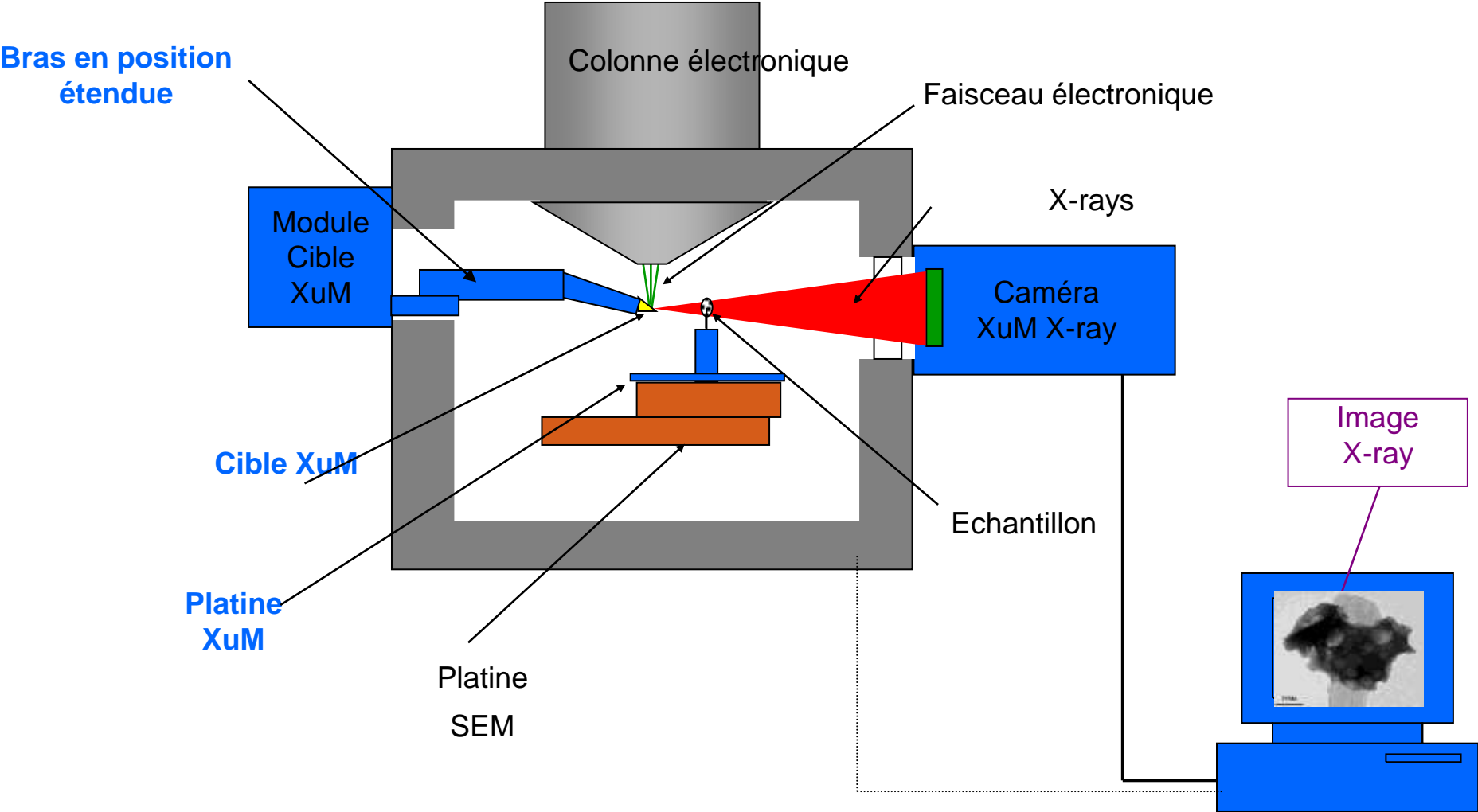
Présentation du système GATAN XuM

Généralités (1/2)



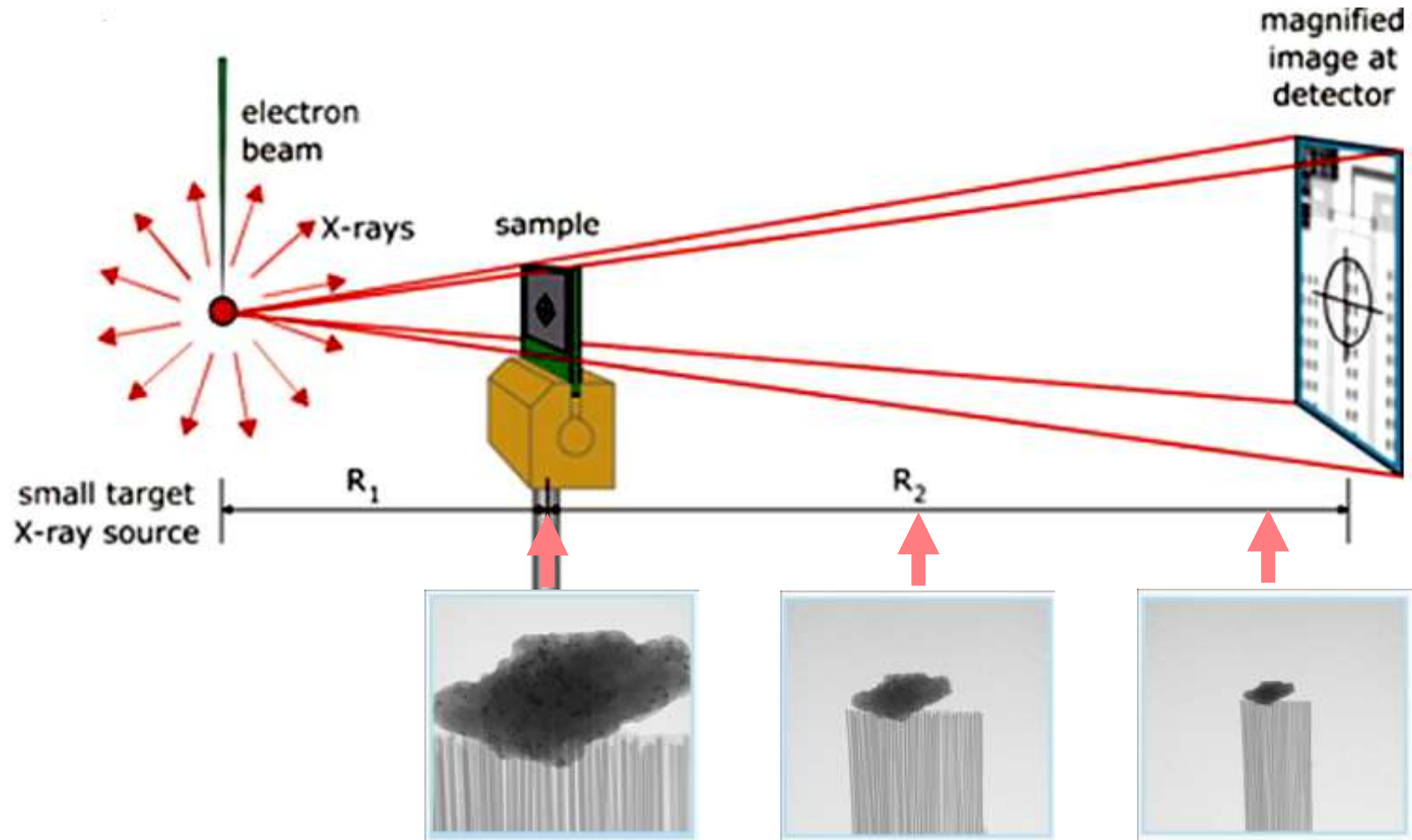
Courtesy of V.Richard - GATAN

Généralités (2/2)



Courtesy of V.Richard - GATAN

Principe



Courtesy of V.Richard - GATAN

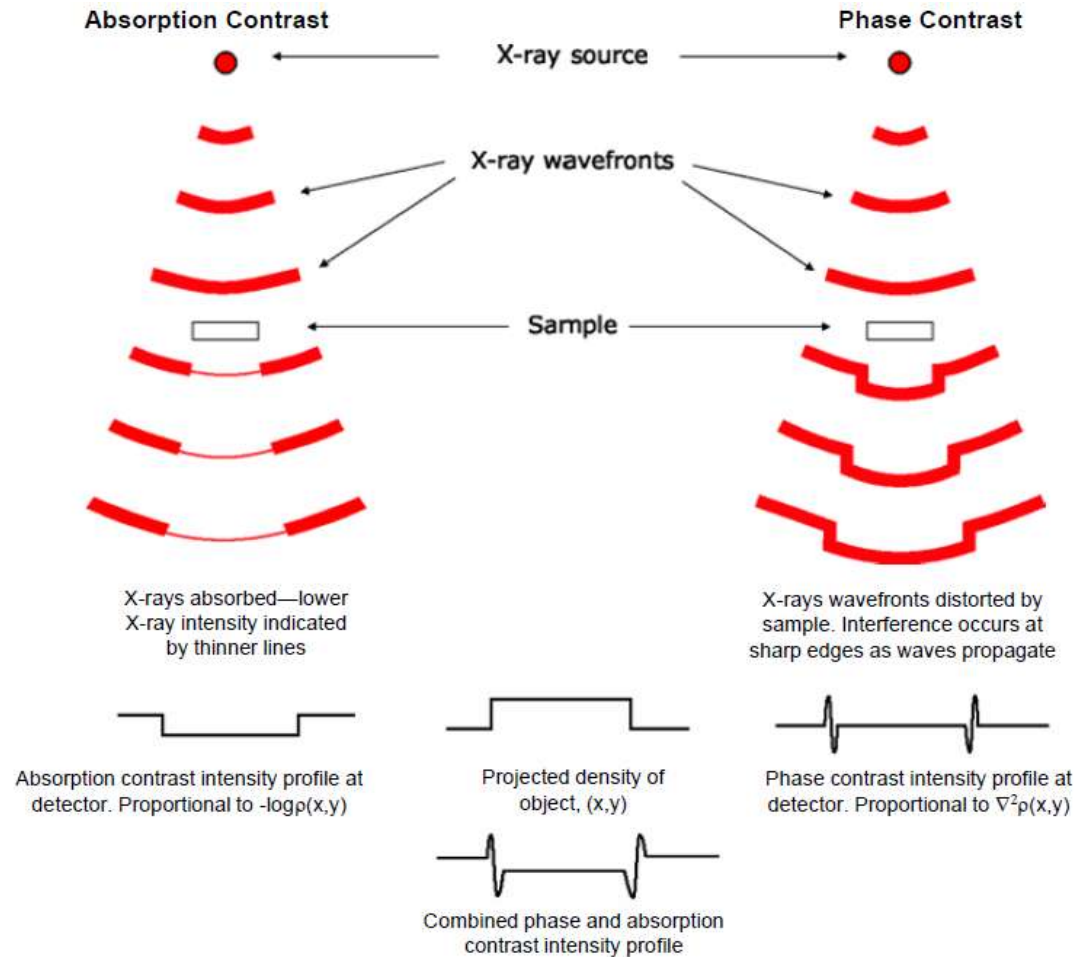
Principe

- **Contraste d'absorption**

Le contraste d'absorption est produit par l'absorption de rayons X lors de leur passage dans l'échantillon. Les échantillons composés d'éléments relativement légers produiront peu de contraste d'absorption.

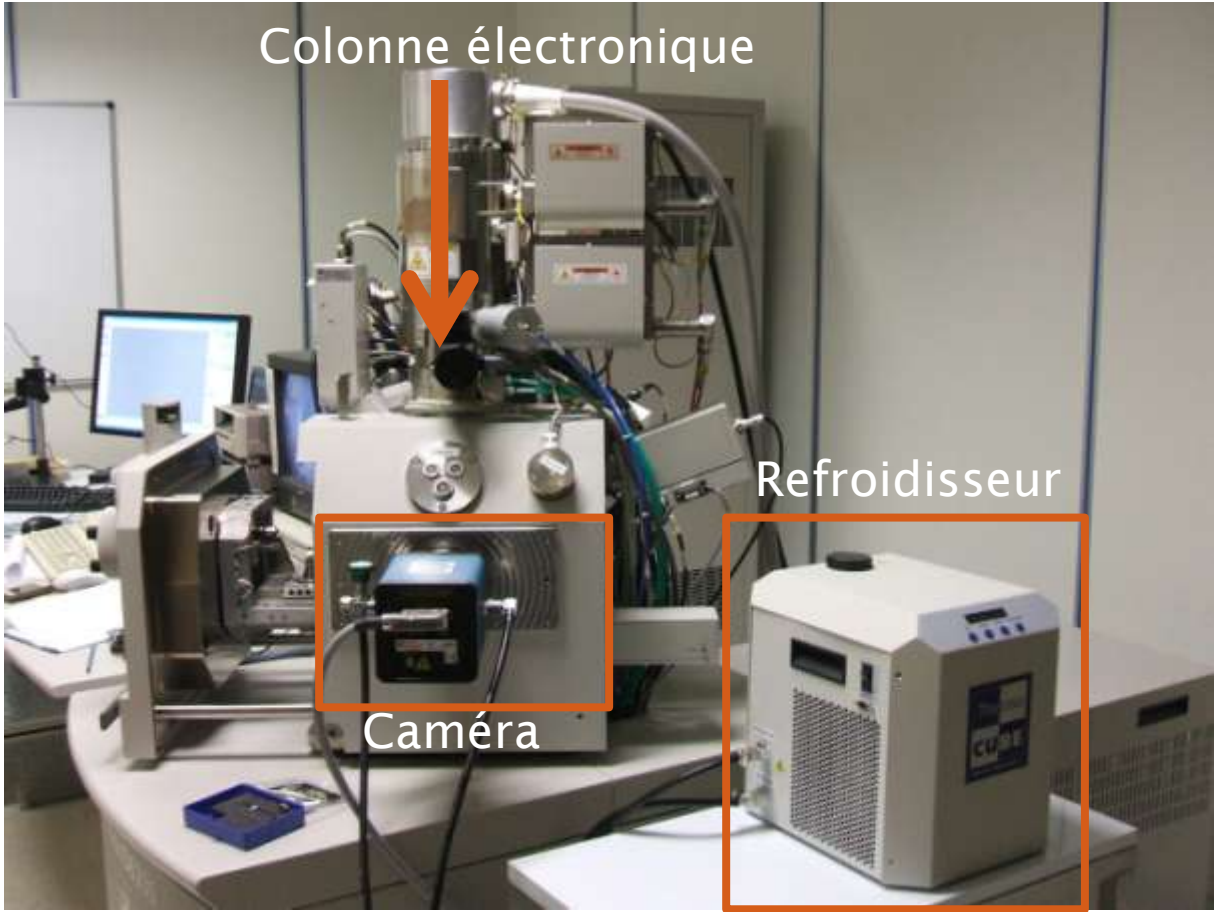
- **Contraste de phase**

Le contraste de phase est généré en même temps que le contraste d'absorption cependant le mécanisme de contraste de phase est lié à l'apparition d'effets de diffraction de Fresnel dû à des changements de l'indice de réfraction de l'échantillon et au niveau de ses bords. Ce mécanisme est dû en grande partie à des fissures, vides, délamination et les bords de l'échantillon.

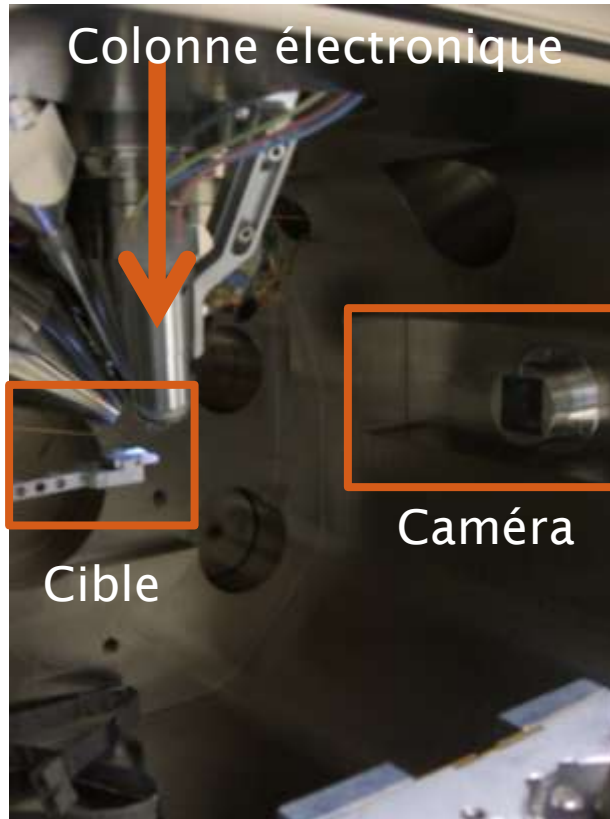
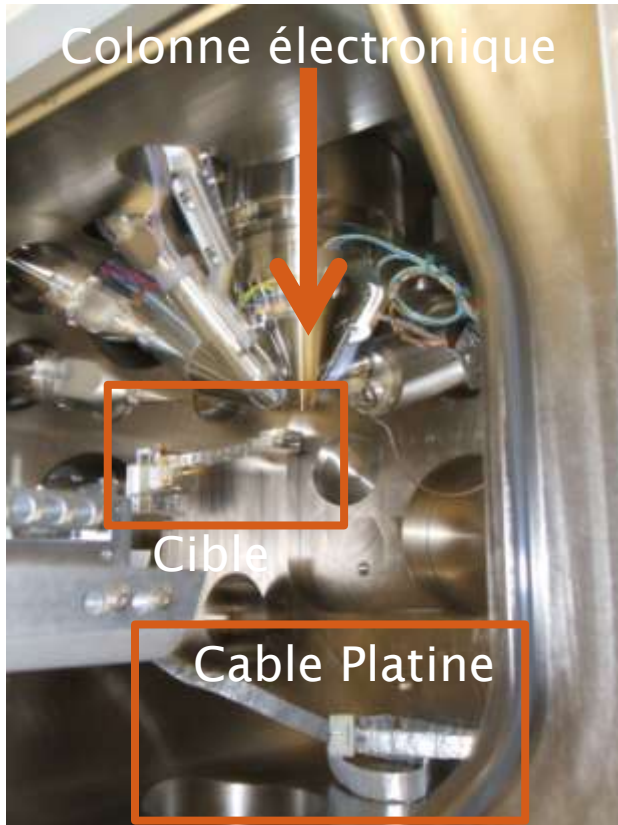


Courtesy of V.Richard - GATAN

Notre installation



Notre installation



Cible



Platine

Notre installation / Contraintes système

- Système souple qui permet de garder le système dans lequel il est installé complètement fonctionnel
- Soft GATAN 'DigitalMicrograph' très complet
 - Permet le contrôle total du système XuM
 - Permet le contrôle du MEB – non utilisé: déplacements fait en direct sur la platine du MEB en manuel
 - Permet énormément(!) d'opérations sur les photos / acquisitions
- Remarques sur la génération des photons
 - La génération se fait par l'interaction entre le faisceau électronique et la cible
 - Plusieurs matériaux de cible disponibles, donc plusieurs longueurs d'onde disponibles – mais faisceau électronique à 30kV...
 - La génération se fait sans canalisation des photons générés

Notre installation / Contraintes système

- La caméra est installée dans notre système “FEI DB235”
 - Une mise à jour du système FEI a été nécessaire, à savoir:
 - Changement de plusieurs ports pour mettre en place la cible et la caméra, ainsi que vérification de la compatibilité de la platine XuM,
 - Changement de la barrette de diaphragme de la colonne électronique afin d’optimiser le courant de faisceau obtenu sur la cible.
- Refroidissement
 - La caméra travaille à basse température (-50 degrés Celsius),
 - Attention aux conditions environnementales de votre labo!
 - Pour nous impossible dans un premier temps (refroidisseur d’origine) de descendre aussi bas
 - Utilisation à -25 degrés Celsius – les photos fournies dans la suite sont faites dans ces conditions
- Stabilité
 - Sur les acquisitions longues – cas des acquisitions pour de la tomographie, prendre un maximum de précautions pour la stabilité du système!

Notre installation / Contraintes système

- Platine XuM pour la tomographie
 - L'utilisation de la platine XuM est obligatoire pour faire de la tomographie: ajout de contraintes par rapport au format de votre échantillon.
 - Réglages
 - « Eucentrisme »: Il est nécessaire que le point d'intérêt dans votre échantillon soit toujours au centre de votre image. Ce point doit donc tourner de manière « eucentrique ». Réglage par acquisition successives (8 tous les 45 degrés) par une petite caméra extérieure.



- Zoom: Compromis à trouver entre la volonté d'avoir le meilleur grandissement possible, mais une zone de « vide » doit être présente pour l'algorithme de reconstruction.

Notre installation / Contraintes système

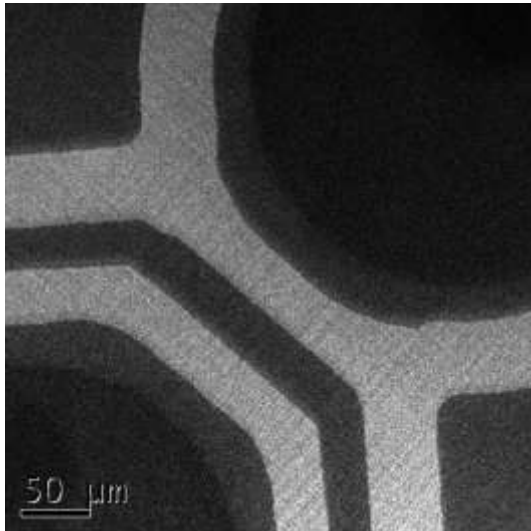
- Tomographie
 - 180 degrés de rotation minimum de façon évidente,
 - Des essais ont été faits avec moins, l'algorithme de reconstruction ne fonctionne pas.
 - 190-200 degrés demandés pour avoir un certain recouvrement
 - Peut être utile de faire des pas de 0.5 degré et non 1 degré?
 - Peut être utile de faire 360 degrés de rotation?
 - Tout va dépendre de votre échantillon!
 - Après l'acquisition, il y a énormément de travail pour la reconstruction!
 - Temps machine relativement court et raisonnable vs. le temps d'acquisition
 - Temps humain non négligeable!

Notre installation / Contraintes système

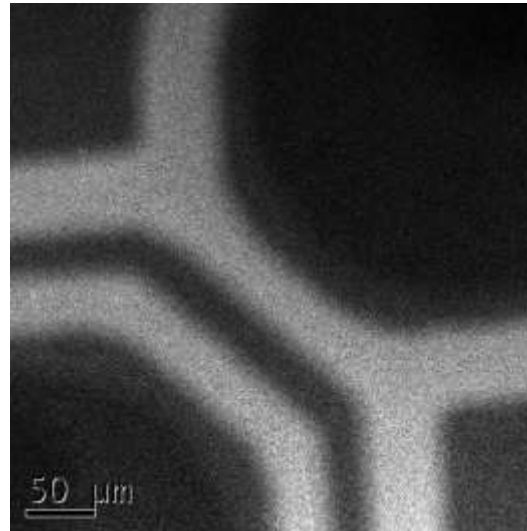
- Absolument nécessaire d'optimiser le flux de photons X sur l'échantillon
 - Avec l'aide de la barrette de diaphragme
 - Avec 30 microns, flux (lu sur le pico-ampèremètre) environ 7nA, acquisition 15 minutes
 - Avec 100 microns, flux 70nA, acquisition de l'ordre de la minute
 - Avec 1000 microns, flux 1.7 μ A, acquisition de l'ordre de la seconde...
 - Etapes de réglages de la caméra
 - Image « Dark »
 - Image de Gain / Référence
 - A répéter! Souvent et sûrement avant une acquisition importante!
 - Image de la cible doit être (voir exemple à la suite)
 - Correctement au focus
 - Stigmatisme correct
 - Distance de travail optimisée par rapport à votre échantillon et la caméra

Notre installation / Contraintes système

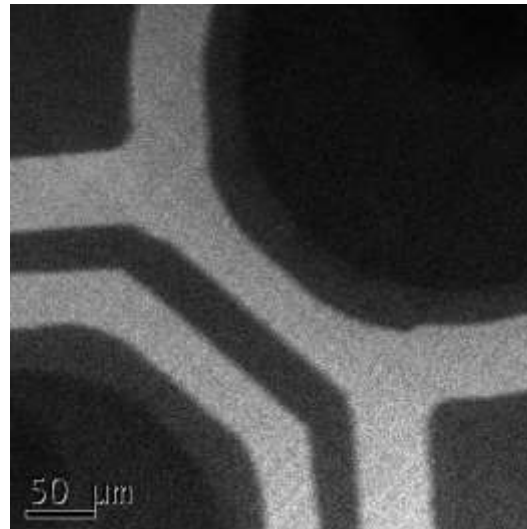
Avec l'image
correcte de la cible



Avec un mauvais
focus

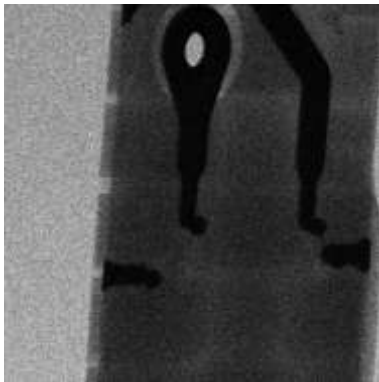


Avec un mauvais
astigmatisme

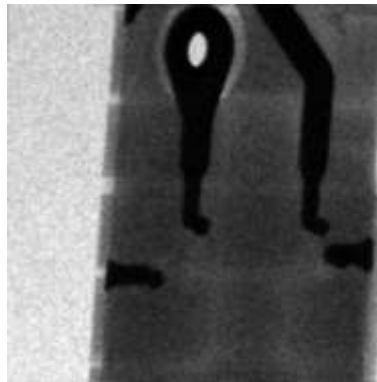


Notes sur la reconstruction

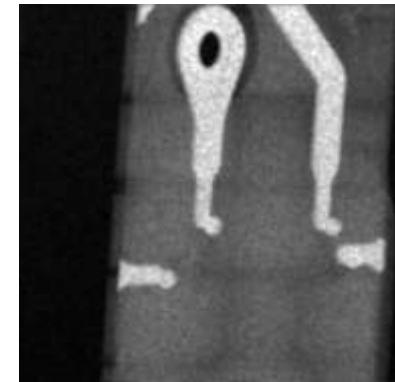
- Avant la reconstruction, les acquisitions...
 - Rotation 1 degré
 - Acquisition similaire
 - 200 acquisitions
- Reconstruction
 - Pas si simple que cela! Et surement pas « presse bouton »!
 - Phase de traitement: privilégier le contraste d'absorption vs. le contraste de phase.



LoG

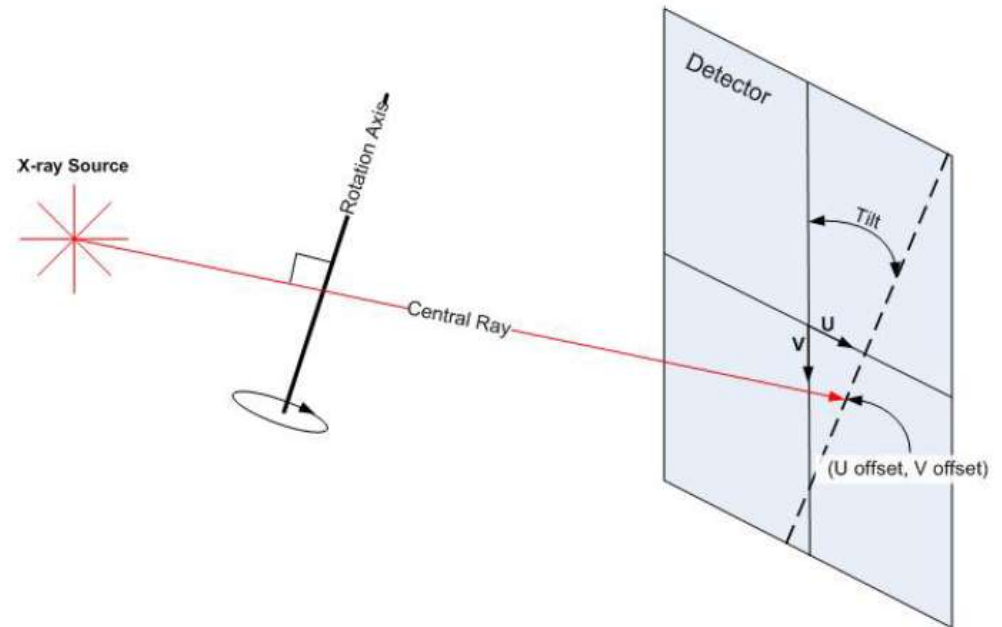


PDM



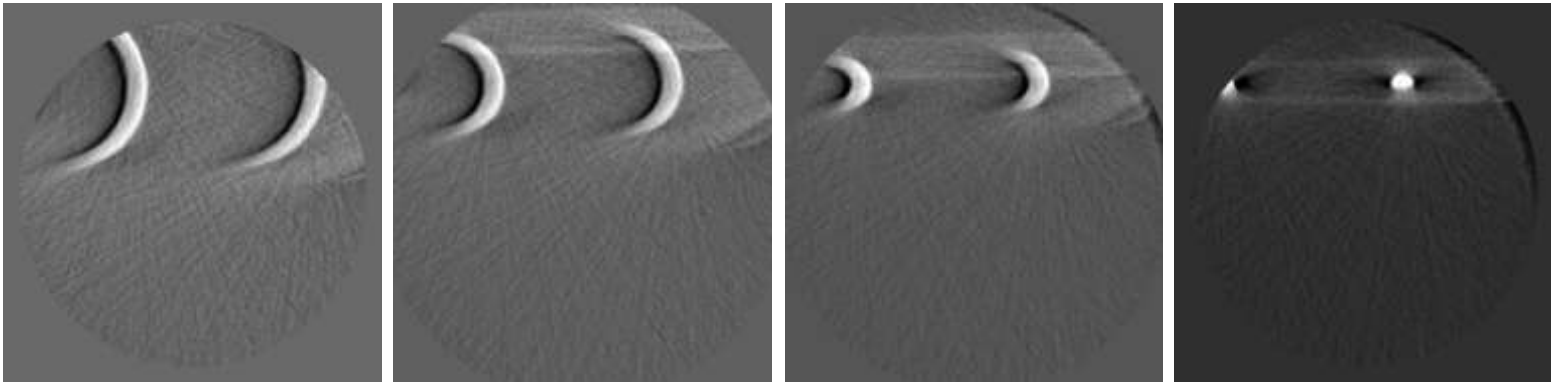
Notes sur la reconstruction

- La reconstruction dans XuM de données est basée sur la « cone beam reconstruction »: cette méthode admet que la source de rayons X émanant de la source ponctuelle et passe à travers l'échantillon dans un cône plutôt que comme des faisceaux parallèles.
- Dans la réalité, il est presque impossible de centrer l'axe de rotation de l'échantillon dans le centre du détecteur. Afin d'obtenir une reconstitution exacte, l'algorithme a besoin de connaître l'orientation réelle de l'axe de rotation. Cette orientation est indiquée par le paramètres U , V et $Tilt$.

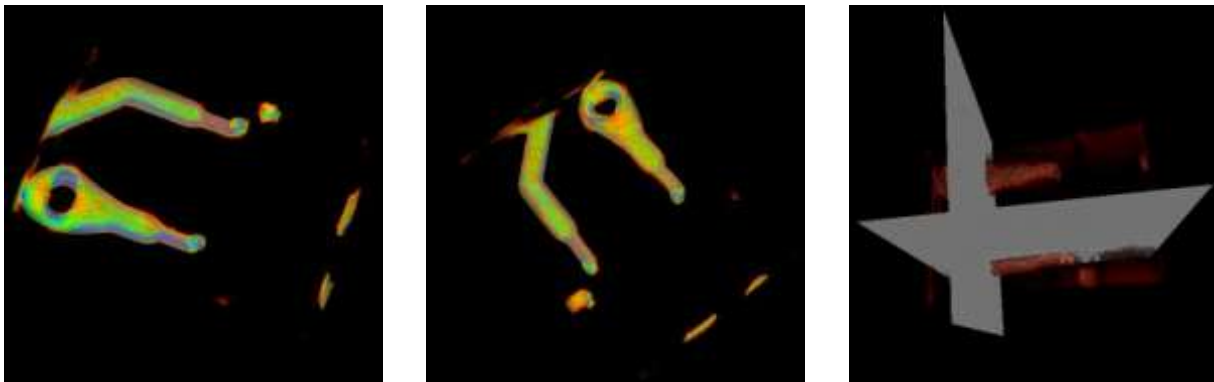


Notes sur la reconstruction

- Reconstruction (suite...)
 - Chercher U,V,T en manuel par reconstruction « rapide »

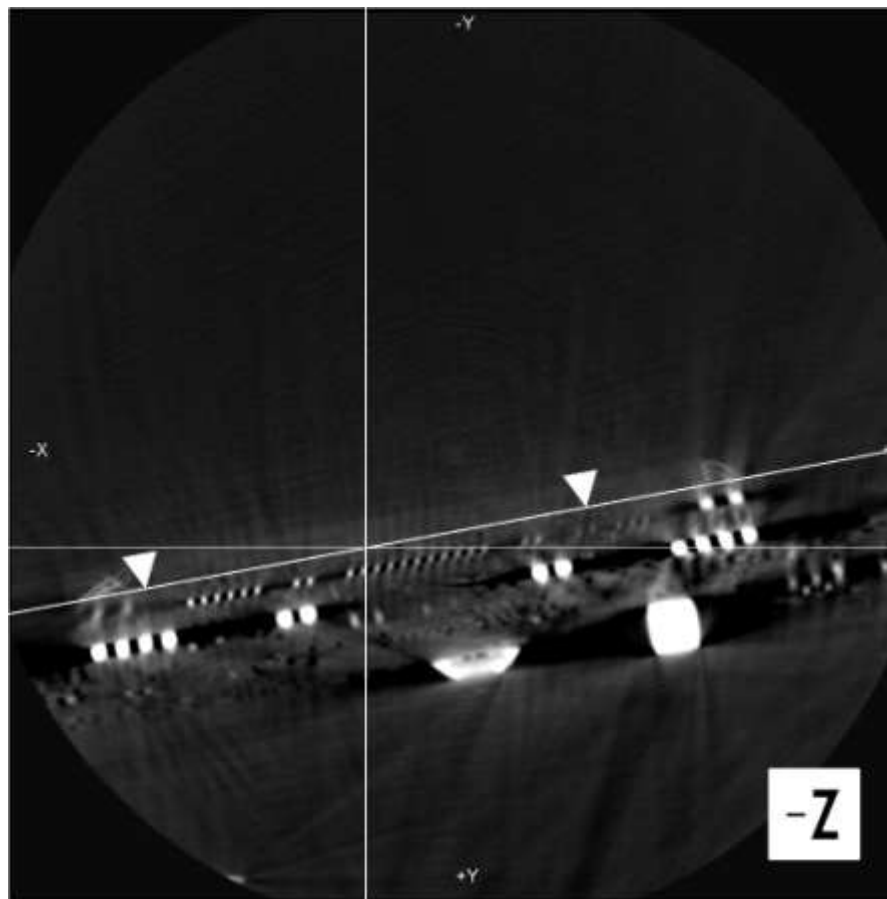


- Reconstruction complète
 - Quelques minutes...



Notes sur la reconstruction

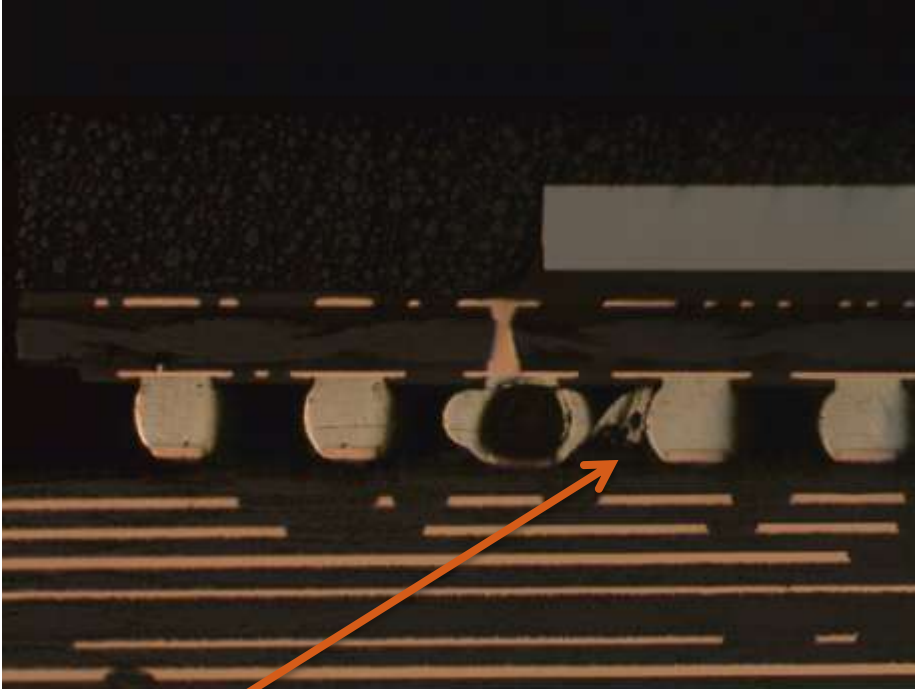
- Reconstruction:
 - ☞ Attention aux erreurs / déformations!



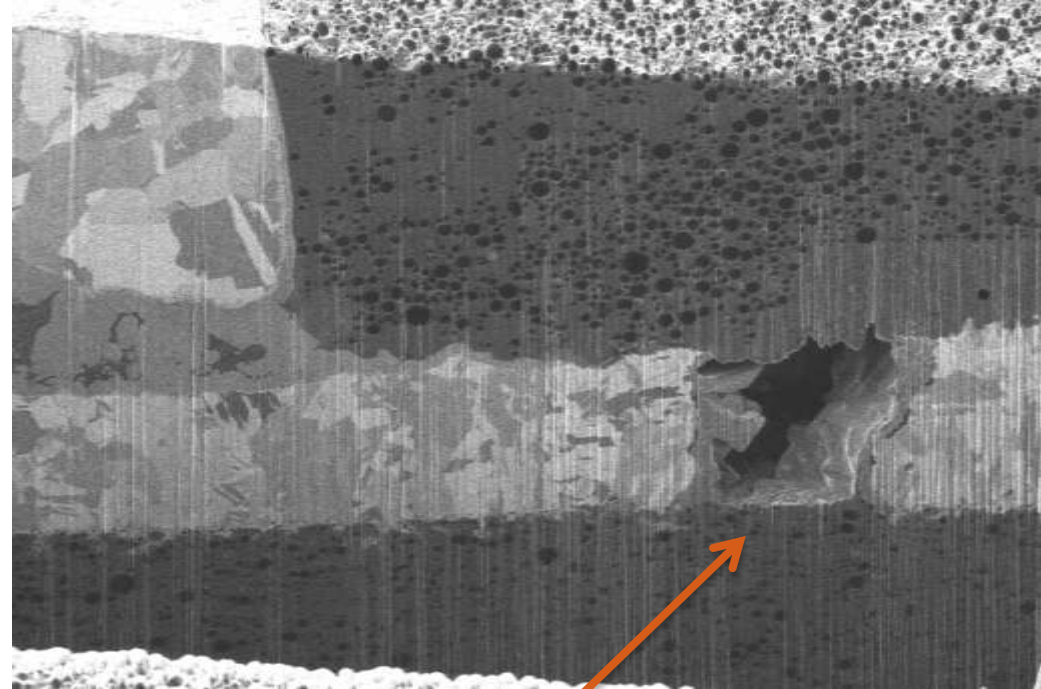
Utilisations typiques

Utilisations typiques

- Cross mécanique et/ou FIB: En remplacement ou en complément!

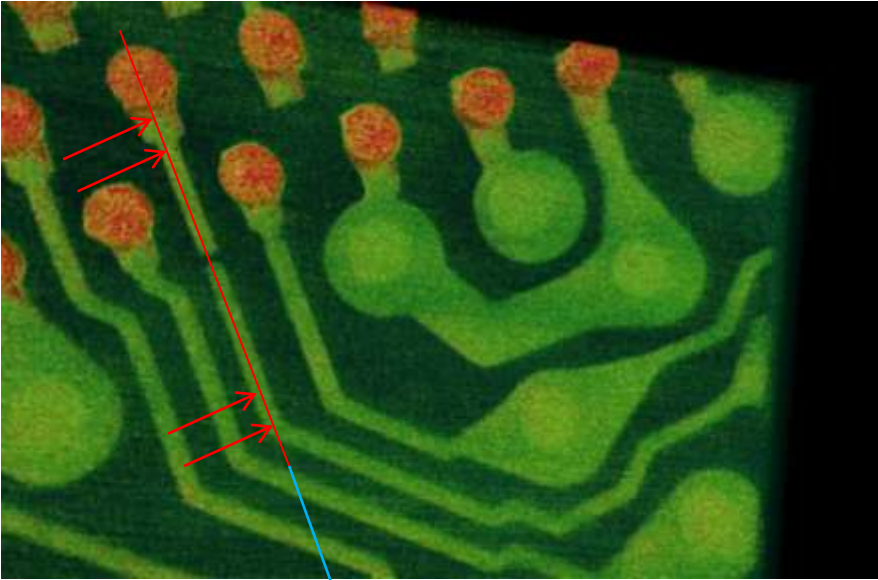


Le résidu est il un problème lié à la cross section ou était il présent avant?



Dimensionnel très faible

Utilisations typiques

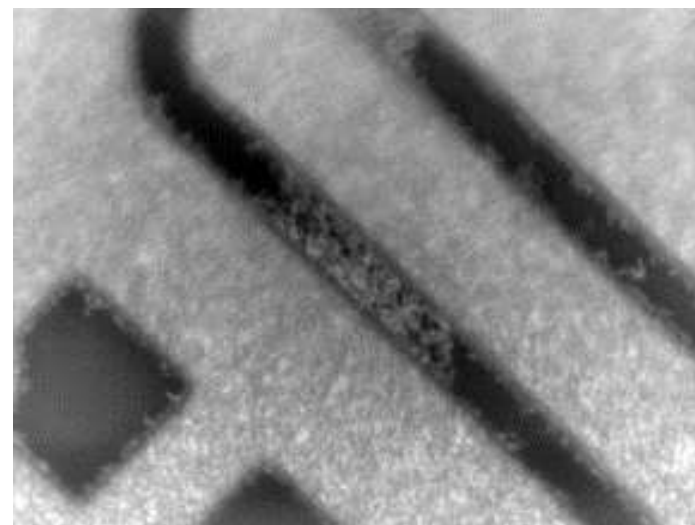
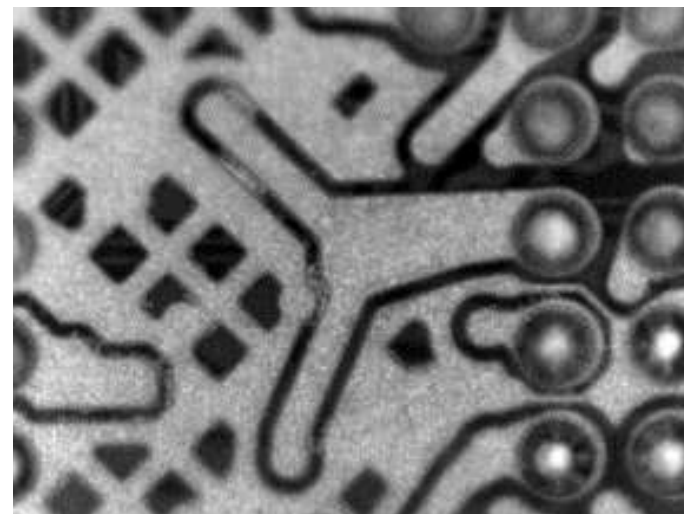
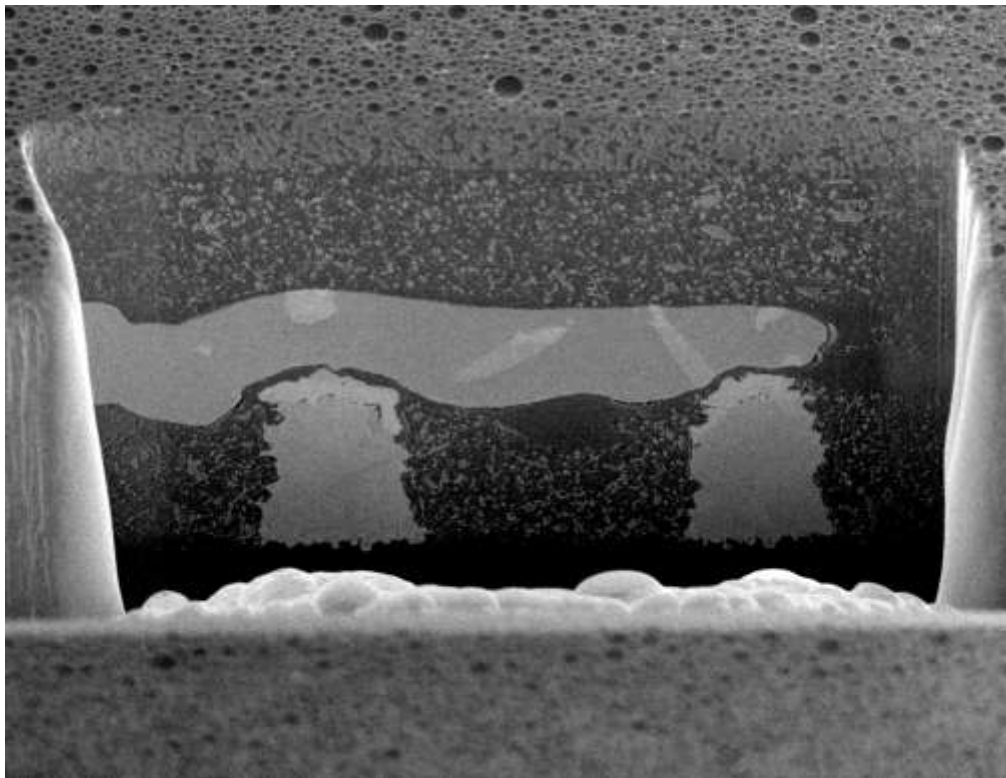


X-section virtuelle



Utilisations typiques

- Filament / Dendrite



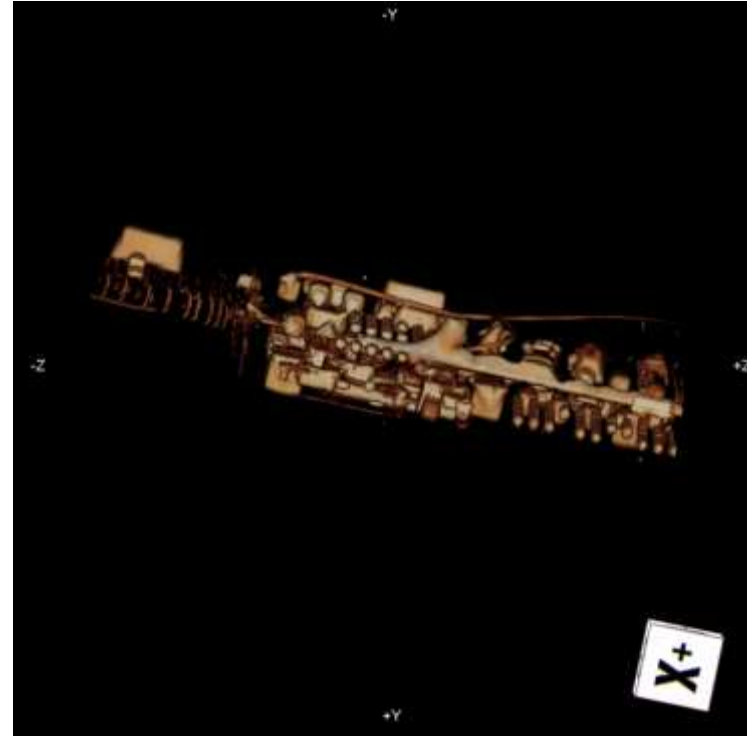
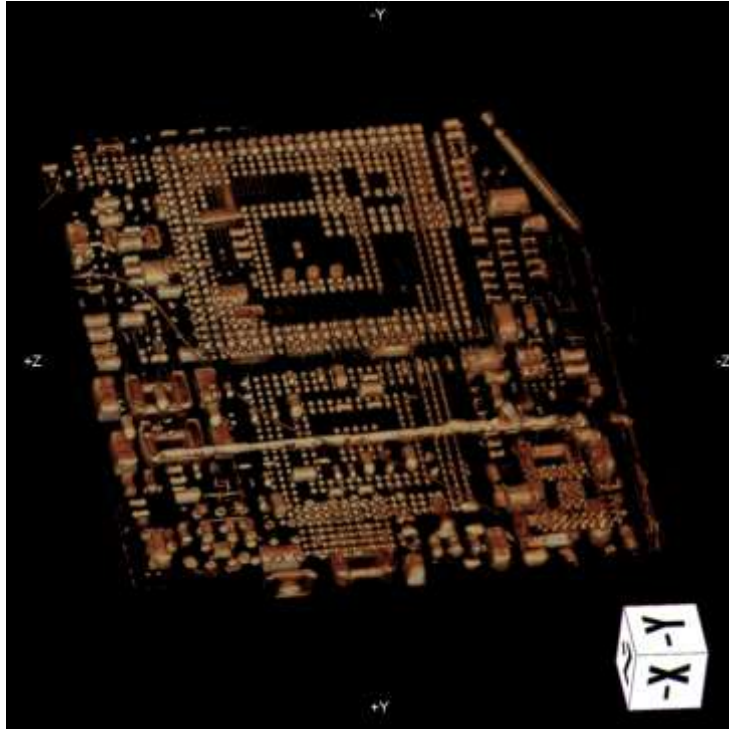
Utilisations typiques

- Délamination
 - Détection d'une délamination, particulièrement dans un oxyde faible densité, par de la microscopie acoustique
 - Cross section (mécanique ou FIB) toujours possible mais si cela montre le défaut, il est parfois difficile d'identifier l'origine du problème
 - Voir exemple dans la suite

- TSV / TRV
 - Technologie de boîtier « 3D »
 - Densité de connectique très importante
 - Dimensionnel faible et localisation en « épaisseur » demandée
 - Voir exemple dans la suite

Utilisations typiques

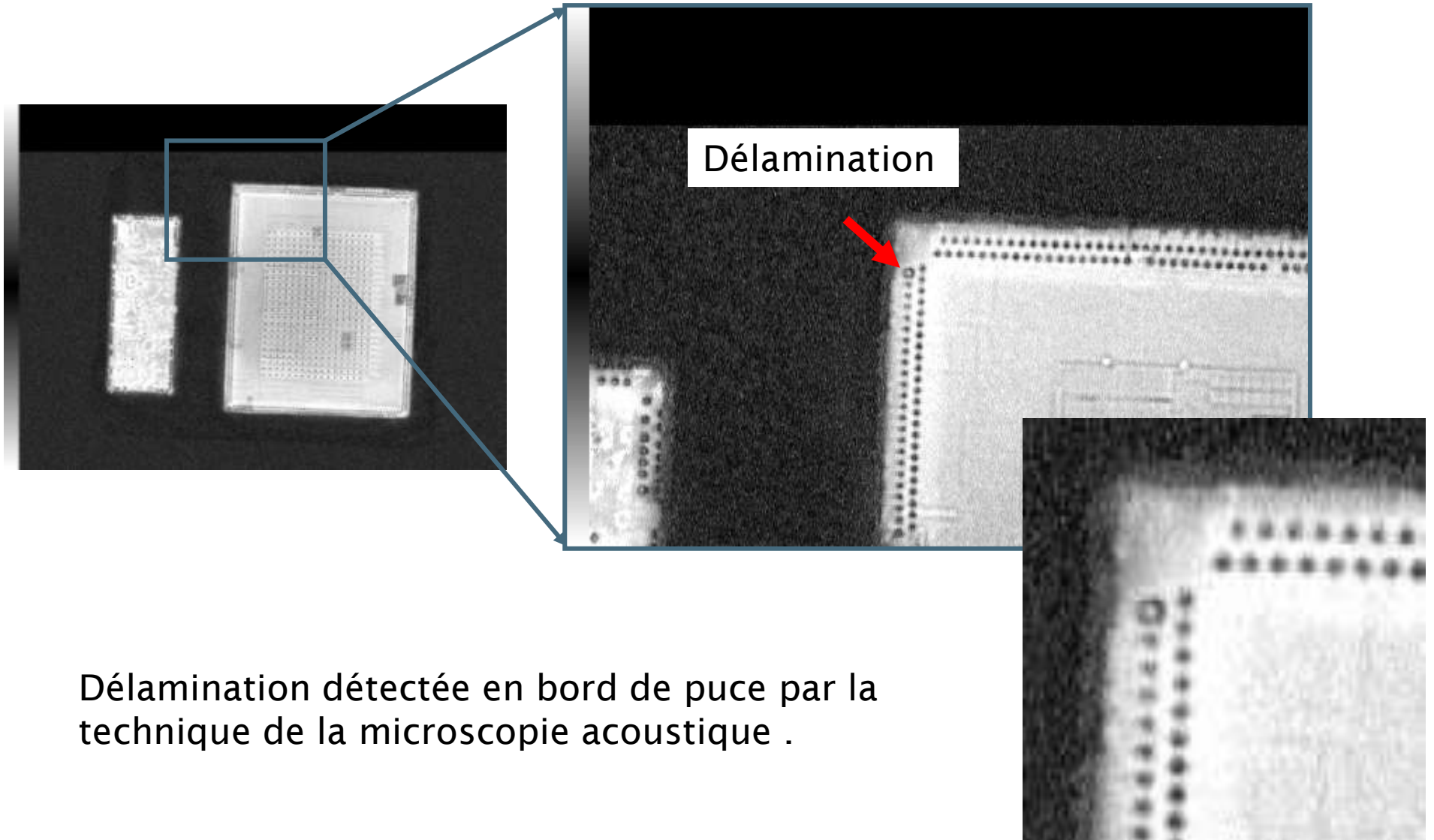
- Billes boitier / Carte / Soudure



- Besoin de résolution
 - Utilisation générale envisagée pour l'acquisition 2D et 3D dans le MEB lorsque nous avons besoin de résolution sur un problème
 - **Attention!** *L'analyse devient destructive!*

Premiers résultats

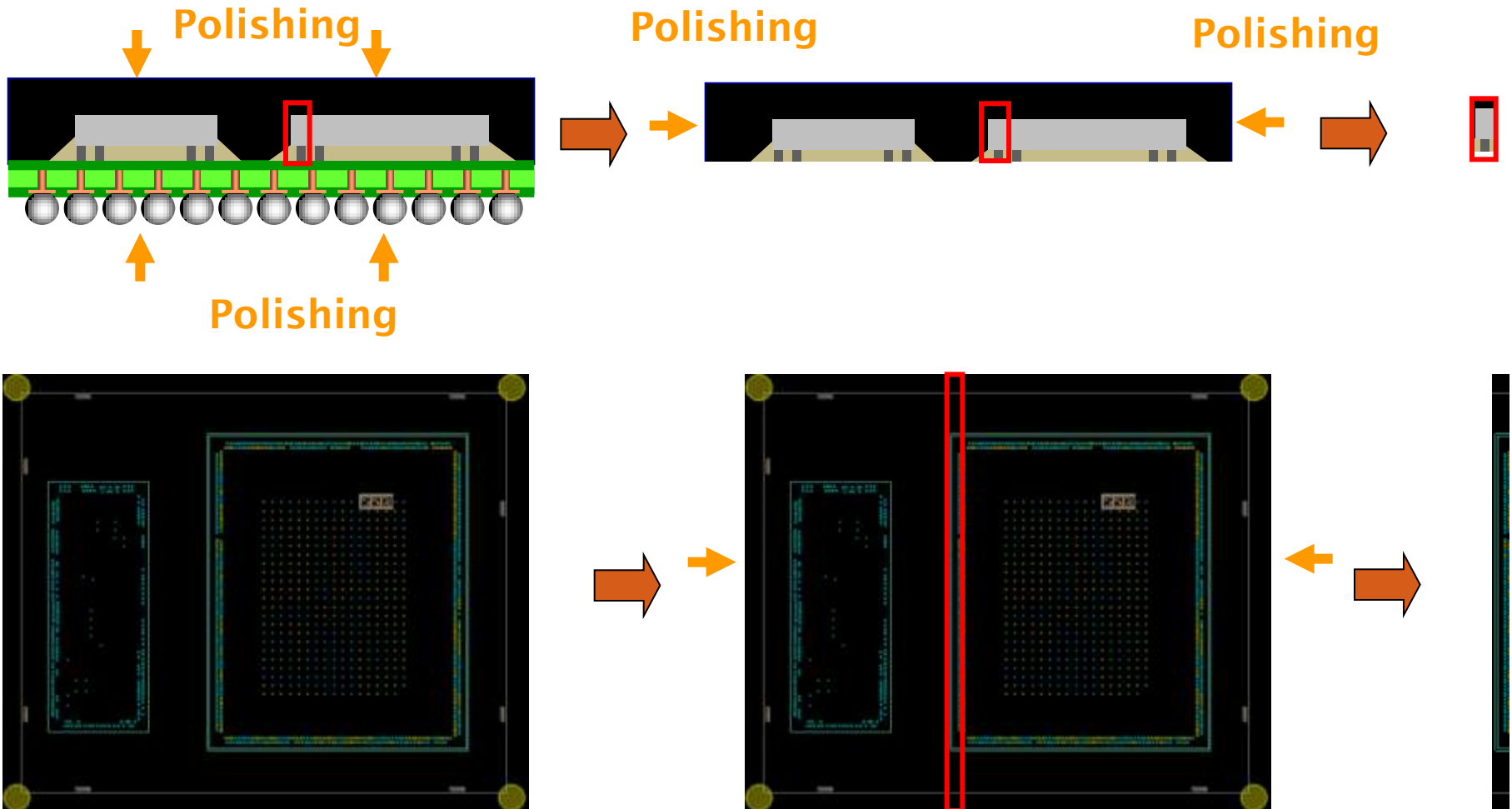
Cas d'analyses - Délamination



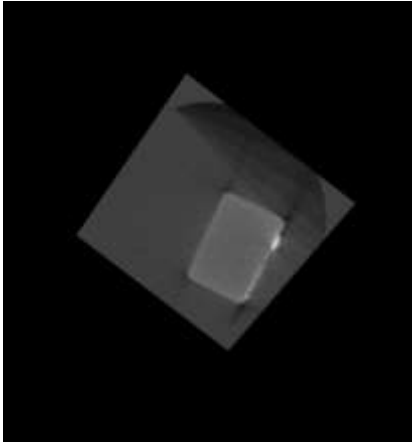
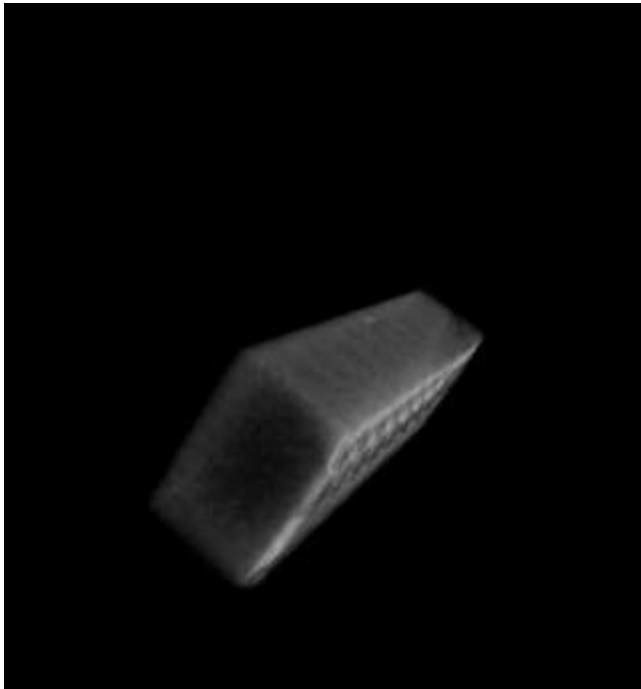
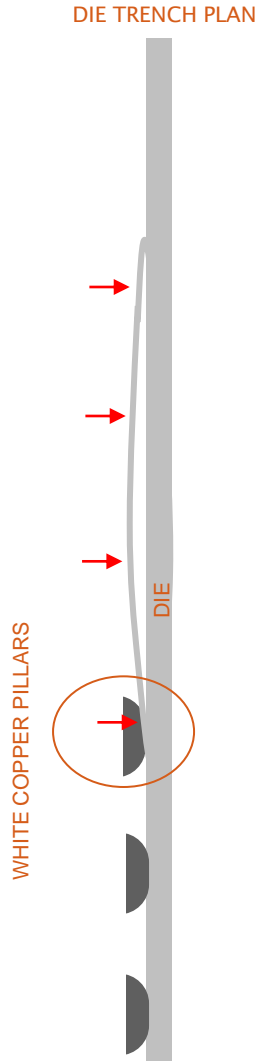
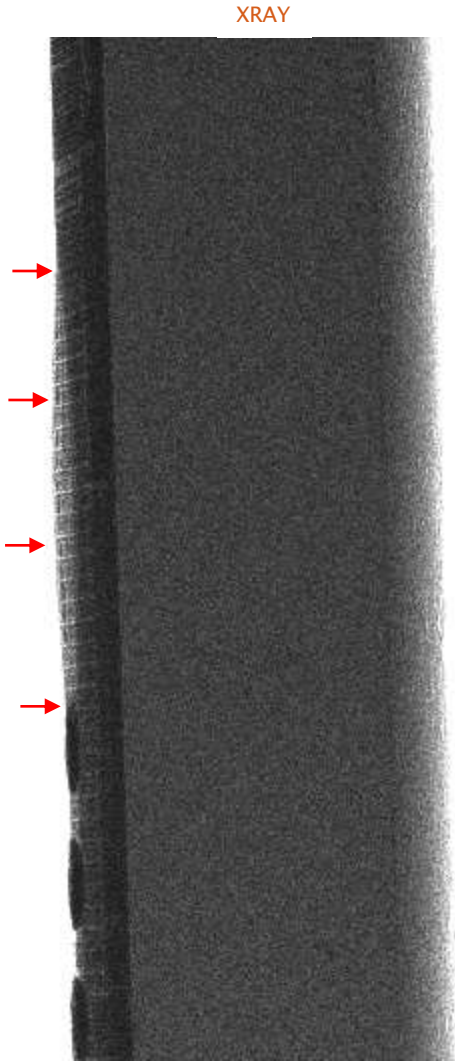
Délamination détectée en bord de puce par la technique de la microscopie acoustique .

Cas d'analyses - Délamination

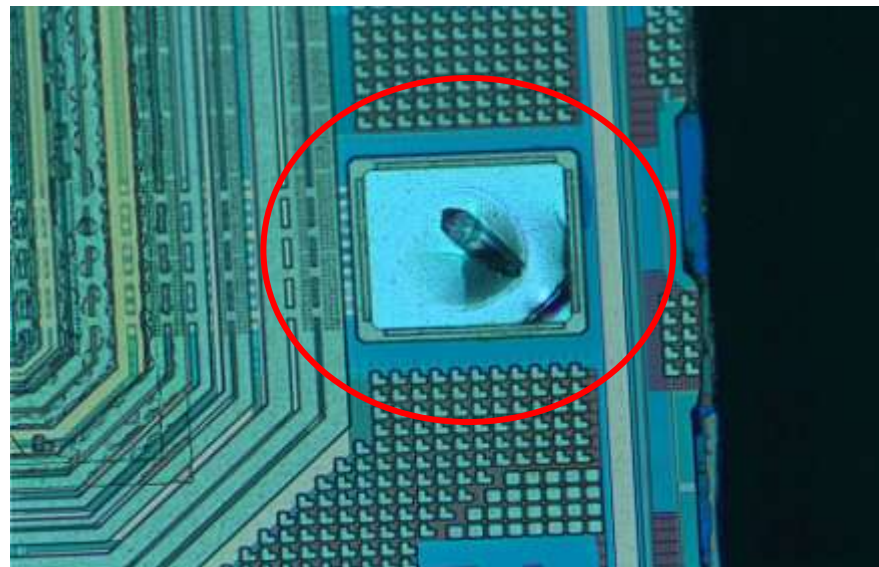
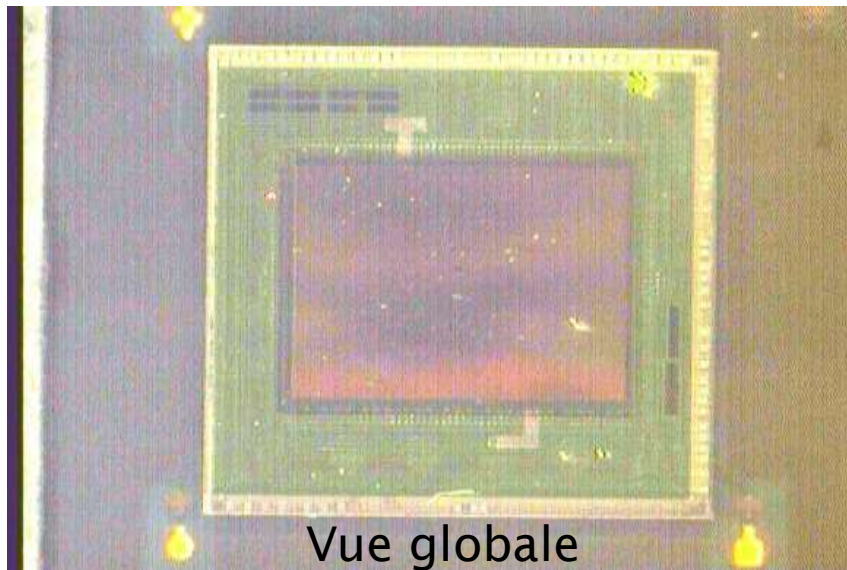
- **Préparation d'échantillon:** Polissage du boîtier comme décrit dans les schémas suivants pour pouvoir exécuter de la tomographie.



Cas d'analyses - Délamination



Cas d'analyses - TSV

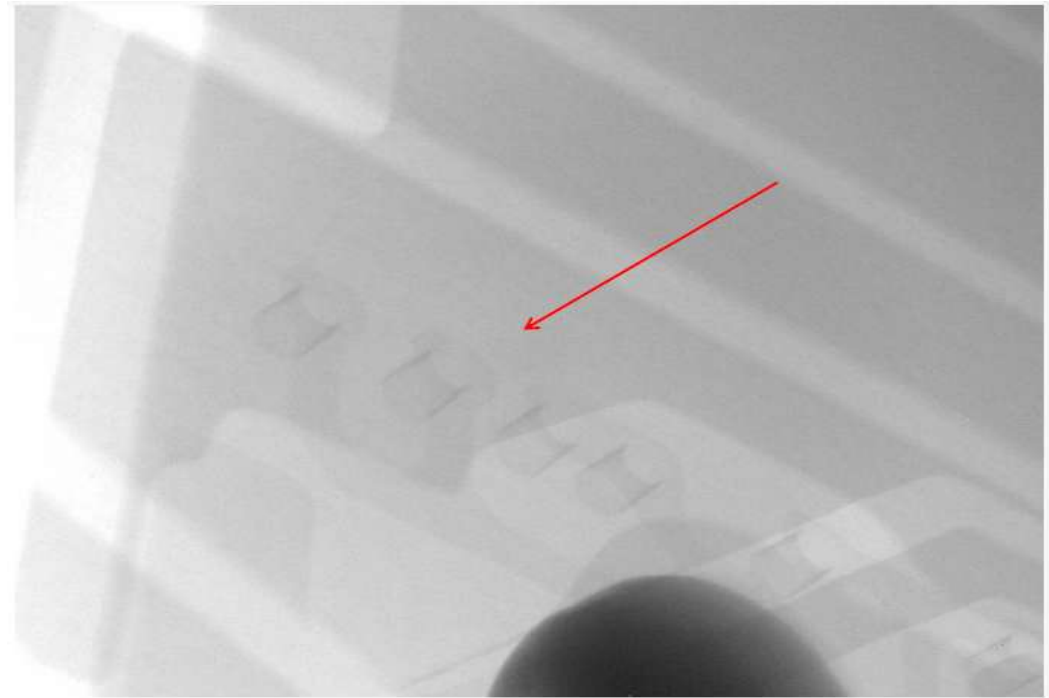


Cas d'analyses - TSV

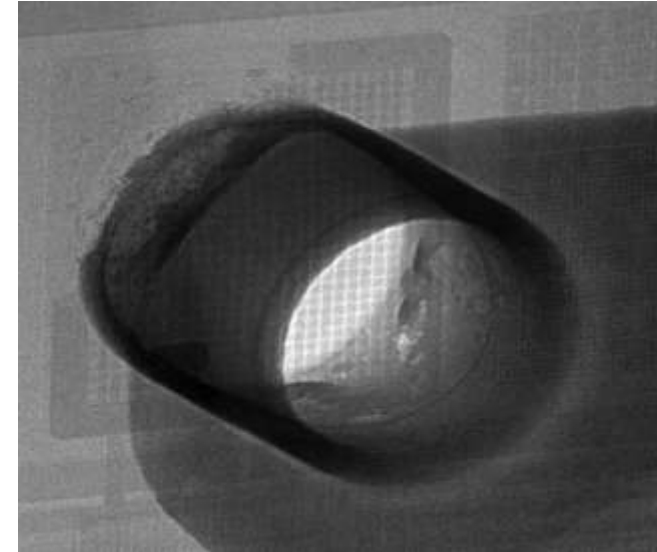
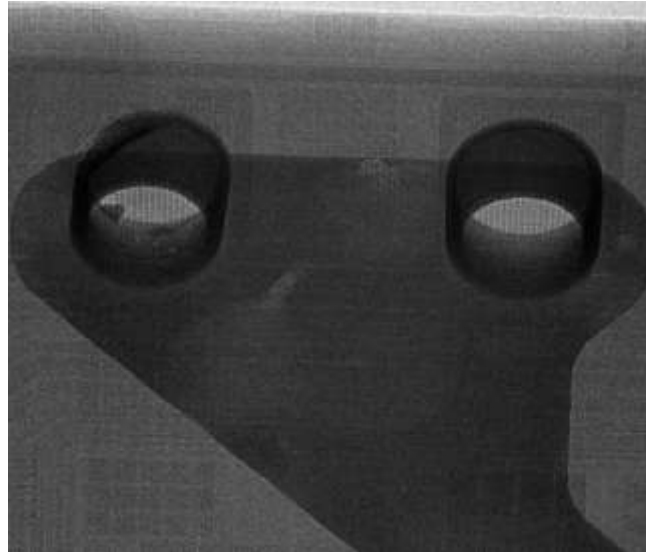
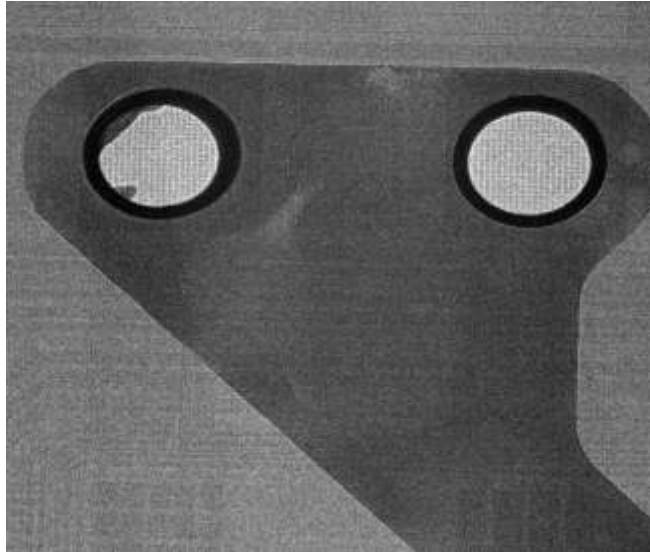
- Dans le cadre de l'évaluation des systèmes, les fournisseurs avaient tous reçu une pièce identique avec le même défaut localisé.
- A droite une image typique des résultats obtenus...

↪ TSV visibles mais fantomatiques

↪ Défaut non visible ni en 2D, ni en 3D.



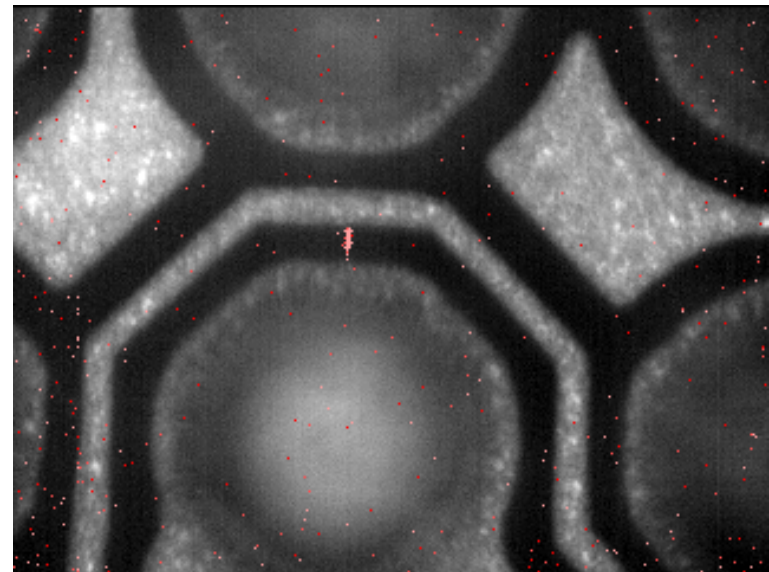
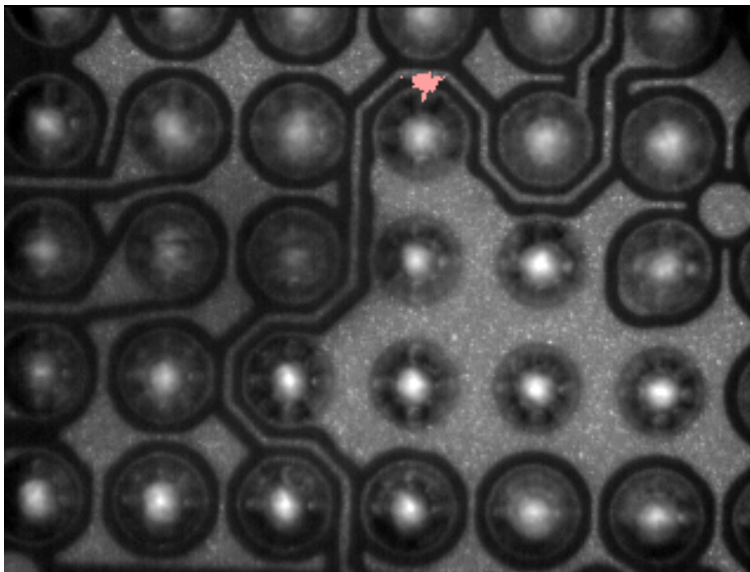
Cas d'analyses - TSV



- *Les TSV sont clairement visibles*
- *La technologie est visible – la résolution est inférieure au micron*
- *Défaut visible, localisable, identifiable*

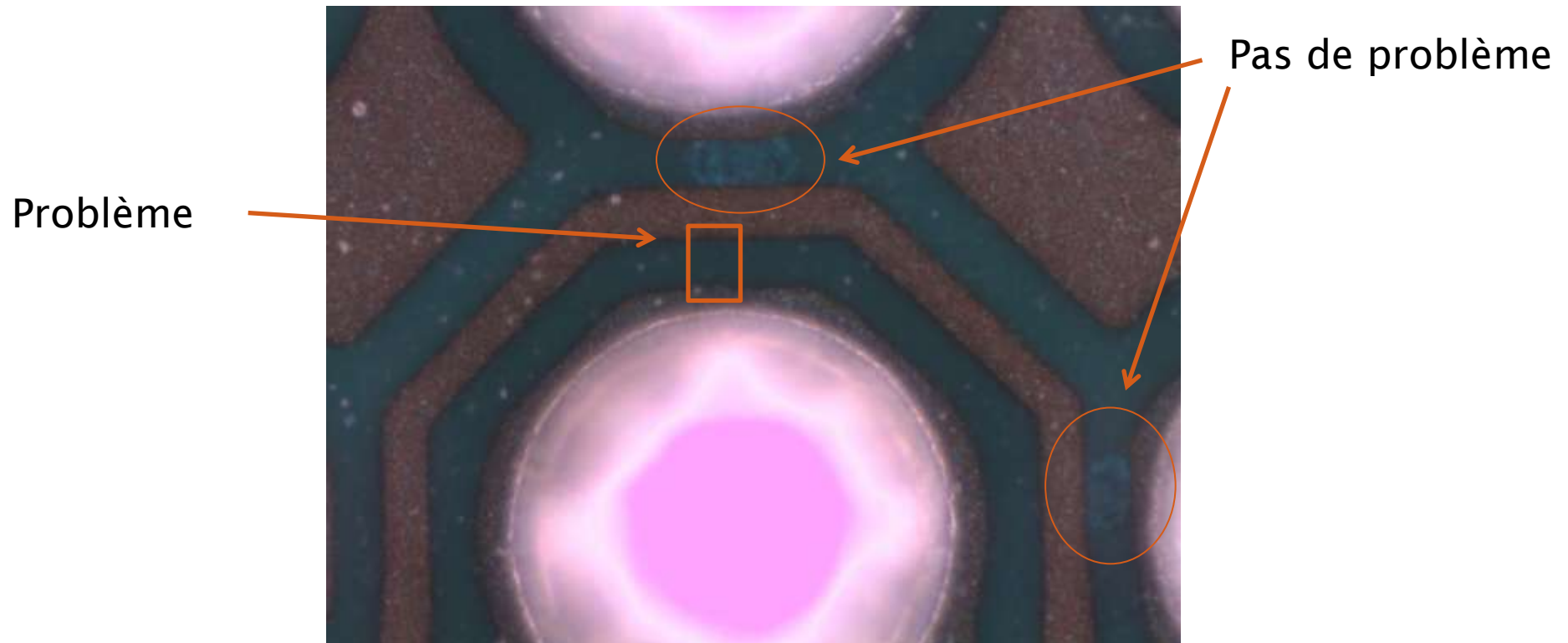
Cas d'analyse "tordu"

- Court circuit (fuite) entre une alimentation et une masse
 - La localisation globale montre un problème situé au niveau du boîtier et non au niveau du silicium,
 - La localisation faite par une technique d'analyse thermique sur ce même boîtier donne une empreinte très précise entre deux pistes de cuivre.



Cas d'analyse "tordu"

- Les observations optiques (dark field) montrent des « tâches »
 - Différentes tailles, différentes formes,
 - Certaines créant des problèmes, d'autres non.

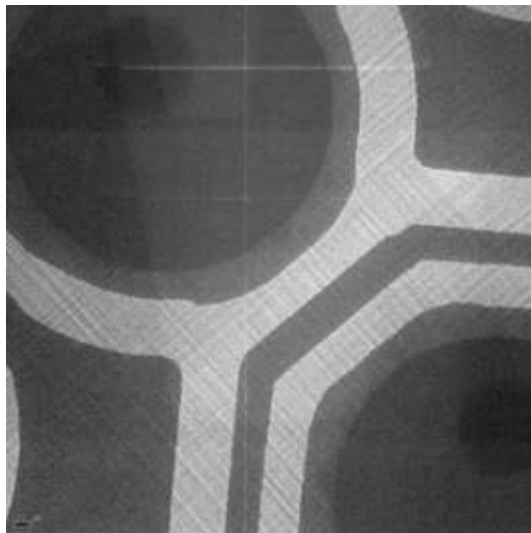


Cas d'analyse "tordu"

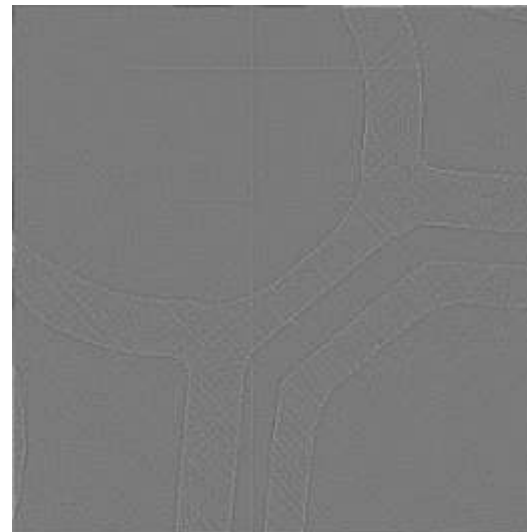
- Observations XRay - XuM (faites après préparation de l'échantillon)

Le problème existe bien (voir cross section FIB) mais n'est pas visible directement en XRay - même en contraste de phase.

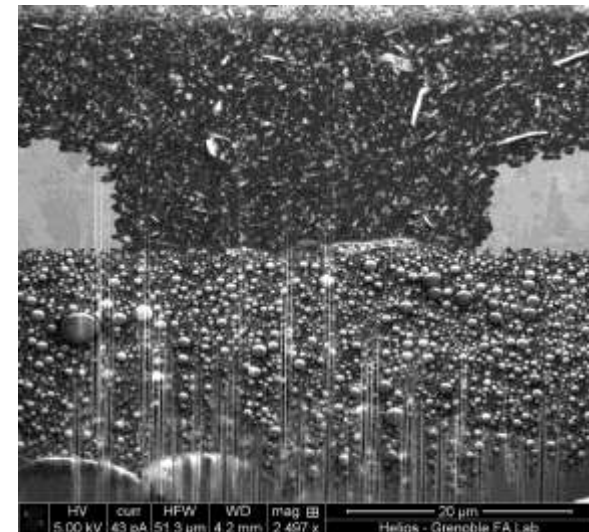
Si quelqu'un a une idée 😊



XuM



XuM - phase seule

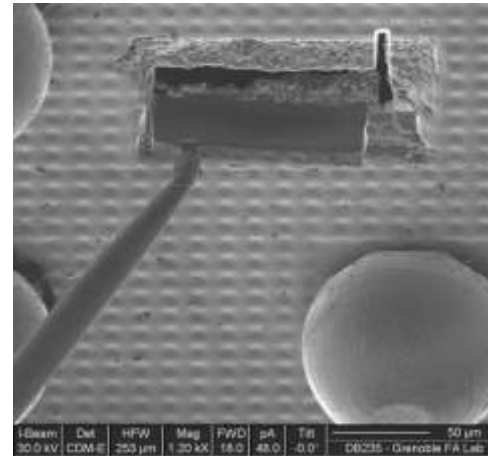
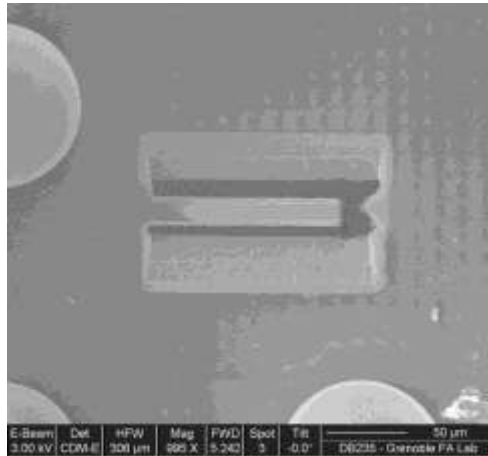


Cross section FIB

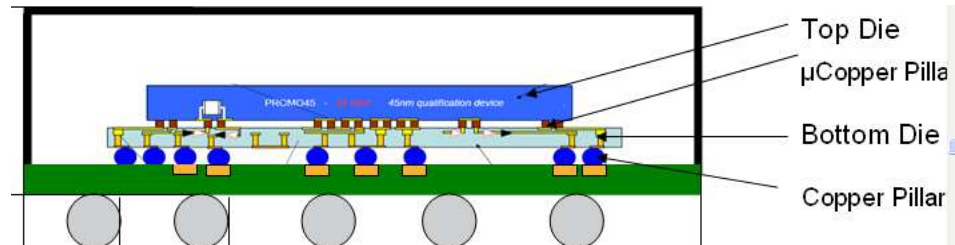
IDEES / TRAVAUX FUTURS

Idées / Travaux futurs

- Utilisation des moyens type « préparation TEM »

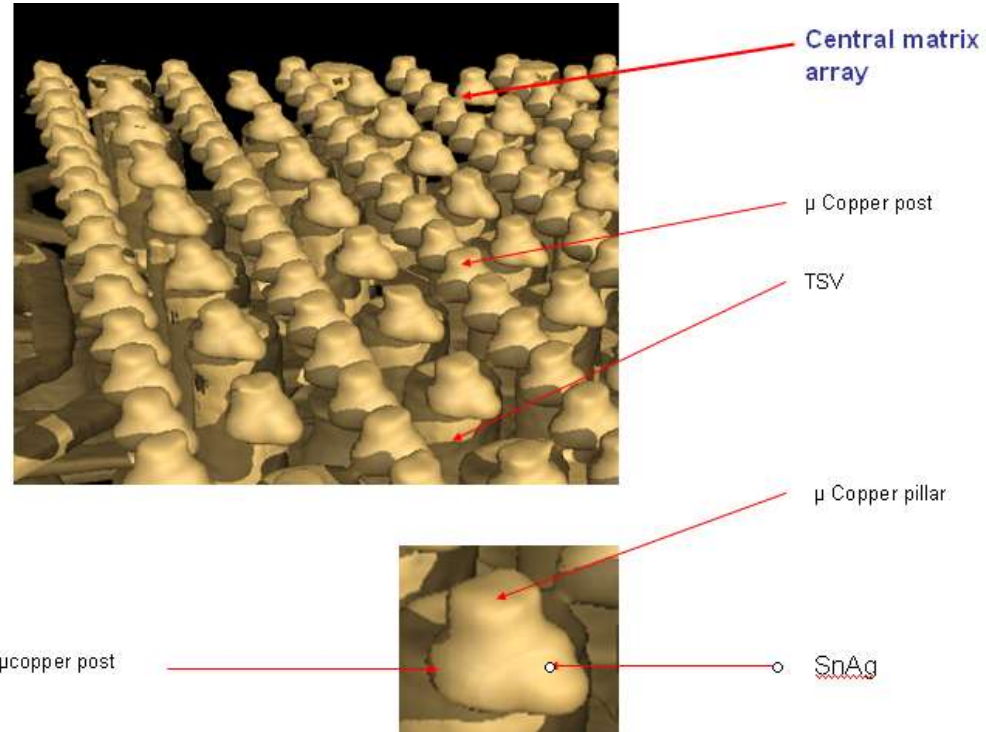
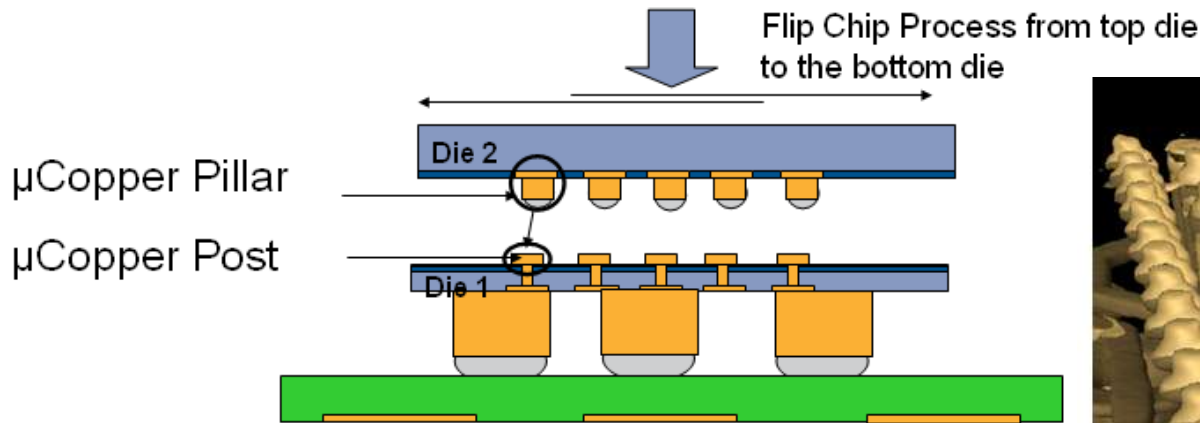


- 3D package
 - Empilement
 - Bondings
 - TSV / TRV
 - Copper pillars



Idées / Travaux futurs

- 3D package (suite...)



- Les zones d'observations sont si denses qu'il est parfois difficile de se repérer.
- La préparation d'échantillon dans un FIB est sans doute une approche.

Idées / Travaux futurs

- Pour la manipulation de petits objets, rien de mieux qu'un SEM/FIB, voire même mieux un Plasma FIB pour les packages 3D de demain.
 - Plus de courant disponible pour faire de la cross section ionique
 - Capacité (idem à la préparation TEM précédente) de manipulation des échantillons
- Différentes cibles disponibles
 - Cibles massives
 - Cibles traversantes
 - Création possible
 - ...

Merci à tous pour votre attention!

Questions?