



**HAL**  
open science

## Plate forme de micro et nanotechnologies Bilan 2013 des zones

Hugues Granier, Adrian Laborde, Alexandre Arnoult, Antoine Maiorano, Aurélie Lecestre, Benjamin Reig, Bernard Rousset, David Bourrier, David Colin, Emmanuelle Daran, et al.

► **To cite this version:**

Hugues Granier, Adrian Laborde, Alexandre Arnoult, Antoine Maiorano, Aurélie Lecestre, et al..  
Plate forme de micro et nanotechnologies Bilan 2013 des zones. 2014, 108p. hal-01867468

**HAL Id: hal-01867468**

**<https://laas.hal.science/hal-01867468v1>**

Submitted on 4 Sep 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**LAAS-CNRS  
COMTEAM 2014 :  
BILAN DES ACTIVITES DANS LES  
ZONES DE LA PLATEFORME DE  
TECHNOLOGIE**

(Bilan du 1<sup>er</sup> janvier 2013 au 31 décembre 2013)

FEVRIER 2014

LITHOGRAPHIE LASER .....	3
PHOTOLITHOGRAPHIE .....	8
LITHOGRAPHIE ELECTRONIQUE .....	19
LITHOGRAPHIE PAR NANO-IMPRESSON .....	27
JET D'ENCRE .....	33
CARACTERISATION.....	41
ASSEMBLAGE .....	47
CHIMIE.....	57
ELECTROCHIMIE.....	62
DEPOTS SOUS VIDE .....	70
GRAVURE SECHE PAR PLASMA .....	76
TRAITEMENTS THERMIQUES .....	86
EJM .....	93
IMPLANTATION IONIQUE .....	100
INFRASTRUCTURE ET SOUTIEN.....	103

## LITHOGRAPHIE LASER

### 1. EQUIPEMENTS

Equipement	Année d'achat	Valeur d'achat (€)	N° inventaire
Heidelberg DLW 200	2004	858000	
Hamatech (développement)	2007	90000	8773_CV
Hottes flux	2007	61000	9085_W et 9084_W
Nanoscribe	2013	288250	0773_PO
Kloe Dilase 750	2013	626000	10759_CV

### 2. UTILISATEURS

MINC, MOST, PHOTONIQUE, NBS, N2IS, MICA, ISGE, MH2F, NPN, TEAM, Renatech

### 3. REFERENTS TEAM ET ORGANISATION

- Pierre-François Calmon, IR (responsable de la zone)
- Vinciane Luque (TCN)

Les dessins des masques qui nous sont transmis, sont réalisés par des personnes ayant les compétences suivantes :

- Connaissances des procédés technologiques de la salle blanche
- Connaissances des logiciels de CAO

Au final, les dessins des masques doivent être validés par le responsable du demandeur.

Une bibliothèque des masques existants est visible vers le lien : \\Pongo\partage\_team\Dessins des masques. Cette bibliothèque contient aussi des fichiers de mires d'alignement et des tableaux pour l'identification des masques: Liste des Masques.xls et l'enregistrement de nouvelles demandes: DXXX\_DEMANDE\_MASQ.xls.

Le planning d'utilisation des machines est visible sur l'outil MRBS.

### 4. MAINTENANCES

#### 4.1 Maintenance

- Changement du laser He-Cad du système DWL

#### 4.2 Réparation

- Retubage du laser He-Cad du système DWL sous garantie suite à un problème d'étanchéité. Arrêt du système DWL pendant 3 mois.
- Défaillance du laser de l'interféromètre du système DWL liée à son vieillissement.

## 5. BUDGET

### 5.1. 2013

- Consommables : plaques de verre et boites de masques ont nécessité un budget de 3700 €
- Maintenance : le budget est de 0 €

Le budget total de la zone dépensé en 2013 est 3700 €

### 5.2. Prévisionnel 2014

- Consommables : plaques de verre et boites de masques nécessiteront un budget de 14 800 euros
- Maintenance : changement du laser de l'interféromètre du système DWL pour un budget de 7 200 euros

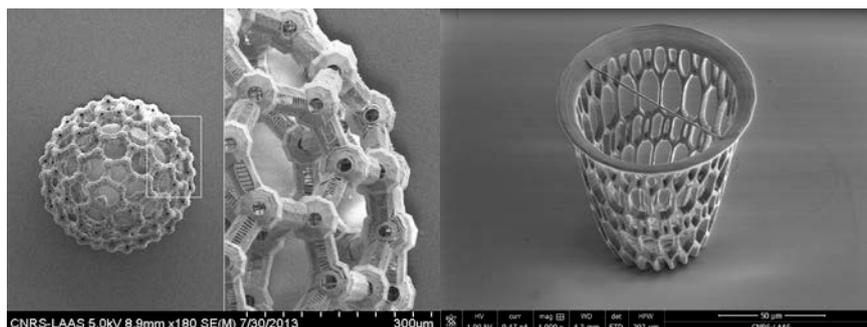
Le budget total prévisionnel est 22 000 euros.

### 5.3. Commentaire

Un budget de 17 000 euros est utilisé tous les 18 ou 24 mois pour le changement du laser He-Cad du système d'écriture laser. Le prix de revient du laser est de 20 euros par masque.

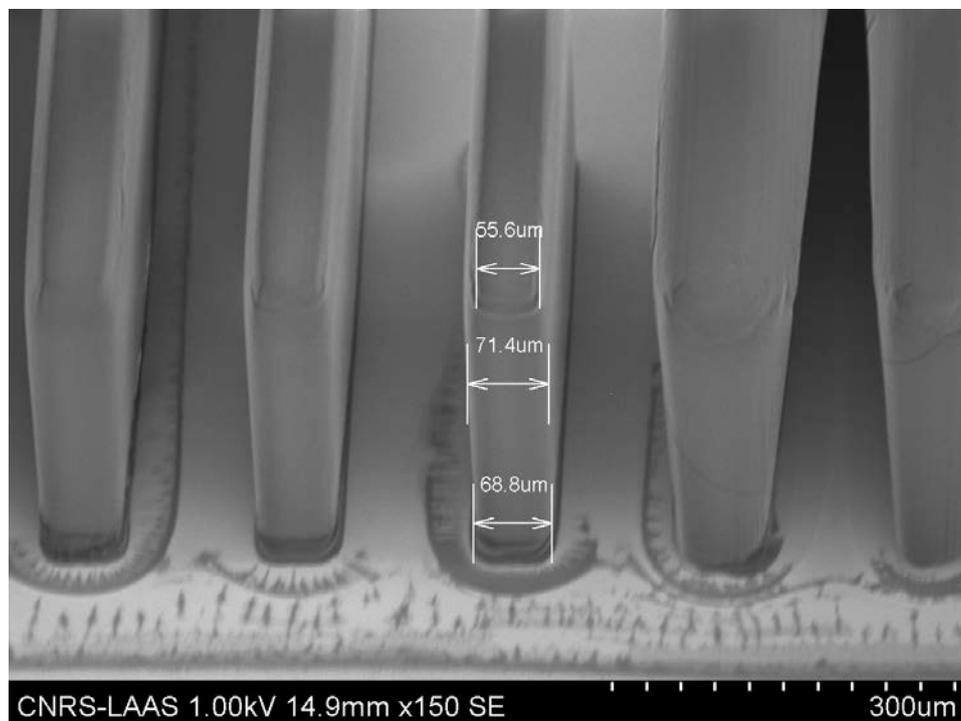
## 6. EVOLUTION DES PROCÉDES

Un nouveau système d'écriture laser directe 3D Nanoscribe a été installé dans la zone. Ce système permet la polymérisation à deux photons de matériaux photosensibles au moyen de déclenchements d'impulsions laser ultra-courtes. L'énergie absorbée provoque une modification chimique et/ ou physique de la résine photosensible à l'intérieur d'un petit volume (« pixel -> voxel »), qui peut être modulé en dimension par la puissance du laser. Ce système est utilisé pour la fabrication de structures spécifiques par l'exposition du matériau photosensible suivant les trajectoires et / ou points définissant le modèle 3D souhaité.



### Micro-cathéters 3D

Dans le cadre du projet d'équipement d'excellence LEAF, un nouvel équipement de lithographie laser haute résolution a été installé dans la zone. Cet équipement français, KLOE Dilase 750, est équipé de 3 sources lasers et 3 tubes optiques pour combiner les longueurs d'onde (405, 375 et 325) et les tailles (20  $\mu\text{m}$ , 2  $\mu\text{m}$  et 500 nm) du faisceau pendant les phases séquentielles d'écriture. Ce système permet de traiter rapidement des grandes surfaces couvertes de films minces constitués de matériaux organiques ou inorganiques. Grâce à la grande profondeur de champs du système optique les résines de lithographie de types SU-8, AZ, Shipley et BPN pourront être traitées dans le cas d'épaisseurs supérieures à 100  $\mu\text{m}$  avec des forts rapports de forme. En perspectives un procédé de traitement de surface avec une source laser 193 nm permettra le photo-greffage et un procédé d'écriture multi-photons autorisera la lithographie 3D.



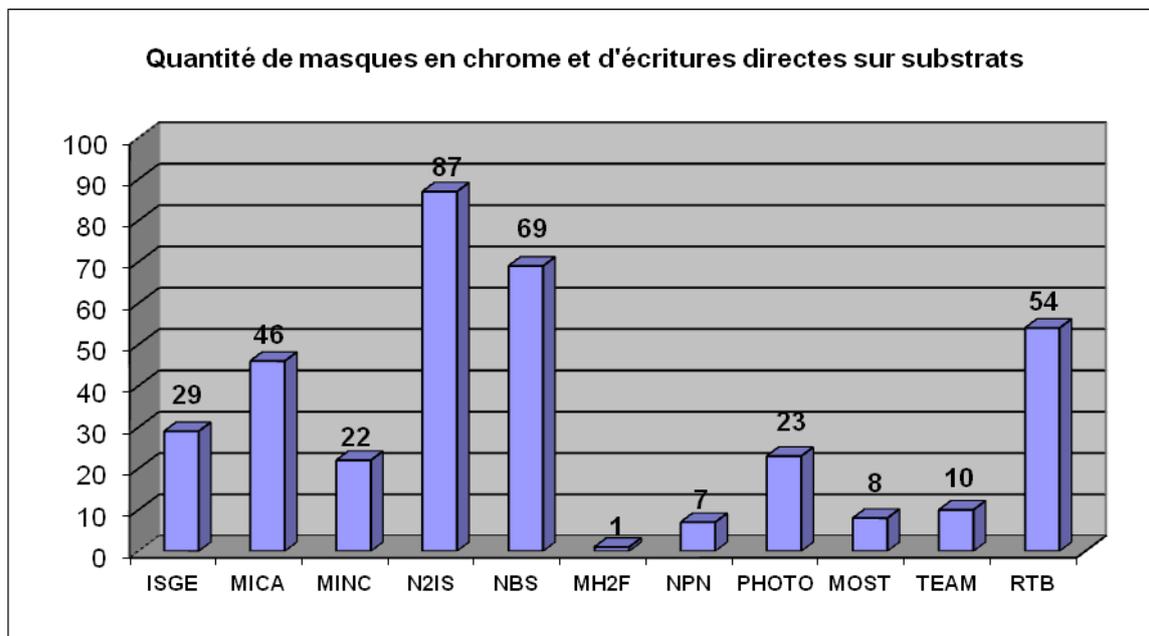
Profils de résine BPN pour la structuration de moules d'épaisseur 400  $\mu\text{m}$

## 7. FORMATIONS

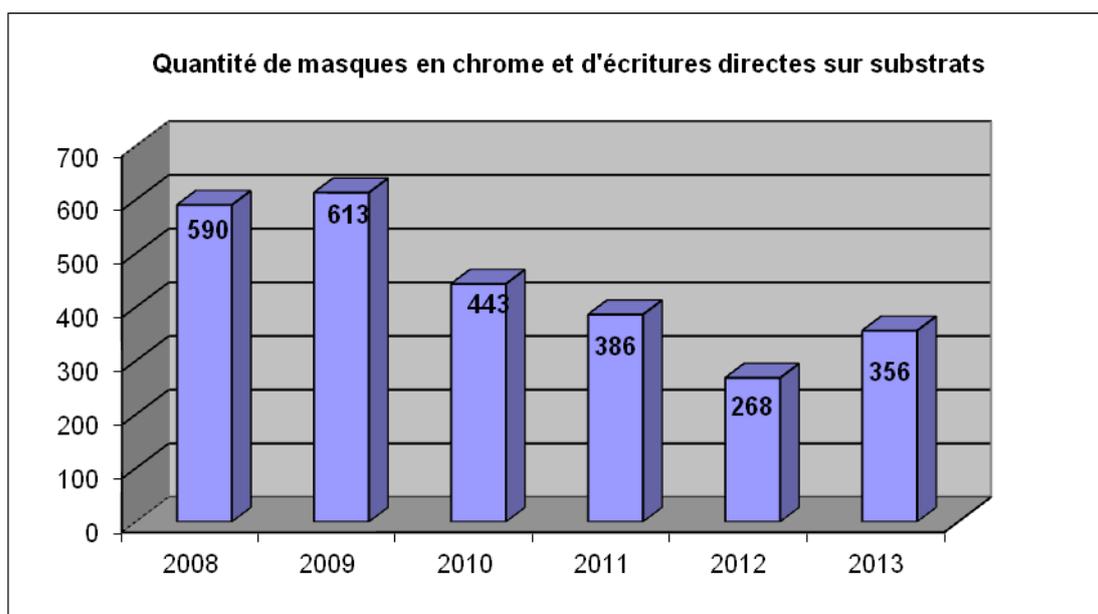
- Formation d'une trentaine de personnes à la réalisation de dessins de masques (50 heures).

## 8. BILAN

### 8.1. Bilan par groupes utilisateurs :



### 8.2. Evolution au cours des dernières années



### **8.3. Analyse :**

L'activité lithographie laser permet la réalisation de masques 1X, de réticules 5X et l'écriture directe sur substrats.

Le nombre de masques réalisés est en hausse par rapport à l'année précédente. La fabrication des masques a été interrompue pendant 3 mois en fin d'année suite à la défaillance du laser d'écriture. La centrale Renactech FEMTO de Besançon a pu nous dépanner pour la fabrication de 32 masques.

Une soixantaine de substrats ont été traités avec le nouveau système Nanoscribe pour la structuration d'objets 3D par l'équipe NBS.

L'optimisation des paramètres de lithographie laser du nouveau système Dilase 750 a débuté pour les résines SU-8, Shipley et BPN.

La demande RTB représente toujours 15 % de l'activité.

## **9. PROSPECTIVE**

### **9.1. Equipements :**

Dans le but d'améliorer le traitement des masques avant leur utilisation en photolithographie il nous paraît intéressant d'acquérir un équipement dédié au nettoyage des résines présentes sur les masques. Ce nettoyage se ferait dans 2 bains chauffés AZ100 remover avec ultra-sons. L'équipement s'adaptera aux tailles de masques 2,5 à 7 pouces.

### **9.2. Procédés :**

KLOE Dilase 750 : mise au point de procédés avec nos résines. Durée estimée : 90 jours

KLOE Dilase 750 : installation, formation et développement d'un nouveau procédé de traitement des surfaces. Durée estimée : 30 jours

Nanoscribe : Développement de nouveaux procédés d'écriture 3D. Durée estimée : 60 jours

## **10. CONCLUSION GENERALE**

Depuis quelques années la quantité de masques fabriqués diminue et le traitement des données se complexifie pour la réalisation des réticules ou l'écriture directe sur substrats.

Les nouveaux équipements d'écriture laser vont nous permettre de proposer de nouveaux procédés de structurations et de traitements de matériaux.

La demande RTB est toujours conséquente. Le LAAS est la seule centrale RTB qui possède un équipement automatisé permettant de traiter un volume important de masques.

## PHOTOLITHOGRAPHIE

### 1. EQUIPEMENTS

○ *1-a : zone d'équipements manuels :*

Equipement	Année d'achat	Valeur d'achat (€)	N° inventaire
Tournette Suss n°3 (MOS)	2003	18402	7852_CV
Tournette Suss n°2 (petits substrats)	2003	73200	6769_CE
Tournette Suss n°1 (procédés conventionnels)	2000	23000	-
Plaque chauffante Suss à rampe (x2)	2002	52000	6974_PV
Etuve HMDS YES	1999	17000	-
Etuves climatiques (x2)	2005	5000	8008_W et 8187_W
Microscope LEICA	2005	12500	7957_W
Armoire réfrigérée	2005	4000	-
Postes de travail chimie résine (X6)	2005		7843_CV 7846_CV 7845_CV 7844_CV 7850_CV 7847_CV
Aligneur MJB3 Suss	1985	61000	-
Aligneur MJB3 Suss	1980	58000	-
Aligneur MA 6 Suss	2002	137204	9823_PV
Photorépéteur Ultratech	1995	688263	Don
Plaques chauffantes EMS (x6)	2010	1260	9821_W et 9820_W

• *1-b : zone d'équipements automatiques :*

Equipement	Année d'achat	Valeur d'achat (€)	N° inventaire
Photo répéteur Canon FPA-3000i4	2009	984000	9522_W
Pistes EVG 120	2003	892000	7582_W
Aligneur EVG 620			7583_W
Aligneur MA 150 Suss	1998	457000	-
Etuve HMDS JPK	2005	46294	-
Microscope LEICA	2005	12500	7982_W
Armoire réfrigérée	2005	4000	7943_W
Etuves climatiques (x4)	2005	10000	7064_CV

- *1-c ; zone de lithographie laser :*

Equipement	Année d'achat	Valeur d'achat (€)	N° inventaire
AltaSpray Suss	2011	166650€	10163_W

## 2. UTILISATEURS

MINC, MOST, PHOTO, NBS, N2IS, MICA, MPN, ISGE, MH2F, OSE, RENATECH

## 3. REFERENTS TEAM ET ORGANISATION

- **Référents TEAM :**

- L.Mazenq AI, Responsable de zone
- A. Laborde AI
- R. Courson, IR CDD, 20% sur la zone.

- Evolution :

- Adrian Laborde a intégré le service TEAM au sein de la zone photolithographie au cours de l'année 2012 en tant que BiATS UPS. Ce recrutement a permis de pérenniser l'activité de support technique dans la zone.
- Rémi Courson a une activité d'intérêt général sur la zone photolithographie. Il assure un support et une expertise procédés aux utilisateurs. Il a notamment participé aux développements des procédés sur l'équipement de lithographie par projection Ultratech.

- **Organisation :**

- Les équipements de la zone photolithographie sont en **libre service après formation et signature de la charte de l'utilisateur** de la zone.

## 4. MAINTENANCE

La maintenance sur la zone se fait à plusieurs niveaux :

- **Au quotidien :**

- Le démarrage et l'arrêt des équipements se font par le personnel de la zone.
- Durant cette étape, le personnel s'assure du bon fonctionnement des équipements : nettoyage, élimination des contaminations, réalisation d'un substrat test sur les équipements automatiques.

- **Tous les vendredis** après-midi, 15h30 : « Heure soleil »

## Bilan 2013 des zones

- Dans le cadre de la démarche d'amélioration continue, cette action consiste à réaliser un nettoyage, faire l'état des stocks et une calibration-vérification du matériel.
- L'ensemble des utilisateurs de la zone sont concernés.
- Cette procédure a été mise en place dans la zone depuis 2012, elle a été généralisée à l'ensemble des utilisateurs depuis le 15/11/2013.
- **Tous les mois :**
  - Une maintenance préventive mensuelle est effectuée afin de fiabiliser les procédés et avoir un meilleur suivi des pannes. Ces interventions d'environ 2.5 jours par mois consistent à :
    - **Bilan équipements :** (réalisé par Adrian Laborde)
      - bilan sécurité : calibration des lampes UV.
      - changement des consommables.
      - réparation des pannes.
    - **Bilan procédés :** (réalisé par Laurent Mazonq)
      - Qualifications des procédés standards :
        - ECI 1.1 $\mu$ m.
        - NLOF 5 $\mu$ m.
        - AZ 40XT 40 $\mu$ m.
      - Les caractérisations effectuées sont :
        - Analyses défauts – particulière.
        - Mesure épaisseur – uniformité.
        - Mesure de la dimension critique (résolution).
        - Mesure de côtes.
        - Observation SEM : mesure de profil de photoresist.
- **Annuellement :**
  - Pendant l'arrêt de la centrale technologique au mois d'Août, une maintenance plus poussée est réalisée par toute l'équipe photolithographie pendant 5 à 10 jours.
  - Maintenance préventive équipementiers :
 

▪ Stepper Canon :	4 jours/an.
▪ Stepper Ultratech :	4 jours/an.
▪ EVG 120 :	2.5 jours/an.
▪ Suss Microtec MA 150, MA6 les 2 MJB3 :	4 jours/an.
▪ EVG 620 :	2jours/2ans.

Il n'y a pas de contrat de maintenance.

Adrian Laborde et Laurent Mazonq assurent la maintenance et règlent la majorité des problèmes de fonctionnement des machines de la zone.

D'autres personnels du service interviennent afin d'assurer la maintenance :

- A. Maiorano, T. Do Conto et L. Bouscayrol interviennent sur la partie infrastructure de la zone :
  - Réglage de l'ambiance en température et hygrométrie.
  - Mesure des débits des hottes de chimie présentes en photolithographie.
  - Contamination particulière : ajustement FFU pour remise en conditions classe 100.
  - Sécurité.
  - Maintenance des compresseurs du photorépéteur Canon.
- D. Colin apporte son soutien pour les problèmes électroniques et informatiques

Il est important de maintenir cet effort en interne au service pour plus d'efficacité et une meilleure gestion des dépenses.

**Réparations :**

- Installation de l'équipement Ultratech :
  - Installation + 5jours de formation (12991€)
  - Achat du système chargement masques 5'' (3395€)
- EVG 120 :
  - Réparation de 3 contrôleurs suite à une fuite sur la station de développement (13575€)
  - 2 bras changés suite à des mauvaises utilisations (2595 €)
- MA150 :
  - Réparation du focus optique pour l'alignement TSA et BSA (3612€50)
- Spray coater :
  - Réparation du filtre sur une ligne de résine (221€80)
- Plaques chauffantes :
  - Achat de 2 plaques chauffantes (réception prévue début 2014) (2480€)
- Sécheur Semitool :
  - Achat d'un rotor 5'' (2470€)

**5. BUDGET**

**5.1. 2013**

Sur l'année, le montant total des dépenses liées à la zone s'élève à **107 430 €25**

Les sommes engagées sont réparties sur deux aspects

- Consommables (résines et développeurs) : **38 079 €49**
- Maintenance : **69 350 €76**
  - Interventions équipementiers : 34 398 €20
  - Pièces : 34 952 €56

Substrats : **77 418 €50**

On peut également répartir les dépenses en maintenance par équipements :

Equipement :	Coût total :	Interventions équipementiers :	Pièces :
Canon FPA 3000i4	9020,00	9020,00	
Ultratech 1500	16386,20	12076,20	4310,00
EVG120	16169,73	6483,00	9686,73
Aligneur de masques EVG 620	0,00		
Aligneurs de masques Suss (4)	8726,85	6819,00	1907,85

plaque chauffantes	2480,00		2480,00
Spray coater	221,80		221,80
Tournettes	4440,28		4440,28
Semitoool	2469,90		2469,90
Microscopes Leica	0,00		
Lampes UV	9436,00		9436,00
Total	69350,76	34398,20	34952,56

### 5.2. Prévisionnel 2014 :

Le budget prévisionnel (hors substrats) pour 2014 est de **120.4K€** et se décompose selon :

- Consommables : **38K€**
- Maintenance indispensable **82.4K€**
- Maintenance « retardable » **16 K€**
- Support **0K€**
- Equipement (lentille MO) **18.5K€**

Substrats **55K€**

### 5.3. Commentaire :

Le budget pour 2014 est basé sur une **activité stable** par rapport à 2013.

Cependant, le « budget maintenance » est calculé **en hausse de 18%** par rapport à 2013 en raison de :

- pannes onéreuses sur plusieurs équipements en fin 2013 (EVG 120, Stepper Canon, MA6) : 23.6K€
- La mise en service du stepper Ultratech : 6.1k€+ lampes UV.
- parc machine vieillissant pour des équipements en libre service (classés par taux d'occupation):
  - EVG 120 : 9 ans.
  - MA 6 : 19 ans.
  - MA150 : 16 ans.
  - Stepper Canon 16ans.
  - MJB3 : 30 ans.
  - EVG 620 : 9 ans.

## 6. EVOLUTION DES PROCÉDES

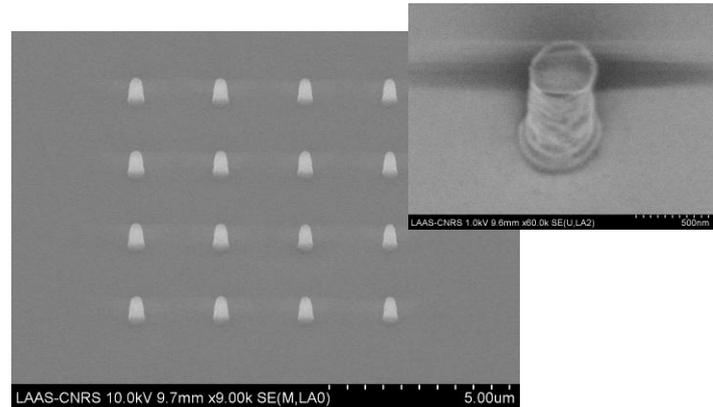
### 6.1. Suivi des résultats :

Un fichier de suivi des opérations réalisées en photolithographie est mis en place. Cet outil permet un meilleur suivi et une meilleure reproductibilité des opérations.

## 6.2. Bottom AntiReflective Coating (BARC):

Des développements ont été réalisés sur le procédé résine ECI 1 $\mu$ m avec une couche anti-réfléctive de 200nm.

Ces travaux initiés avec le groupe MPN permettent un gain en résolution (verticalité des profils de résine) et surtout une meilleure reproductibilité des procédés aux dimensions critiques (CD, 350nm).

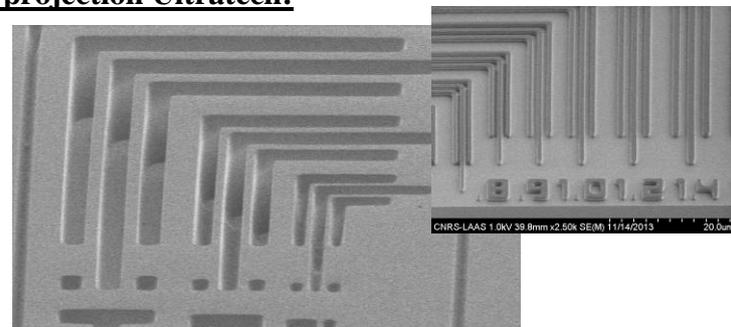


## 6.3. Procédé sur l'équipement de lithographie par projection Ultratech:

Mise au point de procédés sur l'équipement :

- Résine ECI 1.1 $\mu$ m      CD 0.9 $\mu$ m
- Résine AZ 40XT 20 $\mu$ m      CD 3 $\mu$ m
- Résine SU8 25 $\mu$ m      CD 4 $\mu$ m

L'équipementier doit intervenir en 2014 pour permettre la compatibilité de l'équipement avec les masques 5'' fabriqués au LAAS.

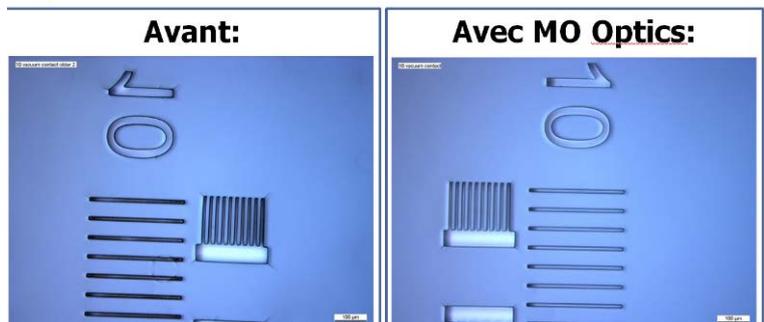


## 6.4. MO Optics:

Ce système optique développé par Suss Microtec a été installé sur la MA 150. Il est en prêt jusqu'au 31 Janvier 2014.

Il permet:

- une meilleure profondeur de champ:
  - pour les résines épaisses (gain en résolution pour les résines d'épaisseur > 10 $\mu$ m)
  - pour les substrats avec du relief après deep RIE ou gravure KOH.
- un meilleur respect des formes (Optical Proximity Compensation).
- un gain en homogénéité et en intensité lumineuse.



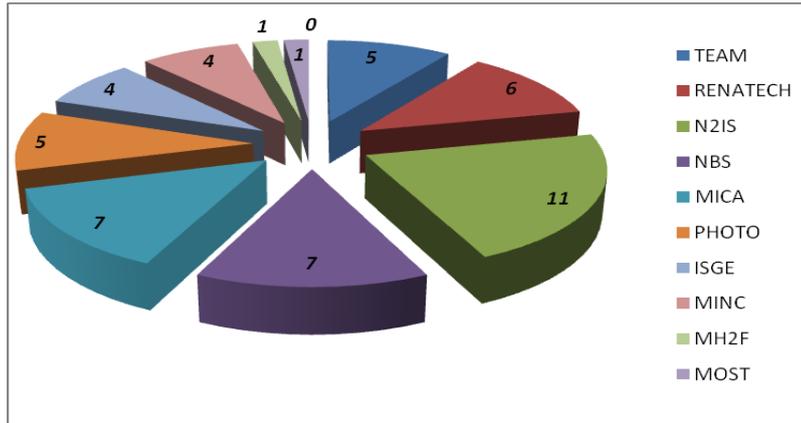
Le coût de ce système est de 18.5K€

Actuellement 7 chercheurs ont témoigné de leur intérêt pour l'achat sur ce système.

## 7. FORMATIONS

- Tous les utilisateurs doivent suivre une formation d'environ 2.5h pour accéder aux ressources de la zone photolithographie. Cette formation est dispensée par Adrian Laborde ou Laurent Mazonq.
- Une formation supplémentaire est nécessaire pour l'accès aux machines d'alignements (EVG 620, MA150, MA6, MJB3, 1h) et les pistes EVG 120 (30min).
- **51 nouveaux utilisateurs ont été formés en 2013 (+150% !!!)** selon la répartition suivante :

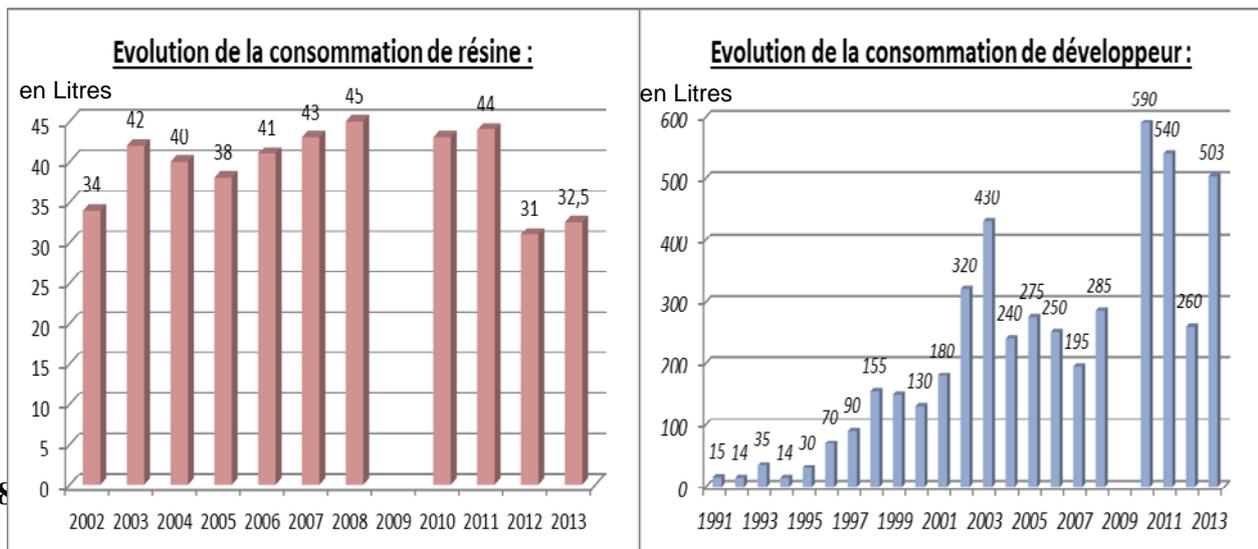
Bilan 2013 des zones



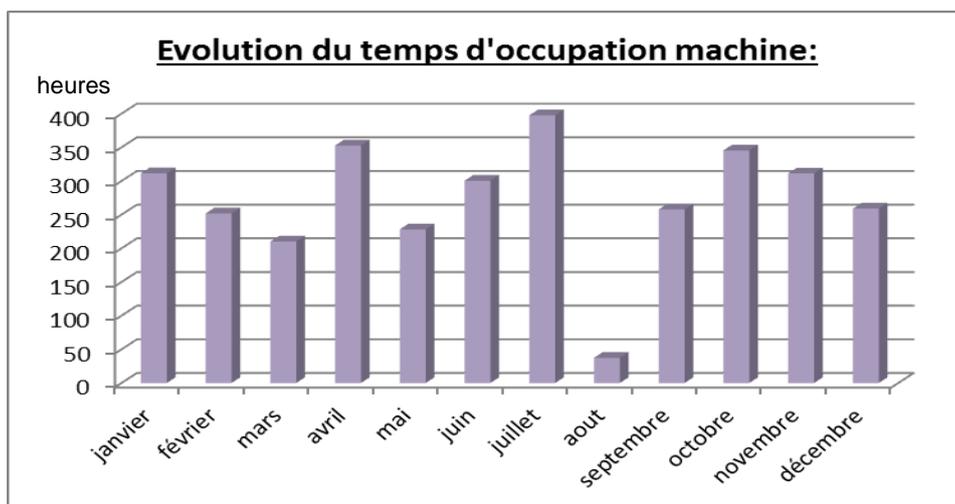
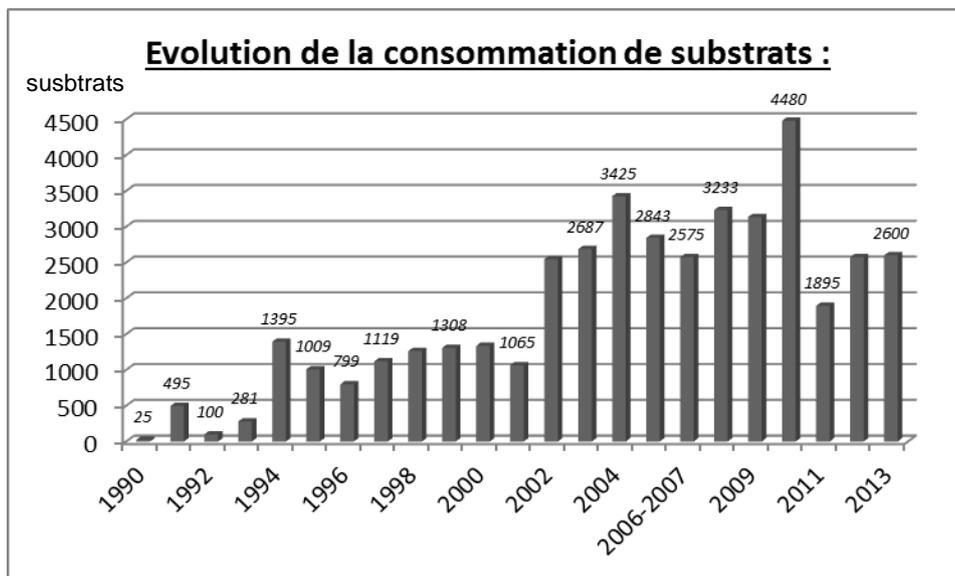
- Cours TEAM (cours magistraux):
  - Pour l'année 2014 :
    - Laurent Mazonq présentera les cours :
      - Procédés de photolithographie (cours obligatoire) 1H30mn
      - Environnement et équipements de photolithographie (cours peut être obligatoire) 1H30mn
    - Véronique Conédéra présentera les cours :
      - La lithographie optique. 1H30mn
      - Les résines épaisses. 1H30mn

**8. BILAN**

**8.1. Evolution au cours des dernières années :**



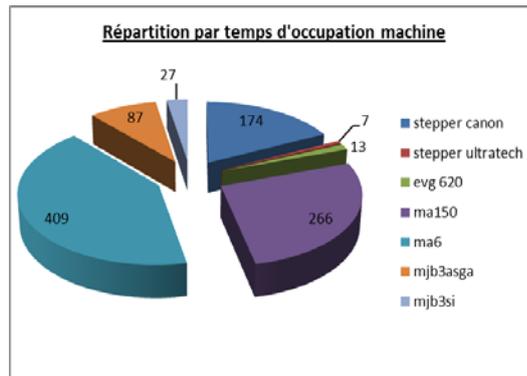
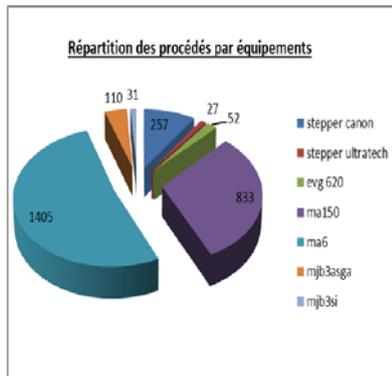
Bilan 2013 des zones



**8.3. Répartition par équipements (nombre d'opérations) :**

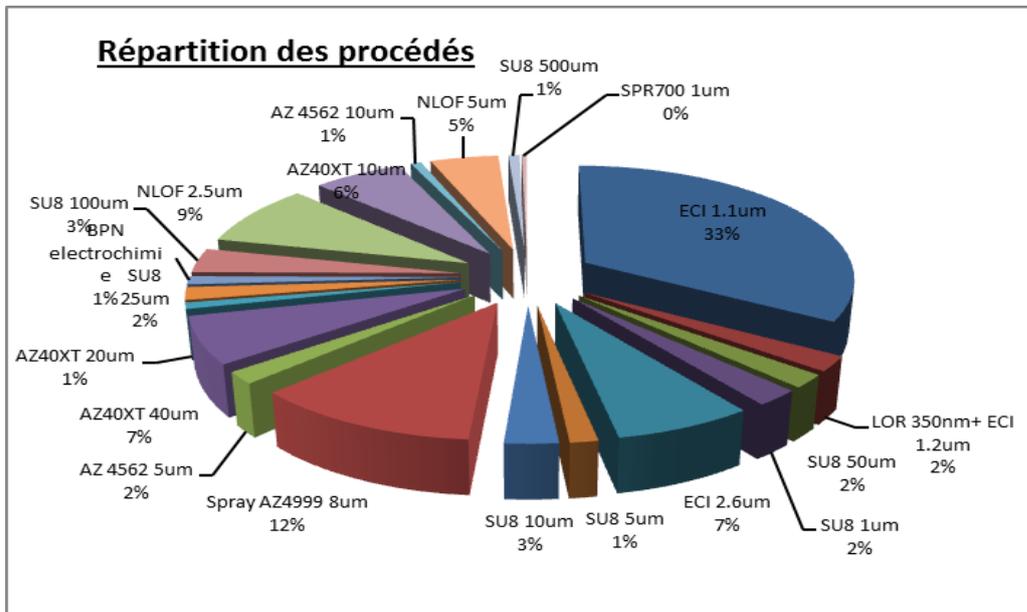
tournettes	1550	57%
evg 120	995	37%
spray	169	6%
<b>total</b>	<b>2714</b>	<b>100%</b>

insolation manuelle (MA6, MJB3)	1546	57%
insolation automatique (EVG 620, MA150)	885	33%
Stepper (canon, Ultratech)	284	10%
<b>total</b>	<b>2714</b>	<b>100%</b>

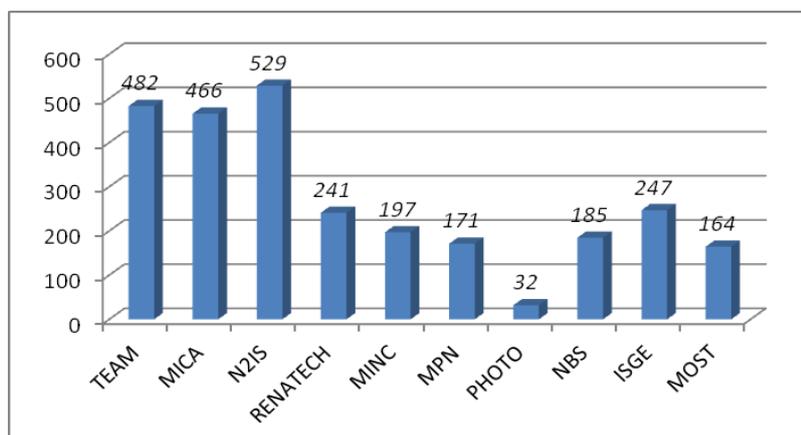


8.4. Répartition par procédés :

total résines standards:	2231	82%
total su8	389	14%
Autres (LOR, BCB, BPN):	94	4%
<b>total</b>	<b>2714</b>	<b>100%</b>



8.5. Répartition par équipe :



## 8.6. Analyse :

- Les indicateurs sur les consommations montrent une activité stable par rapport à l'an passé et globalement en baisse sur plusieurs années.
- Les résines standards ECI, NLOF et 40XT représentent 67% des procédés.
- Le nombre de photolithographies est de 2714 substrats
  - Ce chiffre semble loin de la réalité (estimation d'environ 5000 photolithographies/an)
 Un effort devra être fait par chacun en 2014 pour obliger l'enregistrement des opérations sur l'outil GRR.

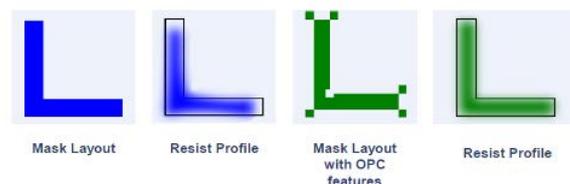
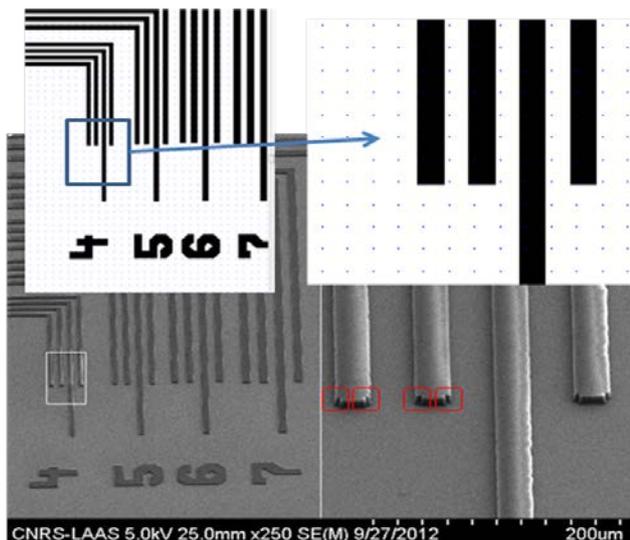
## 9. PROSPECTIVE

### 9.1. Equipements :

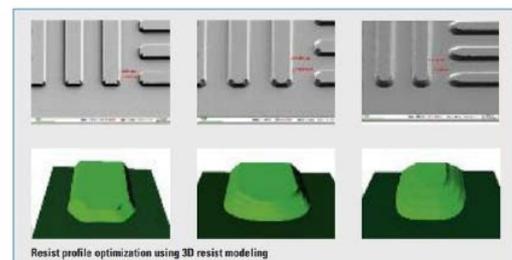
- « Petit équipement » de litho Kloé UV-KUB.
- MO Optics (voir partie 6.4).
- Poursuite de la refonte des protocoles procédés et équipements.
- Remplacement matériel :
  - Tournette en remplacement de la tournette n°2.
  - Machine d'alignement en remplacement des MJB3 – MA6.
  - Jouvence MA150

### 9.2. Procédés :

- Poursuite des démarches d'amélioration continue :
  - « Cahier qualité » avec historique des opérations.
  - suivi statistique des procédés.
- Procédés résines à haut facteur de forme en lithographie par projection.
- Travail sur les Corrections Optiques de Proximité (OPC) :



- + LayoutLAB™ software from GenlSys
- + Fraunhofer IISB



## 10. CONCLUSION GENERALE

**La zone photolithographie est impliquée dans 84% des projets COMTEAM.**

**L'activité est stable par rapport à l'an dernier et en baisse sur plusieurs années.**

**51 nouveaux utilisateurs ont été formés en 2013** ce qui représente un travail important en formation, en support technique et en expertise sur les projets.

Les nouvelles procédures de formation (formation TEAM, cours, TP AIME) permettent plus d'efficacité et une meilleure autonomie des utilisateurs.

Les technologies classiques de photolithographie restent le cœur de métier et des outils ont été mis en place pour améliorer la reproductibilité des opérations et réduire les erreurs.

Une préparation plus poussée préalablement à toute réalisation technologique permettrait d'appréhender les verrous technologiques souvent oubliés ou négligés ; mais également de réduire le nombre d'essais à conduire.

On peut également souligner le travail inter zone (gravure plasma, électrochimie, lithographie laser) utile afin de conduire les développements.

La zone a atteint son seuil de saturation en équipements, le renouvellement d'un aligneur de masque est à envisager.

Il convient enfin d'insister sur le fait que la zone photolithographie au LAAS n'a pas d'équivalent dans les autres centrales du réseau Renatech.

Cette activité justifie le support de Rémi Courson (CDD) à 20% en photolithographie.

Son implication est essentielle pour le bon fonctionnement de la zone.

Cela permet à Adrian Laborde de se dégager du temps pour s'impliquer dans la coordination de projets.

## LITHOGRAPHIE ELECTRONIQUE

### 1. EQUIPEMENTS

Equipement	Année d'achat	Valeur d'achat (€)	N° inventaire
Système de lithographie électronique Raith	2005	906780	7563_W
Système de sécurité (onduleur)	2007	7000	-
Plateforme antivibratoire	2007	29000	-
Bâti de dépôts PECS	2002	60000	-

### 2. UTILISATEURS

MPN, MINC, PHOTONIQUE, NBS, RTB, TEAM

### 3. REFERENTS TEAM ET ORGANISATION

- Franck Carcenac - IR : responsable de la zone, procédés génériques, développements
- Emmanuelle Daran - IR : procédés génériques

Le fonctionnement de la zone repose sur l'ouverture et la formation : chercheurs, enseignants-chercheurs (interne), doctorants (interne et RTB), post-doctorant (interne et RTB)

Ce fonctionnement semble convenir à l'ensemble des utilisateurs : pas de panne particulière associée.

### 4. MAINTENANCES

- Masqueur : changement des ordinateurs et mise à jour du logiciel
- PECS : le PECS est de retour et fonctionnel. Il est désormais utilisé dans la zone de caractérisation.

**5. BUDGET****5.1. 2013 : 38.430€**

- Consommables :
  - Résines, filtres, seringues, ... : .....4.890€
- Maintenances :
  - PECS : .....1.690€
    - Réparation (commande réalisée fin 2012 réalisée 2013)
- Équipements :
  - Lithographie électronique : .....32.000€
    - Mise à jour logiciel et ordinateur
  - Plaque chauffante (voir zone nano-impression) : .....1.540€

**5.2. Prévisionnel 2014 : (1)28.330€**

- Consommables :
  - Lithographie électronique : .....5.000€
    - Résines : HSQ, maN2403
    - Solvants : **anisole**, TMAH 25%, méthanol
    - Filtres, seringues, aiguilles
  - PECS : (voir zone caractérisation) .....2.000€
    - Cible Au : 600€
    - Kit maintenance pompe à membrane
    - Kit maintenance pompe turbo
- Maintenance :
  - Lithographie électronique : .....23.330€
    - Changement de pointe : 17.000€
    - Réparation du contrôleur de la pompe turbo et de la pompe turbo : 6330€
  - PECS : .....0€
    - La plupart des réparations peuvent être réalisées en interne et la machine sort de révision.  
Prochaine panne à prévoir la pompe à membrane et/ou la pompe turbo (et son contrôleur)
- Équipement :
  - Hotte à flux laminaire : (voir zone nano-impression).....25.000€
  - FBMS + MBMS : .....100.000€
  - PECS : (voir zone caractérisation) .....2.500€
  - table amortie pour installation définitive : 2.500€

**5.3. Commentaire**

La mise à jour de l'ordinateur du masqueur et de son logiciel a apporté beaucoup d'améliorations dans le quotidien de la lithographie électronique. La mise à jour ayant eu lieu en fin d'année, certains paramètres restent à tester.

Le PECS étant désormais dépendant de la zone de caractérisation, il conviendra de le faire apparaître dans le bilan de la zone concernée en 2014.

## 6. EVOLUTION DES PROCÉDES

Modification du support électrostatique pour permettre l'insolation de plaques de 6" par Xavier DOLLAT à cause d'une erreur de conception et de la disparition du fabricant. Beaucoup d'études lancées avec la zone de gravure grâce à l'initiative "LAAS-NANO" et ayant permis de mettre en place les filières de fabrication des moules en Si (qualification du procédé de la STS sur l'Alcatel-P1 et en cours sur ICP3) et en silice fondue (qualification de procédés sur ICP3 et sur Alcatel-P4)

## 7. FORMATIONS

- Formation à l'utilisation du nouveau logiciel du masqueur
- Formation au PECS pour Amandine Lestras et Benjamin Reig

## 8. BILAN

### 8.1. Bilan annuel par technique ou équipement :

#### 8.1.1. Lithographie électronique :

Regain conjoncturel de l'utilisation du masqueur lié (voir Figure 1 et Figure 3) :

- à la présence de 2 personnes contractuelles expérimentées très efficaces
- aux doctorants en fin de thèse qui ont de l'expérience
- au travail d'intérêt général fourni par le personnel TEAM pour :
  - la mise en place de filières technologiques (conjointement avec la zone nano-impression et la zone gravure)
- la prospection des machines de gravure sèche qui a nécessité la production d'échantillons pour les tests chez les constructeurs.

Les insolutions attachées aux projets RENATECH représentent ~30% de l'utilisation totale du masqueur.

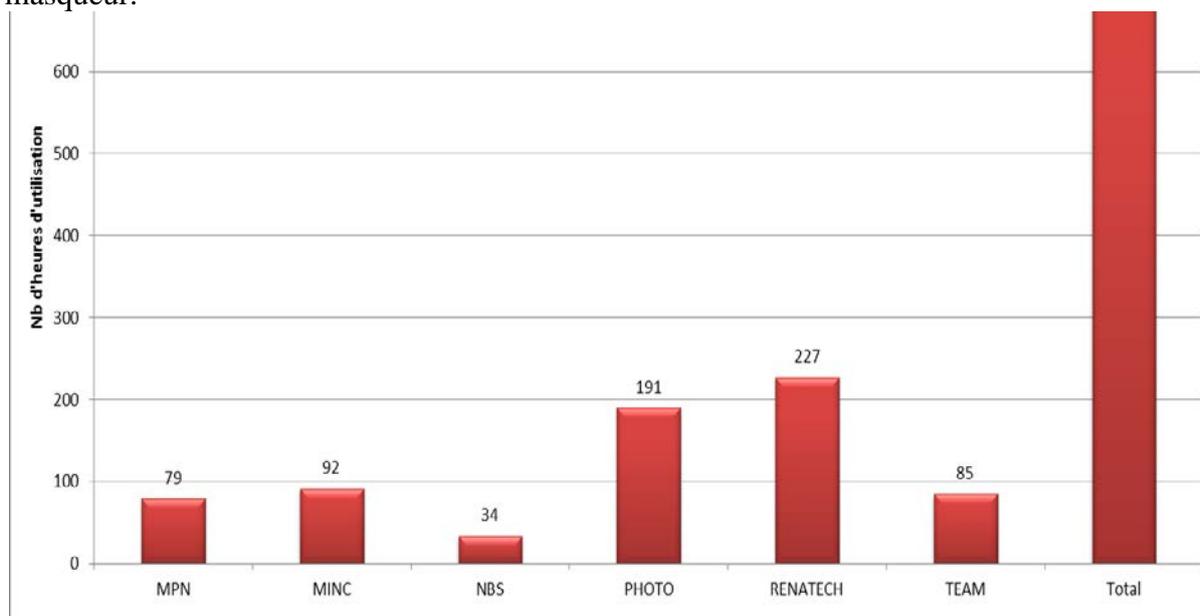


Figure 1 : activité du Masqueur électronique RAITH 150 sur l'année 2013

### 8.1.2. Dépôts sur le bâti de dépôts PECS :

Ses principaux avantages sont :

- Faible coût d'exploitation : maintenance, consommables (cibles)
- Diversité des matériaux déposables.
- Facilité d'utilisation.
- Pas de couche d'accroche. Ex.: Au/SiO<sub>2</sub>, Pt ou Pd/SiO<sub>2</sub>

Ses principaux inconvénients sont :

- Taille maximale des échantillons 2.5x2.5cm<sup>2</sup>
- Vide limite de 3 10<sup>-4</sup> Pa
- dépôts limités à 100nm

**Depuis début novembre 50 dépôts** ont été réalisés dont 12 par TEAM (Amandine LESTRAS et Benjamin REIG) pour la calibration des dépôts (voir Figure 2).

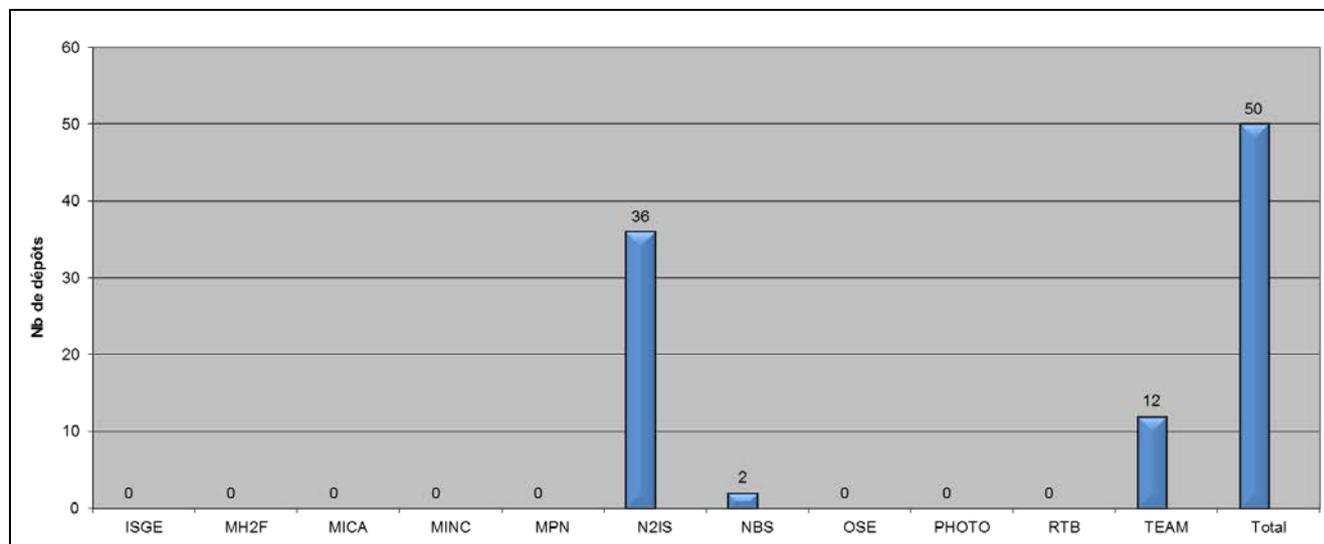


Figure 2 : activité du 1er novembre 2013 au 18 décembre 2013

## 8.2. Évolution au cours des dernières années :

### 8.2.1. Lithographie électronique :

Le regain conjoncturel d'activité (voir Figure 3) a été favorisé par la mise en place de l'initiative "LAAS-NANO". Le départ de 2 utilisateurs CDD chevronnés devrait cependant ramener l'utilisation à son niveau habituel. Par ailleurs la fin de plusieurs thèses de doctorants de laboratoires externes ne signifiera pas la fin des projets associés et d'autres étudiants devraient les remplacer.

La mise à jour du logiciel fin 2013 a apporté de la rapidité dans l'utilisation de la machine, le traitement des données et pour le temps d'insolation. Elle facilite aussi la formation des nouveaux utilisateurs : logiciel mieux organisé et plus clair.

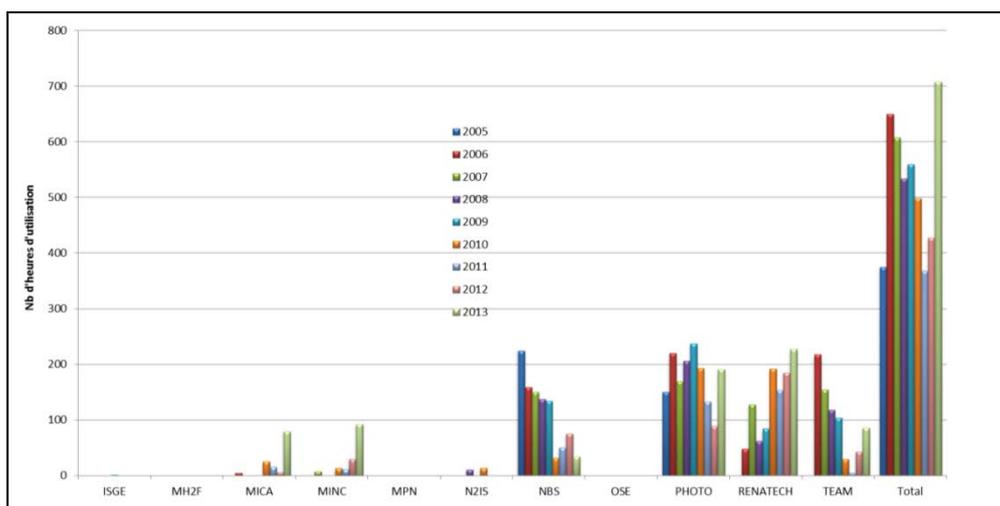


Figure 3 : évolution de l'activité sur le masqueur électronique RAITH150

### 8.2.2. Dépôts sur le PECS :

Du fait du très faible nombre de dépôts réalisés en 2011-2012, la machine qui n'était pas utilisable en l'état, n'avait pas été réparée.

Des applications particulières requéraient ce type de machine : métallisation d'échantillons isolants/biologiques pour les MEB et le FIB, dépôts d'or ou palladium sans couche d'accroche, contrôle de sous-couches discontinues. Ces besoins nous ont conduits à lancer la réparation du PECS fin 2012 et à l'installer en salle blanche début novembre 2013.

Des calibrations ont été conduites pour différents paramètres (tension d'accélération, rotation, inclinaison) et c'est, en tout, 50 dépôts qui ont été réalisés en seulement 2 mois ce qui montre l'utilité de cette machine (voir Figure 4).

La ré-orientation de l'utilisation du bâti de dépôt PECS devrait offrir une nouvelle vie à cette machine avec une estimation de 150 à 200 dépôts par an.

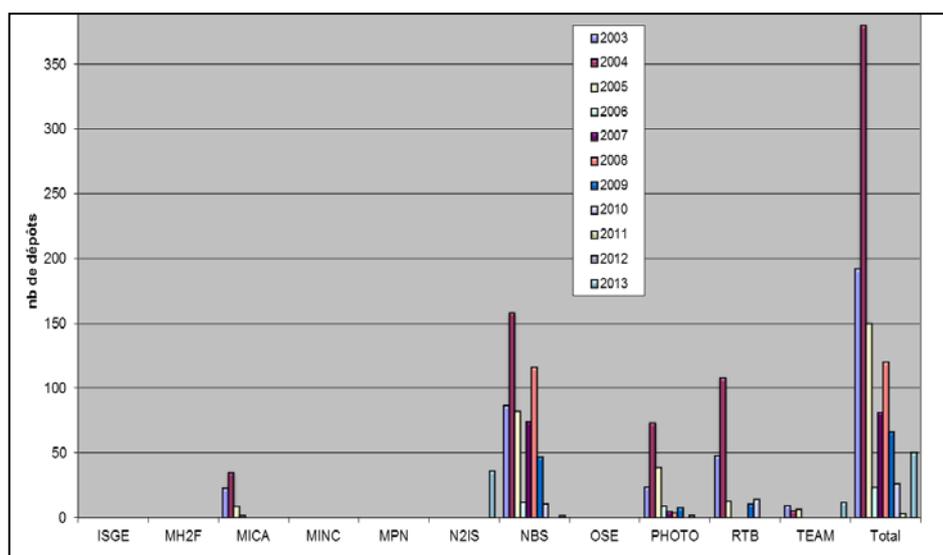


Figure 4 : évolution de l'activité sur le bâti PECS

## 9. PROSPECTIVE

### 9.1. Organisation :

Dans un souci de cohérence par rapport au fonctionnement réel des zones et à leur unité géographique, une nouvelle zone intitulée Nanolithographies sera créée à partir de la fusion de la zone lithographie électronique avec la zone nano-impression. La zone comportera 2 responsables : un pour la nano-impression et un pour la lithographie électronique.

### 9.2. Personnels :

Le fonctionnement de la zone par formation d'utilisateurs permanents et non permanents permet :

- aux ITA permanents de dégager du temps pour développer les procédés nécessaires à l'exploitation de la technique et à son évolution ainsi qu'à la coordination de projets
- aux autres permanents d'acquérir de l'expérience et de garder un bon niveau de connaissance par rapport à la technique en partageant les évolutions ainsi que les nouveaux procédés avec tous les utilisateurs.
- aux personnes non permanentes d'acquérir de l'expérience sur une technique complexe et valorisable.

Ce mode de fonctionnement montre ses limites avec le départ des doctorants et CDD remplacés, ou pas, par de nouveaux :

- perte de savoirs
- une formation trop longue et une utilisation pas assez dense conduisent à un manque d'efficacité pour les nouveaux doctorants.

D'un autre côté, la mise en place de l'initiative "LAAS-NANO" a débouché sur le recrutement d'une AI pour un an. Son impact a été extrêmement positif sur l'organisation et le développement des filières de nanofabrication et démontre l'apport efficace d'une personne supplémentaire sur l'activité de nanofabrication.

**L'ensemble de ces éléments justifie pleinement la recherche d'une solution pérenne afin de dégager un poste d'AI pour la nanofabrication en général. Il nous faut capitaliser sur toutes les actions entreprises !**

Par ailleurs la formation à ce type de technique et aux procédés associés est longue et doit de ce fait être conduite par un recouvrement aussi long que possible avec les spécialistes actuellement en activité. En prévision de l'évolution des activités des référents TEAM actuels, il est envisagé de former Aurélie Lecestre à l'utilisation du masqueur électronique pour, dans un premier temps, la fabrication d'échantillons tests destinés à la gravure.

Aurélie possède de l'expérience en lithographie électronique ainsi que sur les procédés associés. Celle-ci lui permettra, à terme, d'évoluer dans ses activités et ses responsabilités au sein du service (coordinateur de projet, responsable de zone).

Aurélie est déjà impliquée dans une zone où les développements sont nombreux et elle doit aussi assurer la coordination de projets. Bien que cette prospective se heurte à la difficulté qu'aura Aurélie Lecestre pour dégager du temps il semble important de signaler cette possibilité qui lui permettrait de ne pas perdre les compétences qu'elle a développées sur ce domaine et éventuellement de les renforcer.

### 9.3. Équipements :

#### 9.3.1. masqueur électronique RAITH150 :

Achat des options :

- Insolation en continu sans raccord de champ (FBMS)
- Insolation en continu de motifs quelconques en réseau (MBMS)

Coût : ~100k€

Les options FBMS (Fixed Beam Moving Stage) et MBMS (Moving Beam Moving Stage) permettraient de débloquer la réalisation de certains projets (réseaux de grande surface en un temps acceptable sans raccords de champ, nanofluidique, filtres optiques, réseaux de Bragg, DFB, ...) ainsi que l'amélioration de projets existants (cristaux photoniques, toutes les insolations sur plaques de 4 et 6" dont les moules de nano-impression).

Cet investissement permettrait d'avoir une machine unique dans le réseau RENATECH car les options proposées par RAITH ne peuvent être actuellement trouvées que sur leurs machines. Il permettra, à terme, d'aiguiller le choix dans l'achat d'un masqueur plus performant qui devra ou non inclure ces fonctionnalités en fonction des résultats obtenus.

#### 9.3.2. PECS :

- RAS

### 9.4. Procédés :

- Finalisation des filières de fabrication des moules pour la NanoImpression (verre et silicium) : mise au point des gravures sur ICP3 de façon à avoir plusieurs machines disponible et pallier aux pannes éventuelles.
- Étude et déploiement de nouvelles résines :
  - Electro et UV-sensibles pour la technique de "Mix & Match" (dont les résines optiques actuellement disponibles au LAAS et le PMGI)
  - PMGI :
    - résine positive
    - meilleure résistance à la gravure que le PMMA
    - bi-couche avec PMMA pour lift-off.
- Changement de logiciel de dessin :
  - Utilisation de CADENCE :
    - Logiciel compatible RAITH
    - Disponible au LAAS
    - Paramétrables
    - Expérience locale (PHOTONIQUE l'utilise extensivement)
    - Introduction de règles de dessin pour limiter les erreurs courantes

## 10. CONCLUSION GÉNÉRALE

La zone a acquis une maturité technique et technologique mais souffre d'un manque d'investissements en équipement et en personnel.

- En équipement :

Les développements offerts par les 2 options FBMS et MBMS permettraient des progrès techniques et technologiques considérables en termes de possibilités et de rapidité. Sans ces investissements, certains projets ne sont pas réalisés ou abandonnés (nanofluidique, PHOTONIS) par défaut de capacité ou excès de temps d'insolation qui renchérit le coût de fabrication. D'autres nécessitent des développements technologiques importants et peu efficaces car basés sur le contournement des limites de la machine.

- En personnel :

La charge de travail des permanents devrait être stable concernant la lithographie électronique mais la mise en place de filières de nanofabrication la fera beaucoup augmenter par ailleurs.

Le manque de personnel nous pousse à un fonctionnement collaboratif pour optimiser l'utilisation des compétences et des disponibilités. Ceci nous conduit à fusionner 2 zones tout en restant cohérents et fonctionnels.

Le recrutement d'un AI sur un an nous a démontré l'efficacité d'une personne supplémentaire dans notre organisation avec des résultats probants sur le développement des technologies de nano-impression. Le recrutement d'un AI devient donc indispensable si l'on veut maintenir et développer le niveau actuel en nanofabrication.

Le fonctionnement actuel montre ses limites lors du départ des doctorants expérimentés remplacés par de nouveaux doctorants à former entièrement :

- perte de capitalisation des savoirs (surtout pour les projets RENATECH),
- consommateur de temps pour les formateurs et les doctorants.
- cependant intéressant pour les doctorants qui acquièrent des savoirs et des savoir-faire négociables sur le marché du travail.

Nous attirons l'attention sur le fait que la formation d'un technologue spécialisé sur les nanotechnologies prend plusieurs années et qu'il conviendrait de songer à former un IR afin que la transmission entre générations se passe sans heurt.

Il faudra donc à terme un IR permanent supplémentaire pour permettre le maintien et le développement des filières qui constituent le coeur d'une organisation de la nanofabrication plus structurée et donc plus efficace. Ce nouveau permanent favorisera la capitalisation des savoirs au niveau du LAAS, le développement de nouveaux procédés et l'aide aux utilisateurs.

## LITHOGRAPHIE PAR NANO-IMPRESSION

### 1. ÉQUIPEMENTS

Équipement	Année d'achat	Valeur d'achat (€)	N° inventaire
Nanonex NX2500	2010	268 555	9931_PO
Système de démoulage	2010	16 044	-
Supports d'alignement (5''masques, 4''substrat)	2010	14 310	-
Pistolet ionisant	2011	965	10225_W

### 2. UTILISATEURS

TEAM, PHOTO, MICA, MPN, Renatech

### 3. RÉFÉRENTS TEAM ET ORGANISATION

- Emmanuelle Daran – IR : mise au point des procédés, réalisation des moules, formation des utilisateurs, encadrement et suivi des projets, caractérisations AFM et MEB
- Jean-Baptiste Doucet – IE : chimie de surface, chimie des polymères, mise au point des procédés, caractérisations AFM et MEB
- Franck Carcenac – IR : réalisation des moules, caractérisations MEB
- Amandine Lestras – AI (CDD) : mise au point de procédés, caractérisations AFM et MEB

Le fonctionnement de la zone repose sur la formation, l'ouverture et le partage des procédés. Toute personne formée (stagiaire, étudiant, chercheur, technicien ou ingénieur) peut utiliser l'équipement.

### 4. MAINTENANCES

Il faudra prévoir de prolonger l'évacuation des deux lignes d'azote, pour rejeter l'azote à l'extérieur de la pièce. L'objectif est triple : optimiser la sécurité en minimisant la quantité d'azote dans la pièce, diminuer le bruit dans la salle nano, au moment de la descente du piston, minimiser les mouvements d'air pour maintenir la classe 10 .

Le contrat de maintenance signé à l'achat de la machine s'est terminé en juillet 2013.

Le thermocouple et son support ont été changés.

## 5. BUDGET

### 5.1. 2013

- Consommables :

Nous avons eu moins de dépenses que prévu car nous avons pu obtenir des résines gratuitement.

- Résines Nanonex : 484 €
- Maintenance : 6300 €(payé à l'achat et valable jusqu'en juillet 2013)
- Equipement :
  - Plaque chauffante : 1540 €(en attente de la hotte pour installation).

**Total budget 2013 : 8 324 €**(dont 6300 €payés à l'achat de la machine Nanonex en 2010)

### 5.2. Prévisionnel 2014

- Consommables

- *Résines* : 1 000 €

Difficile à estimer car nous essayons de travailler de plus en plus avec des résines faites maison pour minimiser ces coûts et de partager les commandes de résines avec d'autres centrales.

- *Films pour moules souples* estimé à 1 000 €
- *Membranes* : 1 000 €

Total estimé des consommables : **3 000 €**

- Maintenance : **12 300€an.**

Pour l'instant le contrat n'a pas encore été signé, je suis en attente d'un feu vert pour pouvoir utiliser cette somme en maintenance. Pour information, l'autre centrale qui possède un équipement identique (le lpn) a un contrat de maintenance avec Nanonex, alors que leur machine est beaucoup moins utilisée que la nôtre.

Nous avons plusieurs procédés en cours sur cette machine, il me semble très opportun de se munir d'un contrat de maintenance. Nous pourrions aussi faire évoluer le logiciel, et donc les procédés selon nos besoins.

- Matériel et Support (installations de nouvelles machines)

- hotte classe 10 : 23 000 €(estimation à partir d'un devis de 2010)
- tournette : 8400 €(commande passée en 2013 mais pas encore reçue au 31/12/2013)
- accessoires tournette : 1695 €(commande passée en 2013 mais pas encore reçue au 31/12/2013)
- raccordement hotte : 3 000 €(cf zone support)

Total estimé du support : 31 000 €

### 5.3. Commentaire

2014 devrait voir l'installation d'une hotte de classe 10, ce qui explique le coût élevé de la partie « matériel et support ».

#### 5.4. Personnel

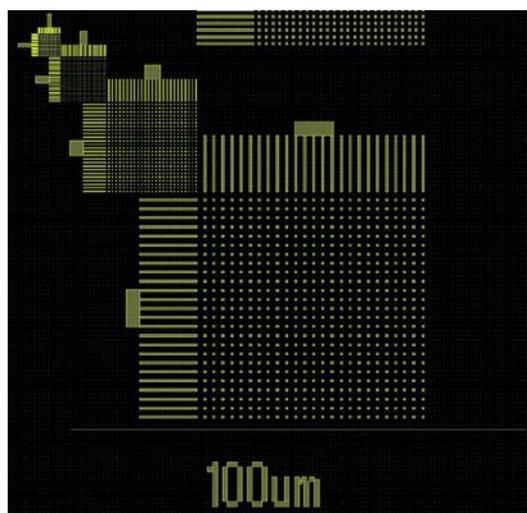
L'arrivée d'Amandine en septembre 2013 a permis de démontrer l'efficacité du couple IR/AI dans le développement de nouveaux procédés et l'aide aux utilisateurs. Ce poste d'AI manquait cruellement jusqu'à présent dans cette zone et a permis, comme vous pourrez le voir dans la partie procédés, de développer des procédés fiables.

## 6. EVOLUTION DES PROCÉDÉS

### 6.1. Contexte

Suite à la réflexion menée au sein du projet LAAS-Nano, nous avons mis en place un plan de travail concernant les procédés à mettre au point en lithographie par nano-implosion. Une première priorité de travail a alors été identifiée : développer un procédé de nano-implosion sur SiO<sub>2</sub> (massif et couche mince) et transfert par gravure sèche. Nous avons donc travaillé sur ce type de procédé avec l'aide de Marie Cassard (stagiaire IUT) et Amandine Lestras (en CDD à partir du 1<sup>er</sup> septembre 2013).

### 6.2. Réalisation d'un moule test



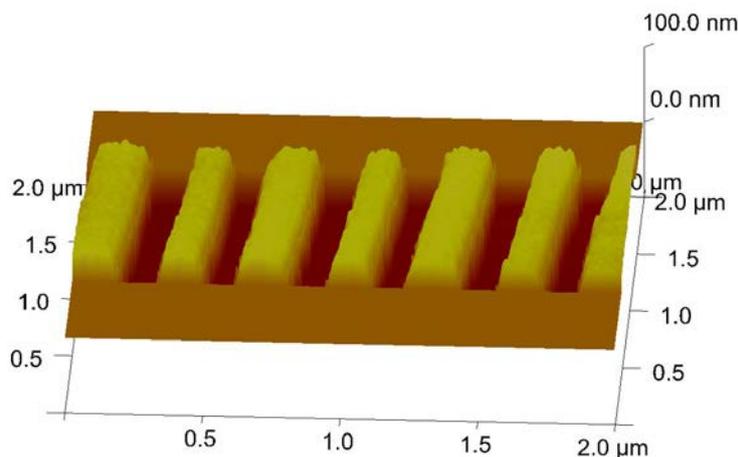
Un moule test composé de réseaux de lignes et de points de largeur variant de 30nm à 500nm et de pas x2, x3 et x4 a été réalisé par un procédé de lithographie électronique sur verre. Des tests de gravure du verre (Corning 7980) ont été effectués en collaboration avec la zone gravure. La caractérisation de ces moules a été faite par AFM et MEB.

A noter que depuis la mise en route de l'équipement MVD permettant la réalisation de traitement hydrophobe à partir d'un dépôt FDTS, nous utilisons systématiquement ce procédé pour réaliser les traitements antiadhésif de nos moules.

### 6.3. Procédés UV-NIL

Nous avons travaillé principalement avec les résines de type RA32 réalisées par Jean-Baptiste Doucet.

Un protocole complet a été mis au point de la fabrication du moule jusqu'au transfert dans le SiO<sub>2</sub> massif des motifs réalisés par UV-NIL (cf-rapport Marie Cassard).



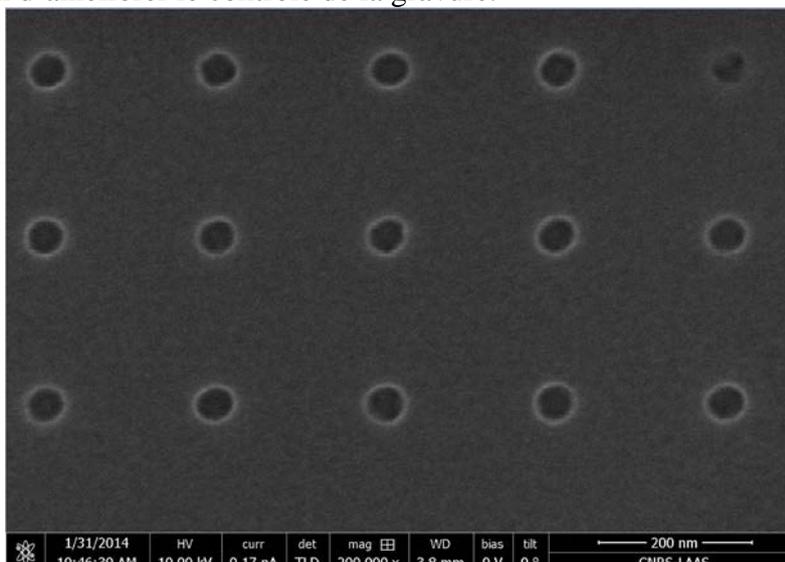
Motifs de 80nm au pas de 250nm dans silice fondue réalisés par UV-NIL dans résine RA32.

### 6.4. Procédés T-NIL

Un procédé de nanoimpression thermique a été mis au point, en particulier pour répondre à une demande de l'équipe MPN.

Un protocole complet a été mis au point pour transférer par NIL thermique des motifs inférieurs à 50nm de large et de 20 nm de profondeur dans une couche de SiO<sub>2</sub> thermique.

Il est à noter que simultanément à des motifs de taille de l'ordre de 50nm, nous avons pu obtenir des motifs de 100µm. Nous espérons que ces grands motifs de 100µm pourrons nous servir, dans un futur proche, à un contrôle optique par interférométrie in-situ de l'épaisseur de SiO<sub>2</sub> gravée afin d'améliorer le contrôle de la gravure.



Motifs de 35nm de large répliqués dans une couche de SiO<sub>2</sub> thermique par T-NIL et gravure sèche.

### 6.5. Procédés d'impression douce

Ces procédés constituent en quelques sortes un détournement de l'équipement de nano impression. Il permet de déposer de manière conforme un film sec épais de polymère sur des surfaces fragiles (premiers tests de David Bourrier pour Renatech) ou de petites dimensions (voir les travaux de thèse de Sami Abada et de Véronique Bardinal sur le dépôt de films de SU-8 de 100µm d'épaisseur sur des surfaces microstructurées de GaAs).

Un procédé fiable et reproductible a été mis au point pour les films de SU-8.

**Il est à noter que pour la caractérisation de ces procédés nous utilisons de façon intensive, les AFM et les MEB.**

## 7. FORMATIONS

Concernant la lithographie par nano-impression deux types de formations sont dispensés :

- **formation pratique**
  - Formation à l'utilisation de l'équipement Nanonex et aux procédés associés (NIL thermique, NIL UV).
  - Formation plus générale liée à la mise au point et/ou la mise en œuvre d'un processus en nanotechnologie
  - Formation à la caractérisation à l'échelle nanométrique
- **formation théorique**
  - Sur la technique de lithographie par nano-impression (principe, évolution, types de procédés, types d'équipements, applications, ...) délivrer lors des sessions de cours TEAM ou à la demande.

## 8. BILAN

En 2013, 223 procédés NIL ont été effectués sur la machine NXR2500 :

142 par TEAM pour la mise au point de procédés UV et thermique, la mise au point de nouvelles résines et la maintenance de l'équipement.

50 par l'équipe Photo pour les travaux de la thèse d'Hejer Makhloufi

27 par l'équipe MICA pour les travaux de la thèse de Sami Abada

4 pour Renatech (David Bourrier)

## 9. PROSPECTIVES

### 9.1. Personnels

Le point le plus positif de l'année 2013 est l'obtention d'un CDD d'un an. Dans ce cadre Amandine Lestras a commencé le 1<sup>er</sup> septembre 2013 en tant qu'assistant ingénieur, après un stage de deux mois. Nous avons pu, en travaillant en très étroite relation avec les zones

chimie, lithographie électronique, gravure et caractérisation, développer des procédés fiables qui vont pouvoir être mis à profit pour les projets des chercheurs en 2014.

Contrairement à ce que nous imaginions l'année dernière, Benjamin Reig ne peut pas dégager de temps pour participer à la mise au point des procédés « nano ».

**Si nous voulons continuer à développer des procédés de structuration à l'échelle nanométrique par lithographie nécessaires à la réalisation de projets en cours (ANR, RTRA, CNES,...) il est nécessaire de maintenir ce poste d'AI.**

## 9.2. Matériels

Nous prévoyons l'installation d'une hotte classe 10, pour l'enduction des résines et la mise en contact substrat-moule, dans un milieu minimisant la présence de poussières. Pour ce faire, cette hotte sera équipée d'une tournette et d'une plaque chauffante.

## 9.3. Procédés

Nous allons continuer le plan de travail établi dans le cadre du projet LAAS-NANO avec

- la réalisation de réseaux de lignes pour des applications optiques sur de grandes surfaces (Thèse de Ksénia Sharshavina, contrat CNES)
- la réalisation de motifs nanométriques dans des polymères directement fonctionnels (équipe MICA).
- la poursuite des procédés de nanostructuration de surface pour croissance localisée (équipes Photo et MPN)
- la poursuite des procédés de fabrication des moules (SiO<sub>2</sub>, Si, et films souples).

## 9.4. Collaboration

Suite à des discussions fructueuses lors de la réunion lithographie de la RTB, une collaboration avec l'ingénieur en charge de la lithographie par nano-impression à l'IEF devrait se mettre en place.

# 10. CONCLUSION GENERALE

Dans un souci de cohérence par rapport au fonctionnement réel des zones et à leur unité géographique, une nouvelle zone intitulée Nanolithographies sera créée à partir de la fusion de la zone lithographie électronique avec la zone nano-impression. La zone comportera 2 responsables : un pour la nano-impression et un pour la lithographie électronique.

Il n'en reste pas moins que la masse critique pour déployer à la fois la culture « nano » et les procédés nécessaires à une montée en puissance des nanotechnologies au sein de notre plateforme est loin d'être atteinte. La mise au point de ces procédés demande d'une part beaucoup de temps et d'autre part des personnels bien formés. Et la formation de ces personnels aux techniques telles que la lithographie électronique, l'AFM, le FIB, ... demande aussi beaucoup de temps. Hors les « nano » en tant que tels, n'apparaissent pas dans l'affichage Renatech des thématiques majeures de notre plateforme. Ma question reste : « Est-ce que le LAAS (sa direction et ses chercheurs) souhaitent développer l'activité autour des nanotechnologies au laboratoire et au sein de sa plateforme ? ». Si oui, avec quels moyens (humains et matériels), avec quelles priorités ?

## JET D'ENCRE

La zone Jet d'Encre regroupe trois activités : le dépôt par impression jet d'encre, le dépôt par voie auto catalytique (electroless) et le traitement de surface (séchage supercritique et fonctionnalisation)

### 1. EQUIPEMENTS

Equipement	Année d'achat	Valeur d'achat (€)	N° inventaire
Machine Altadrop	2007	345000	8505_W
Viscosimètre Anton Paar	2007	18600	8747_CM
Cuve ultrasons	2008	1000	-
Étuve Memmert	2009	500	-
Granulomètre Horiba	2009	29 000	9447_W
Centrifugeuse Fisher	2009	1500	9728_CE
Microbalance	2010		9949_PB
Homogénéisateur Ultra Turrax	2012	2 142	
Agitateur chauffant Lab Mix	2012	2 773	10084_CV 10085_CV 10086_CV
Appareillage mesure sédimentation Labo Moderne	2012	273	-
Traitement UV Ozone	2012	10 073	10023_W
SPD MEMSSTAR	2013	428399	10745_CV
Sécheur Supercritique TOUSIMIS	2004	76200	7592_W
Sécheur Supercritique SEPAREX	2004	137200	7626-C
SEPAREX Fonctionnalisation CO2 supercritique	2013	160000	10884_W

Le traitement de surface fait appel aux 4 équipements suivants : l'UV Ozone, le SPD MEMSSTAR, le sécheur supercritique TOUSIMIS et le SEPAREX Fonctionnalisation CO2 supercritique

### 2. UTILISATEURS

Jet d'encre et SPD : MINC, MICA, ISGE, NBS  
Electroless : N2IS

### 3. REFERENTS TEAM

- Véronique Conédéra : IR responsable de zone
- Fabien Mesnilgrete : AI

## 4. MAINTENANCES

La machine de jet d'encre est un prototype qui subit des adaptations beaucoup plus que des réparations. Les interventions se font avec l'aide de la société Altatech. Pour l'année écoulée, la société Altatech est intervenue pour l'adaptation d'une tête d'impression identique à celle utilisée pour les dépôts actuels, ce qui permet maintenant d'empiler deux matériaux.

Il n'y a pas eu de maintenance sur les équipements de traitement de surface car deux d'entre eux sont neufs et sous garantie et les deux autres n'ont pas présenté de problème particulier.

## 5. BUDGET

Le budget concerne à la fois les dépôts par jet d'encre proprement dits ainsi que des dépôts par voie auto catalytique (ou electroless) et les traitements de surface (fonctionnalisation). Dans les consommables sont comptées les buses (800€ la buse, propre au matériau déposé).

### 5.1. Les sommes engagées en 2013

- Consommables : 5714€
- Maintenance : 5960€ (2<sup>nde</sup> tête d'impression)

### 5.2. Prévisionnel 2014

Le budget prévisionnel pour 2014 se chiffre à 16000€ et se décompose comme suit :

- Consommables : 9300€
- Maintenance : 2000€
- Equipement : 4700€

### 5.3. Commentaire

Dans le chapitre « équipement », la demande se porte sur un microscope binoculaire indispensable pour contrôler l'état des buses (bouchées ou non) ; cette demande fait suite au déménagement d'une partie de la zone d'assemblage hors salle blanche.

## 6. PROCEDES

Ce chapitre comprend les procédés de jet d'encre, de dépôt catalytique et de fonctionnalisation de surface

### 6.1 Les procédés Jet d'encre

#### 6.1.1. Les procédés Jet d'encre stabilisés

- Dépôt de nano particules de ZnO commercial (mises en suspension dans de l'éthylène glycol en zone) pour la réalisation de capteurs de gaz
- Dépôts de SnO<sub>2</sub> synthétisé au LCC (SnO<sub>2</sub> LCC) et de SnO<sub>2</sub> commercial (SnO<sub>2</sub> com) réalisés :
  - La suspension avec le SnO<sub>2</sub> LCC n'est pas stable mais permet d'imprimer quelques motifs en adaptant les paramètres de « jetting » après sédimentation des agrégats

- La suspension avec le  $\text{SnO}_{2\text{com}}$  est stable et permet des impressions répétables tant en épaisseur qu'en répartition de particules.
- Dépôt de CuO commercial : l'encre n'est pas stable, mais permet d'imprimer quelques motifs en adaptant les paramètres de « jetting » après sédimentation des agrégats

#### 6.1.2. Les procédés Jet d'encre en étude

- Dépôt de nano particules Au:ZnO synthétisées au LCC ; les encres sont à base d'éthylène glycol mais une étude est menée sur le pourcentage de diéthylène glycol à rajouter afin d'améliorer l'uniformité de dépôt.
- Dépôt de PEDOT : Les encres de PEDOT sont à base d'eau, solvant réputé pour être particulièrement difficile à imprimer. Les analyses de viscosité et de tension superficielle du liquide ont montré que le PEDOT à 25°C est très proche de l'éthylène glycol à 45°C. La mise au point de l'éjection des gouttes de PEDOT s'est donc faite à partir des paramètres que nous utilisons habituellement. De plus, cette encre est très stable dans le temps, ce qui facilite les impressions.
- Dépôt de nano particules d'ATO en suspension dans l'eau.
- Dépôts de ZnO-Aluminium traité bismuth.
- Dépôt de graphène à partir d'une encre commerciale.
- Dépôt de nitrure de bore à partir d'une encre commerciale.
- Dépôt de nano tubes de carbone commercial ( $\text{NTC}_{\text{com}}$ ) ou oxydés ( $\text{NTC}_{\text{oxy}}$ ) et mis en suspension au LAAS.
- Dépôt de PEG (application bio) réussis mais qui ne conviennent pas à l'application.
- Dépôt de polymère synthétisé Laas pour fabrication de lentilles.

#### 6.2 Les procédés de dépôts auto catalytiques

Nous avons poursuivi l'étude des dépôts auto catalytiques sur divers matériaux dont la résine époxy SU8 et des films souples ; le problème d'adhérence de la couche de cuivre n'est toujours pas réglé et nous sommes en attente du fonctionnement de l'équipement Fusion qui permet de fonctionnaliser les surfaces avec une longueur d'onde de 248nm ce qui devrait permettre d'améliorer l'adhérence.

#### 6.3 Les procédés de fonctionnalisation de surface

Cette année, nous avons mis en fonctionnement l'équipement SPD (surface preparation deposition) ; cet équipement permet de rendre les surfaces (silicium, oxyde de silicium, polymère) hydrophobes ou hydrophiles.

Le procédé hydrophobe a été optimisé à partir du FDTS sur silicium et dérivés et à partir d'une couche d'oxyde (20nm déposée in situ) suivie du FDTS sur polymères (Kapton, SU8,..)

## 7. FORMATIONS

L'équipement de jet d'encre n'est pas en libre service. Un cours de formation à la technique de jet d'encre sera dispensé en 2014.

## 8. BILAN

- **Bilan par groupes utilisateurs :**

En 2013, 8 projets ont été soutenus dont 7 en jet d'encre :

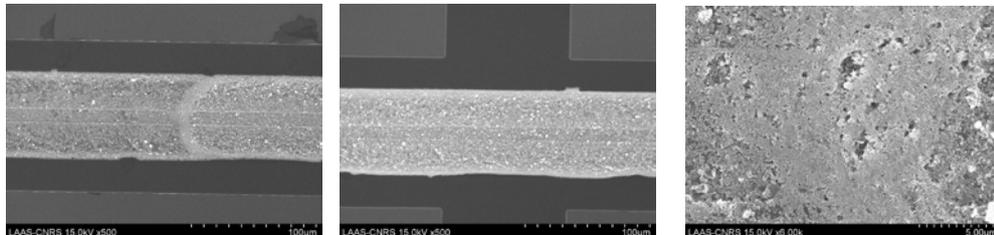
- Equipe N2IS : dépôt auto catalytique
- Equipe ISGE : varistances ZnO pour protection ESD  
micro-supercondensateurs à base de NTC
- Equipe MICA: capteurs de gaz  
Microlentilles sur composants optiques
- Equipe NBS : muscle artificiel
- Equipe MINC: capteurs basés sur le carbone fonctionnalisé
- Start-up NANOMADE

- **Equipe N2IS**

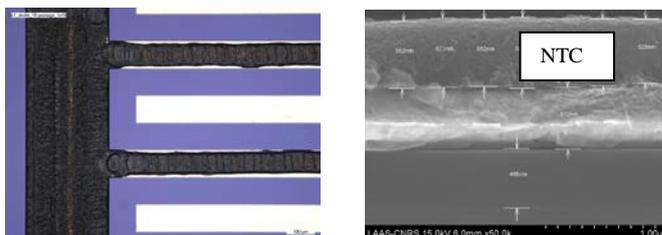
- Dans le cadre du projet de recherche DIGIDIAG, des tests de dépôt de cuivre auto catalytique ont été initiés sur divers films secs et du sol-gel ; ces tests doivent être poursuivis afin de lever des verrous technologiques tels que l'adhérence et la formation de bulles dans le dépôt pendant la croissance car au-delà de  $0.3\mu\text{m}$ , il y a formation de bulles et donc, de décollement de la couche.

- **Equipe ISGE**

- Les derniers dépôts de ZnO Al-bismuth ont permis la réalisation des premières varistances permettant de faire passer des courants significatifs lors de décharges électrostatiques.



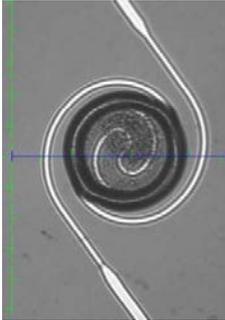
- Les premiers dépôts de NTC synthétisés dans l'équipe sont concluants pour la fabrication de micro-supercondensateurs. L'étude se poursuit en faisant varier l'épaisseur déposée.



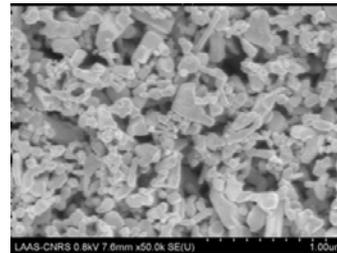
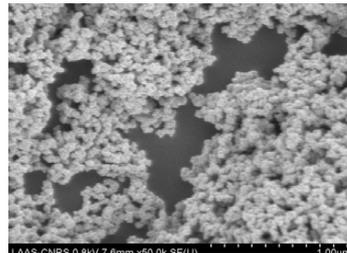
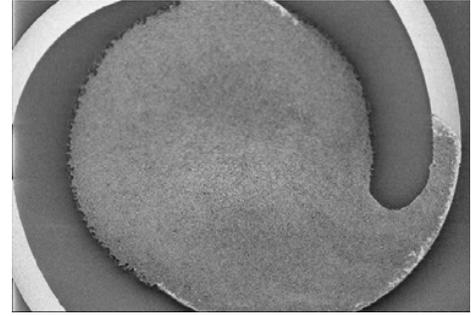
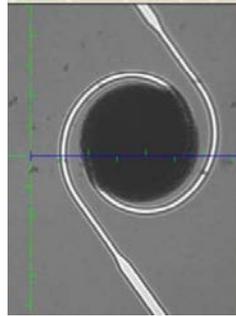
- **Equipe MICA**

- Projet capteur de gaz : dépôts de 2 sortes de nano particules ZnO<sub>LCC</sub>

ZnO Rock



Au:ZnO



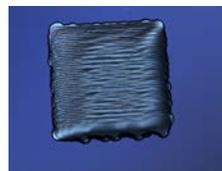
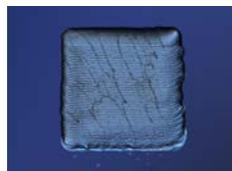
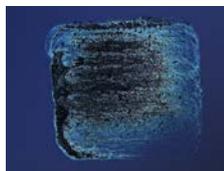
L'étude se poursuit avec des particules ZnO<sub>LCC</sub> isotrope et anisotrope en optimisant l'uniformité de dépôt.

Sont également imprimés des nanoparticules de SnO<sub>2</sub> commerciales et synthétisées au LCC ainsi que des nanoparticules de CuO.

- Projet lentille : dépôt d'un polymère synthétisé par JB.Doucet pour la fabrication de micro lentilles ; les premiers tests démontrent la faisabilité de déposer précisément sur des composants optiques. Par contre l'étude se poursuit dans la synthèse du polymère et le traitement de surface car les premiers dépôts n'ont pas été concluants.

- **Equipe MINC**

- Des vues de dépôt (non recuit) de nitrure de bore, nanotubes de carbone et graphène à partir d'encre commerciales sur une surface de SiO<sub>2</sub> non fonctionnalisée de 500X500µm

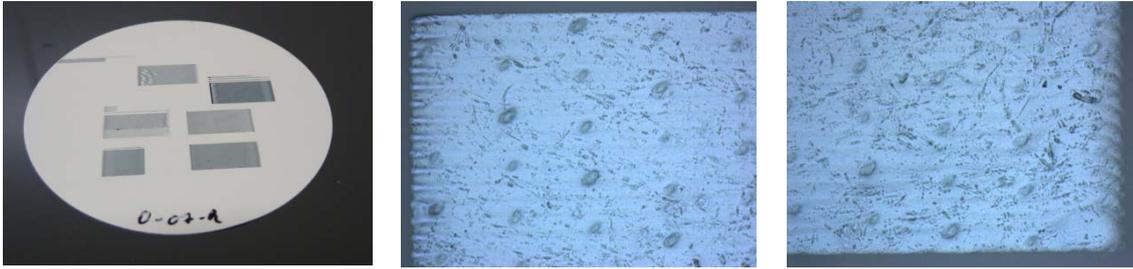


Une étude sur les recuits thermiques (température et temps) doit être menée afin de caractériser les conductivités et d'optimiser les couches déposées.

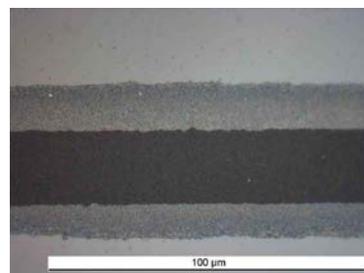
- **Groupe NBS**

- L'étude sur l'impression du PEDOT pour la réalisation de muscle artificiel se poursuit en étudiant différents solvants de dilution de l'encre pedot afin d'améliorer sa conductivité.

## Vues au microscope

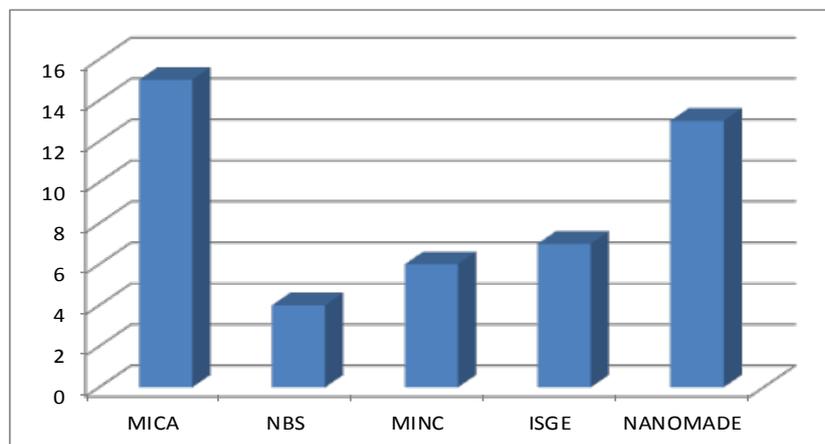
○ **Start-up NANOMADE**

Les dépôts de nanoparticules d'ATO (Antimony Tin Oxyde) sont reproductibles et se font entre des électrodes d'ITO sur substrat PET. Des développements restent à faire sur des substrats polyimides (répartition des nanoparticules, épaisseur)



**Nombre de jours d'occupation de la machine jet d'encre sur les 4 derniers mois (outil GRR) sans compter le temps passé sur la synthèse des encres et le débouchage des buses**

Nombre de jours



- **Bilan par technique ou équipement**

- 8..1. Cette année est marquée par l'expérience acquise de dépôts d'encre à base d'eau. On a pu ainsi fiabiliser des procédés à partir de buses de 30μm de diamètre et travailler avec des encres commerciales.
- 8..2. Il faut continuer à travailler sur le développement des dépôts auto catalytiques afin de confirmer les potentialités de cette technique sur les technologies polymères. Pour répondre au problème d'adhérence du cuivre déposé, il est prévu de fonctionnaliser les surfaces de polymère avec différentes longueurs d'onde (LEAF et Fusion) avant de procéder au dépôt ; on va aussi étudier une nouvelle

méthode de dépôt issue de la technologie « GraftFast » éprouvée sur des substrats plastiques ABS.

- 8..3. Avec l'arrivée du bâti SPD, on peut désormais traiter de façon reproductible des surfaces Si ou polymères afin de les rendre hydrophobes. L'angle de contact est de 110° mesuré avec l'eau qui ne change pas après 4 mois de vieillissement. On compte 50 runs effectués sur une période de 4 mois.

## 9. PROSPECTIVE

- **Equipements :**

Quelques aspects sont à considérer :

- Continuer à améliorer la machine de jet d'encre ; un des problèmes est le faible support technique qu'on a du fabricant ALTATECH en particulier sur la partie informatique. Face à cette situation il nous paraît important d'envisager la création en collaboration avec le service 2I d'un poste d'ingénieur pour effectuer un rétrofit de l'équipement.
- Pour certaines applications, faire un dépôt en mono buse est lent et peu adapté ; il faudrait avoir la possibilité de déposer des encres en multi buses mais notre machine actuelle n'est pas adaptée ; une prospective d'équipement est menée.
- Valoriser les brevets vers les entreprises du domaine.
- Continuer la veille technologique sur de nouvelles machines.

- **Procédés :**

9..1. En jet d'encre, deux axes sont à poursuivre :

- synthèse des encres : continuer l'étude des encres avec le solvant eau et les déposer avec des buses de diamètre 50µm et 80µm avec une reproductibilité dans les procédés.
- Développer de nouveaux procédés à partir des brevets par l'injection avec des mélanges d'hélium et de réactifs avec pour objectif la fonctionnalisation pendant le dépôt des particules déposées ou de la surface du substrat pour faire augmenter l'angle de contact, ce qui se traduit par une amélioration de la résolution.

9..2. En dépôts auto catalytiques :

- L'objectif à long terme, c'est de faire de cette nouvelle technique une filière adaptée aux technologies sur polymères grâce aux basses températures de dépôt ; cette mise en œuvre permettrait de faire des économies par rapport à des technologies conventionnelles tant au niveau du procédé que des équipements.

9..3. En traitement de surface :

- On a commencé la recherche de précurseur hydrophile biocompatible. La difficulté est de trouver un précurseur ayant pour caractéristiques :
  - rendre les surfaces hydrophiles en technologie SPD (sous forme liquide)
  - être « greffable » pour une activité biologique.
- Le nouvel équipement SEPAREX de fonctionnalisation avec le CO<sub>2</sub> supercritique offre des possibilités que ne peut pas assurer le SPD par l'utilisation de divers précurseurs ; l'étude se fera avec le soutien de Rémi Courson dont les connaissances en matériaux « précurseurs » sont un atout pour les technologies de fonctionnalisation.

## 10. CONCLUSION GENERALE

La zone Jet d'Encre s'est enrichie de nouvelles machines pour l'activité « traitement de surface ». Fabien Mesnilgrete s'investit dans ces procédés et suivra particulièrement la fonctionnalisation avec le CO<sub>2</sub> supercritique (SEPREX) comme fluide porteur aidé par Rémi Courson qui est déjà investi dans la technologie SPD

Les technologies jet d'encre, dépôt auto catalytique et traitement de surface sont des technologies qui demandent du développement et des efforts de compréhension.

Pour la machine jet d'encre, il faudrait développer un nouvel outil de pilotage de déplacement de l'échantillon. Une solution avec l'appui d'un ingénieur de formation en électronique, serait indispensable, compte tenu de la fragilité du support de la société Altatech, le fabricant de la machine.

# CARACTÉRISATION

## 1. EQUIPEMENTS

Equipement	Année d'Achat	Valeur d'Achat (€)	N° inventaire
4 pointes manuel	< 2000		-
Ellipsomètre AutoEL	< 2000		-
Tencor P15	2000	91500	06629C
AFM VEECO	2000	114109	6896_PO
WYKO 3300	2001	229000	6841_PO
4 pointes automatique	2003		-
Microscope LEICA	2004		7657_W
MEB Hitachi S4800 + EDX	2005	450000	8046_W
Ellipsomètre multi $\lambda$	2005	15000	7957_PO
MEB Hitachi S3700N + EDX	2008	150000	9301_PO
Microscope LEICA DM4000	2008	22210	9300_PO
Tencor P16+	2009	82000	9645_W
Confocal LEXT	2008	116520	9131_PO
AFM brucker	2011	160902	10321_W
Dual Beam Hélios 600i (FIB)	2012	985000	10427_PO

Tous les appareils de caractérisations sont en libre service après formation. Seuls les AFM, MEB FIB, l'ellipsomètre et le confocal demandent une réservation préalable. La réservation peut être effectuée à l'aide de GRR (Gestionnaire des Ressources et des Réservations).

## 2. UTILISATEURS

ISGE, ESE, MPN, MICA, MINC, MOST, N2IS, NBS, OSE, PHOTO, MH2F, RTB, TEAM, I2C, Renatech

## 3. REFERENTS TEAM ET ORGANISATION

- Benjamin Reig (IR CDD) : responsable de zone, aide technique et formation utilisateurs
- Emmanuelle Daran (IR) : aide technique et formation AFM
- Franck Carcenac (IR) : aide technique et formation MEB/FIB
- Fabien Mesnilgrete (AI) : aide technique et formation Confocal
- Emilie Debourg (IR CDD) : aide technique AFM

Chaque technique de mesure ayant sa spécificité, la zone est articulée autour d'un référent qui s'appuie sur les compétences des autres personnels de TEAM pour assurer de répondre au mieux aux demandes des utilisateurs.

## 4. MAINTENANCES

### 4.1. Maintenances

- Tencor : maintenance préventive par Scientec
- Ellipsometre : changement de la lampe et réglage complet de l'ellipsomètre
- AFM : maintenance préventive de l'AFM ICON par Bruker
- MEB S-4800: changement du diaphragme
- MEB S-3700N : Changement du filament
- Hélios : Changement de la source LMIS et d'un joint sur la colonne FIB (nécessitant le démontage complet de la colonne)

Les appareils de caractérisations sont très sollicités et doivent faire l'objet de petites maintenances hebdomadaires, cela est réalisé notamment lors de l'heure « soleil » :

- Réglage/nettoyage des optiques
- nettoyage des chucks
- nettoyage des pointes des profilomètres mécanique.
- Calibration des appareils (vérification mensuelle et calibration au besoin)
- Réglage de la caméra de l'AFM-ICON

Quelques ouvertures de la chambre du S-4800 pour cause de mauvaise manipulation.

### 4.2. Réparations

- Réparation de la tête de l'AFM ICON => Prise d'un contrat de maintenance gold sur cet équipement
- Leica : changement de la backplane (contrôle électronique du microscope)
- Changement du disque dur du Leica

### 4.3. Infrastructure

- Mise en place du TXRF (notamment au sous-sol pour les groupes de pompage)
- Déplacement de petits appareils pour faciliter les accès
- Mise en place de rideaux coulissant pour éviter les éblouissements
- Arrivées des fluides au niveau des AFM refaites

## 5. BUDGET

### 5.1. 2013

- Tencor : maintenance préventive 2780 €
- FIB : Remplacement source LMIS (2 extracteur, 2 supprimeur et 1 LMIS) 8921€
- Ellipsomètre : 3955 €
- LEICA: changement du backplane 2947€
- MEB : changement diaphragme S-4800 : 594€

- AFM :
  - Commande de pointes de pointes 9934€
  - Support et holder 4231€
  - Contrat Maintenance AFM ICON 9850€

Cela représente un total de 19347 € en consommables et de 23865 € en maintenances.

A noter que le coût des maintenances a légèrement augmenté (+17%). Par contre, il y a une forte augmentation (+137%) des coûts des consommables dûs à l'utilisation du FIB et une plus grande utilisation des AFM notamment par le personnel de TEAM (projet nano).

## 5.2. Prévisionnel 2014

- Réparation du tencor P15+maintenance P16 : 5000€
- Maintenance LEXT : 2600€
- Maintenance AFM : 9850€
- Achat pointes AFM : 6000€
- Intervention pour MEB S-4800 : 10000€
- Mise en place d'un ordinateur « référent »+ disques durs : 1000€
- Mise en service des appareils de caractérisations de Freescale (hors infrastructure) : 13700€
- Suppresseur et extracteur FIB et source LIMS : 5500€
- Achat de pointes (résistivimètre) : 3000€

Prévisionnel si pas de panne majeure: 51700€

Ce montant est supérieur aux années précédentes pour 2 raisons :

- Le contrat de maintenance de l'AFM et l'arrivée du FIB qui ont un coût relativement important.
- Un vieillissement des machines qui conduit à des pannes et des remplacements de pièces nécessaires.

## 6. EVOLUTION DES PROCÉDES

Utilisation du FIB:

- Manipulation de nano et micro-objet
- Adjonction de métal localisé (motifs nanométriques)
- Gravure localisé (motifs nanométriques)

Reprise de service pour le PECS permettant la métallisation pour la microscopie (échantillons isolant et biologiques).

Mise en place des heures « soleil » permettant un nettoyage plus poussé des appareils et une vérification plus régulières des calibrations.

## 7. FORMATIONS

Toute personne travaillant en salle blanche est formée au Tencor ; c'est l'outil le plus accessible en termes de mesure de couches, cela représente environ 60 formations pour 2013.

Pour le microscope interférométrique (WYKO), les 4 pointes, les ellipsomètres et le digidrop, il n'y a pas de décompte précis mais cela représente plus de 150 formations personnalisées en 2013.

- 10 personnes ont été formées sur les AFM (4h en moyenne),
- 29 sur les MEB (3h en moyenne)
- 10 sur le FIB (dont 6 sur la partie MEB seulement / 4 à 8h de formation)
- 4 sur le LEXT (2h en moyenne)

## 8. BILAN

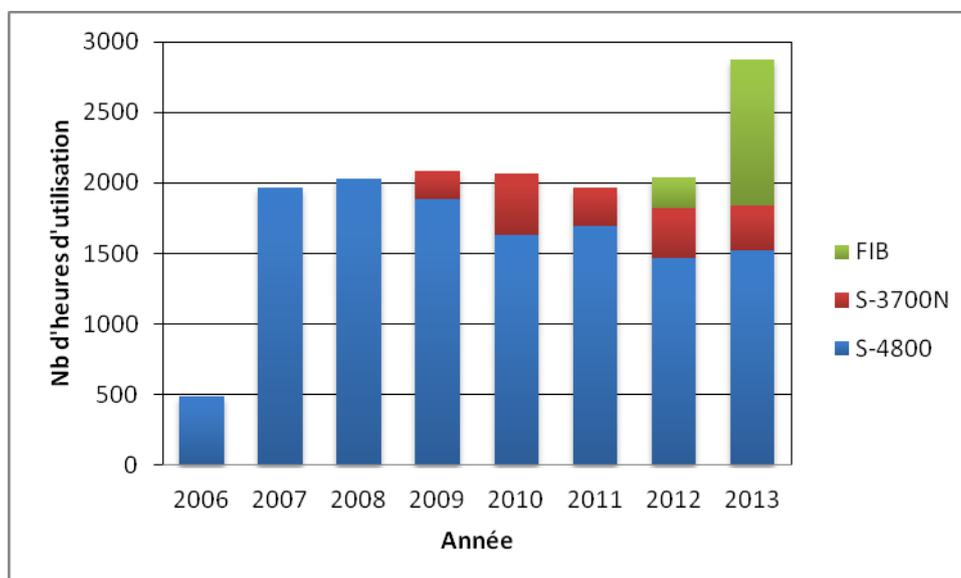
Les deux profilomètres mécaniques sont utilisés à environ 35% de leurs capacités par l'ensemble des groupes de recherche, il y a cependant de fortes demandes à des périodes précises.

Les 4 pointes et le digidrop sont utilisés régulièrement mais sur des temps très court ce qui correspond à des temps d'utilisation très faible (15%).

Les microscopes sont assez sollicités (25%).

Les ellipsomètres sont de plus en plus utilisés notamment pour qualifier les couches de dépôt CVD et ALD (25%).

Pour les AFM, les MEB, le FIB et le LEXT, les réservations se font en ligne aux travers du système de réservation GRR, ce qui nous permet d'obtenir un ordre de grandeur d'utilisation (à 10% près).

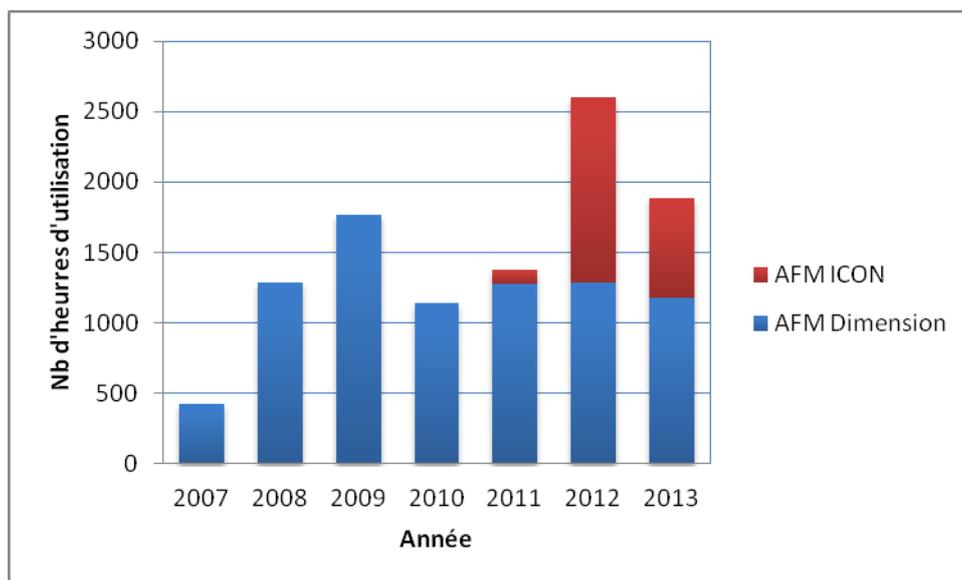


Utilisation des machines de microscopie électronique et ionique

On observe une stagnation de l'observation par microscopie électronique mais le S-4800 reste saturé. De plus en plus de personnes utilisent le S-3700 pour du contrôle de procédé polymère de fortes épaisseurs, généralement pour des observations courtes. L'arrivée du FIB cette année a permis de développer les aspects de caractérisations de composants après fabrication (35% des demandes sur des composants finis / contrôle de défaillances,...).

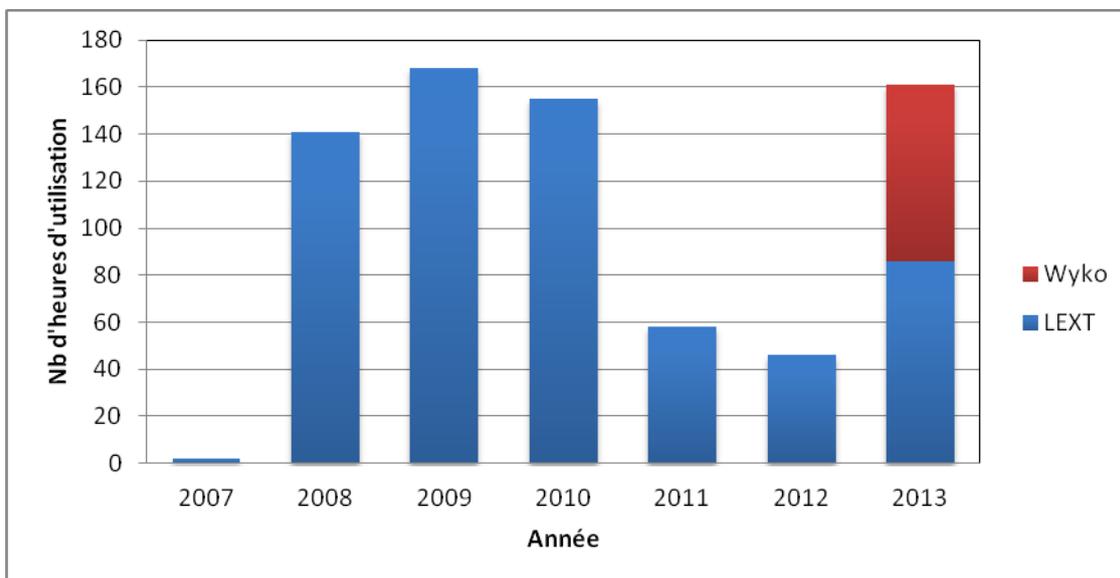
Ces appareils sont robustes ce qui permet de n'avoir que peu de maintenance actuellement.

Bilan 2013 des zones



Utilisation des machines de microscopie à champ proche

L'arrivée de l'AFM ICON a permis de répondre à la demande, malgré cela, ces équipements sont énormément utilisés. Cette année, l'utilisation de l'AFM ICON a diminuée à cause de la casse de la tête ce qui a provoqué un arrêt de 3-4 mois.



Utilisation des profilomètres optiques

On observe une baisse de la demande en 2011 et 2012, cela vient plus du fait de pannes en 2011 et que les utilisateurs oublient de s'inscrire plus que d'une réelle sous utilisation.

Chaque équipement est spécifique et cela demande des connaissances pointues pour la plupart des machines. Le temps de formation initiale pour l'ensemble de ces équipements est évalué autour de 280h pour 2013.

## 9. *PROSPECTIVE*

- Mise en place du TXRF pour la mesure de contamination.
- Formation aux modules électriques de l'AFM.
- Mise en place d'un ordinateur référent pour faciliter la gestion informatique des données.
- Mise en place de didacticiel de formation.

## 10. *CONCLUSION GENERALE*

Entre les différents appareils, la caractérisation des couches et des procédés finis se fait sans problème. L'arrivée de la TXRF sera un plus dans la lutte contre les contaminations.

Toutefois ces équipements nécessitent un fort investissement pour la formation et le suivi des utilisateurs.

La présence d'un responsable de zone pérenne est une nécessité absolue !!!!!

## ASSEMBLAGE

### 1. EQUIPEMENTS

Equipement	Année d'achat	Valeur d'achat (€)	N° inventaire
DAD321 (scie diamantée)	2001	65000	6783_MEC
KS HR 100 (scribber)	1989	10000	-
SET (scribber)	1987	10000	-
MPS 2R300 (grinder)	2005	60000	7972_W
Logitech PM5 (Polisseuse)	1998	61000	-
Tresky 4907 (report/collage)	1998	33600	-
Tresky 3000 (report /collage)	2006	19000	8096_W
SET tr5230 (testeur pointes)	1990	38000	-
K&S 6482 (eutectique)	1985	23000	-
Tpt HB 16 (Wedge Alu / Au / ruban / Ball Au)	2006	33540	8333_O
K&S 4526 (Wedge Au/Alu 17-75µm)	2009	20000	9736_W
K&S 4700 (wedge/ ball Au/ Alu)	1988	23000	9533_EV
Memmert (étuve)	2000	460	8373_W
Horo (étuve)	1980	460	-
Thetys (étuve)	1999	460	-
Logitech WSB1 (collage substrat)	1998	30500	-
Hottes (Flux laminaire)	2006	20000	7849_CV et 7848_CV
SETsc910 (eutectique)	1988	23000	-
IM 300 (micro-injecteur)	1999	1000	9480W
UH 115 (Mont/wafer)	2006	40200	8371_W
UH 117 (Net/wafer)	2006		8372_W
CDP41 (Polisseuse)	2005	107640	8006_W
FC 150 (Flip chip)	2001	244000	7028_PV et 7027_PV
AML WB4 (soudure substrat)	2005	110000	7840_W
Shipleys360 (Lamineur)	2004	4500	-
DEK horizon01i (sérigraphie)	2007	185000	8957_W
Fischione ultrasonique	2007	11408	8478_W
Plaque chauffante 350°C	2008	28000	7859_W
Four de refusion	2008	3815	9480_W
Viscosimètre	2009	2754	8747_CM
Jauge de mesure d'épaisseur	2010	10000	10005_P
Mesure de planéité	2010	15000	10005_P

Equipement	Année d'achat	Valeur d'achat (€)	N° inventaire
Wafer bonder SUSS (aligneur + bonder)	2011	376750	10144_PV
Lamineur Shipley360N	2011	prêt	NC
Polisseuse ESCIL pour AsGa ESC200	2011	3500	10040_W
Encolleuse ESSILOR		prêt	
Scribber AsGa	2013		10639_W

## 2. UTILISATEURS

MINC, MOST, PHOTONIQUE, NBS, N2IS, MICA, ISGE, MH2F, RENATECH, I2C, MPN.

## 3. REFERENTS TEAM ET ORGANISATION

- Monique Dilhan (IR) Responsable
- David Colin (AI)
- Samuel Charlot (IE)
- Séverine Viviès (CDD AI)
- David Jugieu (CDD IR)

Pour chaque action, le demandeur remplit une fiche de renseignements en interaction avec le personnel intervenant sur la zone. Cette fiche permet de préciser la demande et détailler le substrat sur lequel l'action doit être réalisée. Toutes les actions réalisées sont archivées avec les principaux paramètres de réalisation sur un tableau de sauvegarde.

Certains équipements sont en libre-service pour un nombre de personnes limité. Ce choix de personnes se fait en prenant en compte le temps à investir pour la formation et le gain que cela entraîne par rapport au volume de travail à réaliser.

Pour les opérations génériques, S Charlot et D Colin assurent le soutien de tous les groupes sans exclusivité.

S Viviès et D Jugieu sont à 90% sur les projets qui financent leur CDD et 10% sur des activités d'intérêt général.

Pour les techniques spécifiques, chacun est plus particulièrement impliqué à des degrés divers.

- David Colin : Grinder-Wafer bonder-Polissage
- Samuel Charlot : Sérigraphie-FC150- Wafer bonder
- Monique Dilhan : Wafer bonder-Polissage
- Séverine Vivies : Wafer bonder-Polissage
- David Jugieu : FC150

## 4. MAINTENANCES

### 4.1. Maintenances

- *Wafer bonder* : Plusieurs interventions sur le logiciel et l'équipement ont été nécessaires pour régler les différents problèmes. Il restait un problème sur le système de support de wafers qui se grippait au bout d'une dizaine de process. Nous avons acheté un support « nouvelle génération » pour remédier à cela.
- *Lamination* : Rechapage des rouleaux des 2 machines, vérification et graissage des axes, mise en place d'un système d'ionisation pour la plus grosse des machines et mise sous extraction.
- *Flip chip* : une maintenance préventive a été effectuée au vue de l'évolution d'un procédé d'assemblage particulier avec une précision d'alignement importante. Les modifications ont été apportées sur les paramètres machines et le chuck.

### 4.2. Réparations :

- La sonotrode de l'équipement (KnS 484) de soudures filaires (wedge Alu et Or) a été remplacée.
- Un équipement équivalent a été acheté d'occasion (1000€) à terme pour les pièces détachées. Pour le moment, il fonctionne aussi.

## 5. BUDGET

### 5.1. 2013

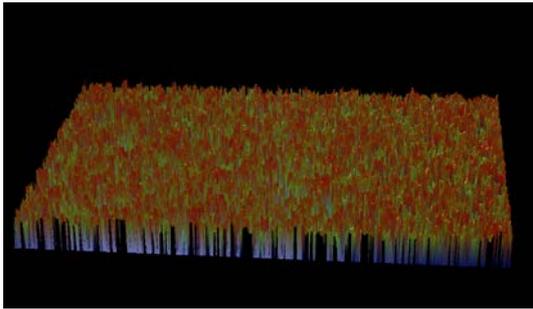
- Consommables : 16152€
- Maintenance : 18275€

### 5.2. Prévisionnel 2014

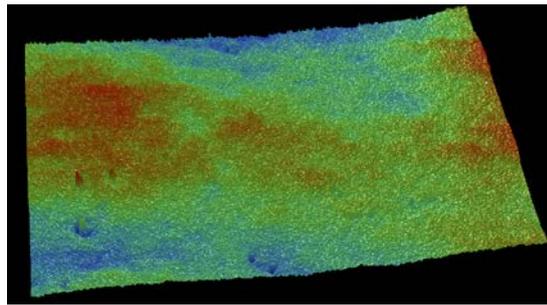
- Consommables : 20800€
- Maintenance : 17270 €

## 6. EVOLUTION DES PROCÉDES

- **Rédaction d'un rapport sur la mise au point d'un procédé d'amincissement de wafer Si**
- **Rédaction sur le mode opératoire de la machine de flip chip FC150 (n°13545)**
- **Rédaction d'un rapport sur la mise en œuvre et la structuration de film souple en polyimide (n°13098)**
- 
- Fabrication de masques en Kapton du commerce structuré par laser au LAAS pour le dépôt par sérigraphie.
- Développement de masque en polyimide structuré pour la gravure profonde de la silice fondue.
- Mise au point d'un procédé de polissage optique de wafer de Si
  - Amincissement jusqu'à 100 µm puis polissage

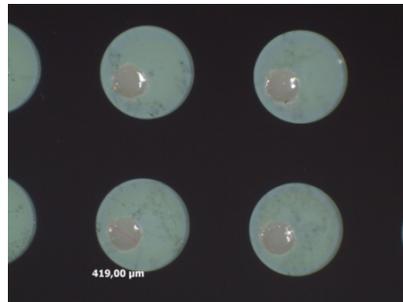


Etat de surface après amincissement  
Ra : 3000A

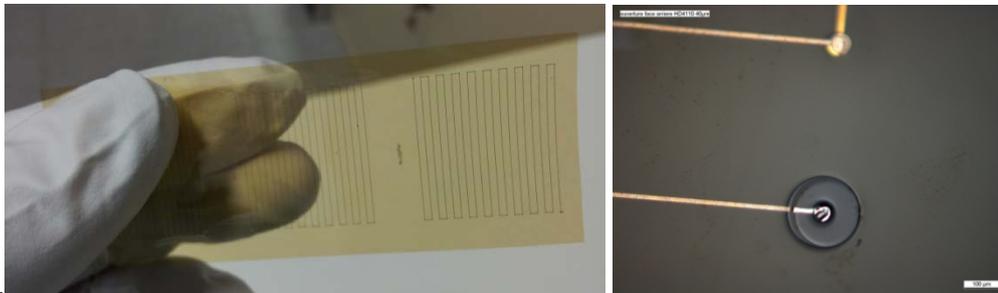


Etat de surface après polissage  
Ra : 10A

- Sérigraphie : travail en commun avec le Cirimat et le Laplace pour la réalisation d'une pate ayant les bonnes propriétés rhéologiques et l'obtention d'un dépôt maîtrisé sur des membranes.



- Substrat souple : développement d'un substrat en polyimide multicouches avec des vias traversants



## 7. FORMATIONS

- Les formations sont de deux types : théoriques (cours TEAM + Licence Pro) et pratiques sur les équipements et procédés dispensés par M Dilhan/S Charlot (2h/ 2fois).

### Formations dispensées

- Utilisation de la microsouduse TPT (3 personnes, 4H/personne)
- Utilisation de la microsouduse 4526 (5 personnes, 4H/personne)
- Utilisation des machines de report de puces (1 personne, 4H/personne)
- Utilisation de la FC150 (3 personnes, 3 journées/personne)
- Utilisation de la CDP (2 personnes, 2h/personne)
- Utilisation du wafer bonder AML (7 personnes, 2H/personne)

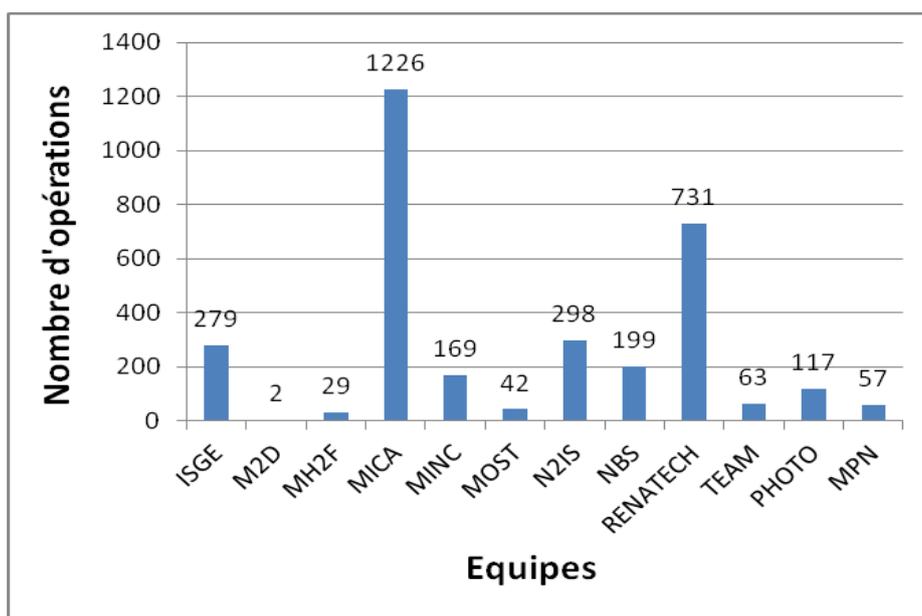
Cela représente un total de 21 personnes et 74 heures.

**Formations reçues :**

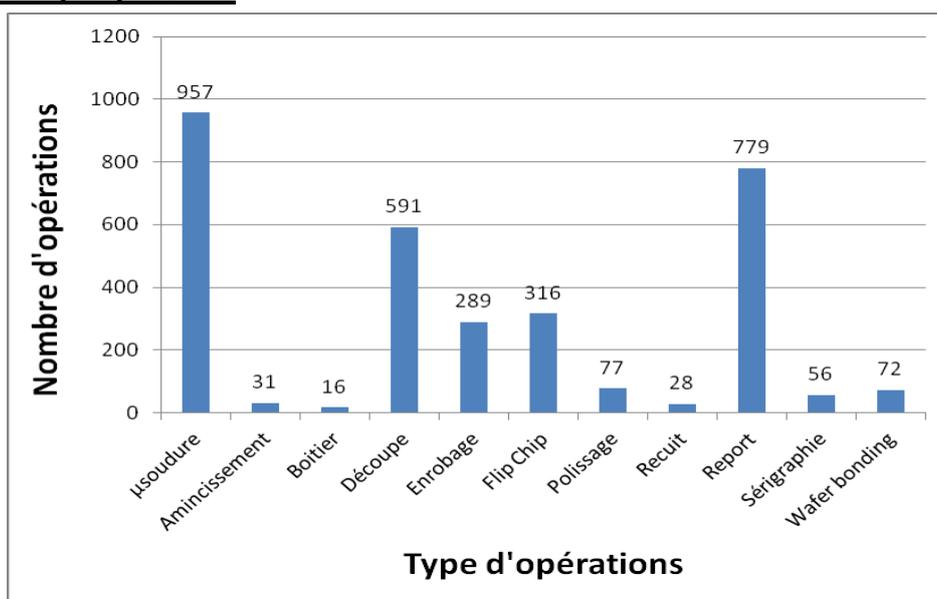
- La soudure filaire (3 personnes/ 2 jours)

**8- BILAN**

**8.1. Bilan par équipes :**

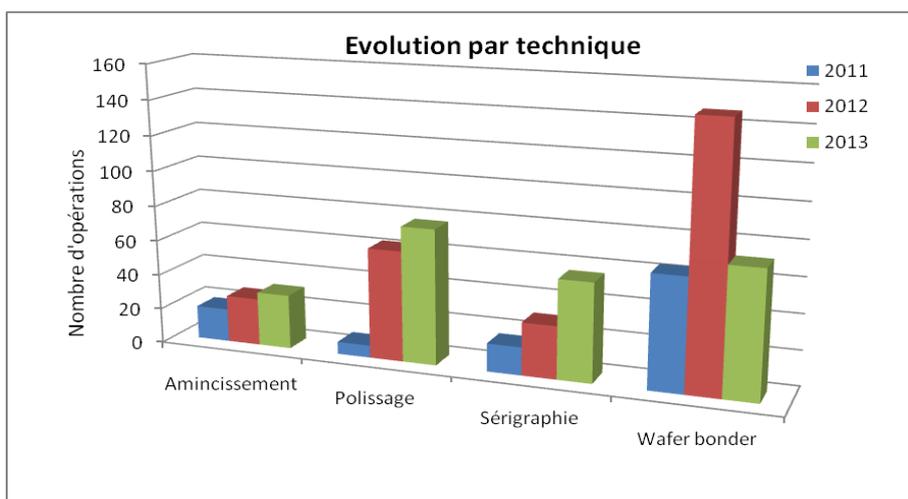
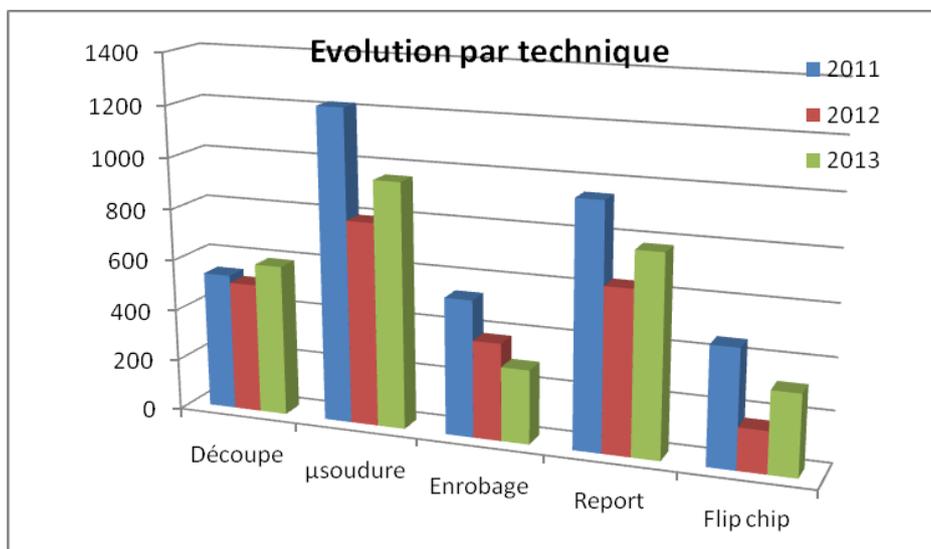
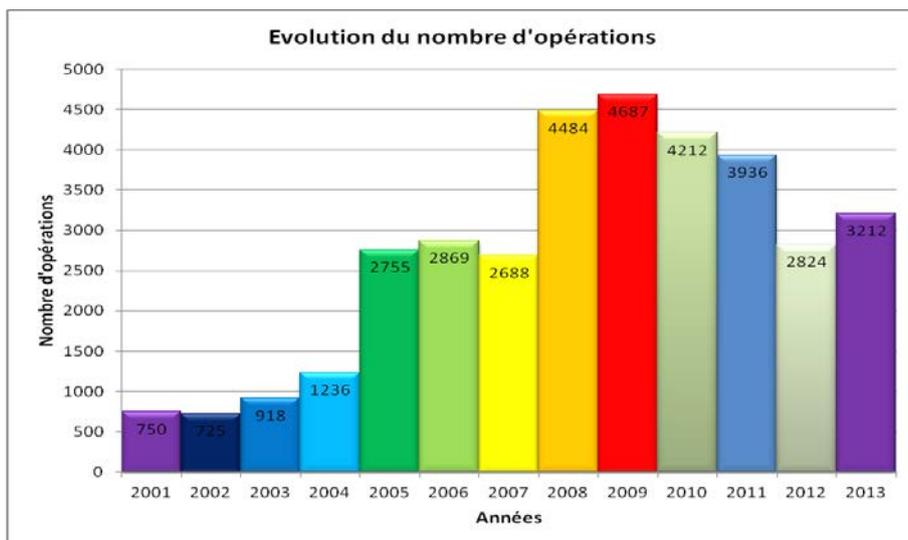


**8.2. Bilan par procédés**



**8.3. Evolution au cours des dernières années**

Bilan 2013 des zones



8.4. **Analyse :**

Le nombre total d'opérations est de 3212 soit une hausse de 13,74% par rapport à l'an passé. Cette augmentation est due à une forte hausse (+22%) de l'activité RENATECH qui est passé

de 185 opérations en 2012 à 731 cette année. Le volume de l'activité interne est identique à l'an passé.

On retrouve l'influence de cette forte activité RENATECH sur la répartition par technique.

Les techniques en forte hausse sont les techniques classiques d'assemblage : la microsoudure filaire (+20%), le report (+22%) et surtout le flip chip (+92%), largement utilisés dans le cadre du projet RENATECH ESSILOR.

Les technologies complémentaires (amincissement (+14%), polissage (+22%) et sérigraphie (+86%)) sont aussi en augmentation bien que peu utilisées dans l'activité RENATECH. Il s'agit là d'une augmentation de la demande interne, commencée en 2012.

Concernant le wafer bonder, les chiffres de cette année correspondent à une utilisation de l'équipement pour des projets et non à des procédés de mise au point. L'an passé, il s'agissait de tests pour résoudre les différents problèmes techniques rencontrés.

## 9. PROSPECTIVE

### 9.1. Equipements :

- Flip chip : La nécessité d'investir dans la technique de flip chip est évidente : utilisation en hausse et pannes récurrentes. L'achat d'un nouvel équipement permettrait de développer de nouvelles techniques d'intégration (soudure ultrasonique ou thermosonique, report précis par reflow, report par eutectique, plus de force pour la thermocompression, surface de 6 pouces pour le chuck. (estimation 500 k€)
- Microscope Acoustique pour observation non destructive des bumps, vias, et de toute structure multicouche.(estimation 200 k€)
- Equipement de Pull&Shear pour valider les soudures (filaire, anodique, eutectique...) (estimation 50 k€)

### 9.2. Procédés :

- Mise au point de procédé de polissage pour d'autres matériaux que le silicium comme le cuivre, le polyimide...
- Remise en service de la polisseuse CDP
- Etude et mise au point des procédés de thermocompression et de soudure eutectique dans l'équipement de wafer bonding.
- Mise au point d'un procédé de soudure anodique basse température
- Mise au point d'un procédé de soudure de wafer de silice fondue pour le masquage de la gravure plasma
- Rédaction d'un protocole de soudure filaire

### 9.3. Environnement :

Dans le cadre de la lutte contre les contaminations, nous avons effectué des mesures de contamination particulaire dans la zone d'assemblage qui ont montré que certaines activités de cette zone génèrent un nombre important de particules.

Le déménagement des activités « polluantes » et des activités ne nécessitant pas un environnement propre a été acté dans la salle anciennement dédiée à la robotique et la surveillance à domicile.

## Bilan 2013 des zones



Des travaux de nettoyage et de peinture des murs, sols, plafonds ont été réalisés. Les réseaux fluides scientifiques (N<sub>2</sub>, Air sec, Vide, eau DI, eau de ville) ainsi qu'une évacuation des eaux usées ont été raccordés. Le déménagement des plans de travail, des équipements, des hottes chimie et la finalisation de toutes les connexions (électrique, fluidique, extraction ...) sont prévus fin février.



Les moyens concernés par le déménagement sont :

- La découpe ( scie diamantée, système de montage et système de nettoyage de wafer)
- La soudure filaire ( tous les équipements de soudure filaire K&S et TPT)
- Le report de composants (2 Tresky, SET910 (eutectique))
- Les scribber (Si et AsGa)
- Les étuves
- Le polissage (Escil, PM5, CDP, WSB1)
- L'amincissement (Grinder)

La place libérée permettra d'installer :

- les laminateurs dans la zone d'assemblage.
- la paillasse KOH ainsi qu'une paillasse pour les développeurs alcalins
- une paillasse dédiée aux nettoyages des wafers avant soudure.

## 10. CONCLUSION GENERALE

Après 3 ans de diminution, l'activité de la zone Assemblage est en hausse (+13.74%) : cette hausse est essentiellement liée à l'activité RENATECH et en particulier au projet ESSILOR. Si on exclut ce besoin particulier, la demande interne en technologie classique de montage de composants est identique, les techniques complémentaires sont en hausse. C'est le fruit des investissements et développements passés. Les développements prévus cette année concerne Le développement de ces technologies : polissage d'autres matériaux que le silicium, soudure de wafers de silice fondue pour le masquage en gravure plasma.

Il convient enfin d'insister sur le fait que l'activité d'assemblage au LAAS n'a aucun équivalent dans les autres centrales du réseau Renatech. Cette activité justifie pleinement la pertinence de la politique conduite depuis des années pour le développement des techniques d'assemblage qui nous permettent d'envisager la réalisation de systèmes complets.

## 11. ANIMATION DE LA FILIERE SUBSTRATS SOUPLES

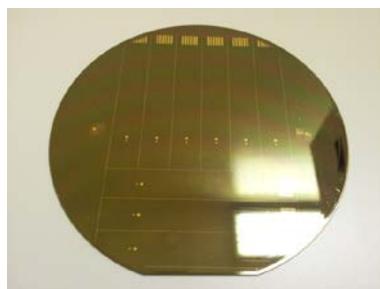
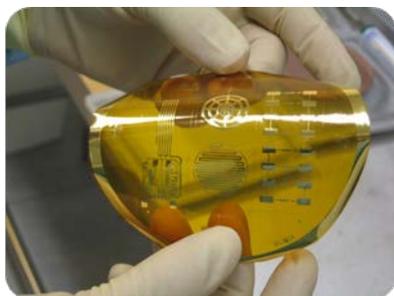
Pour faire suite aux initiatives lancées lors de la COMTEAM 2013 nous avons initié puis animé un groupe de travail ouvert à tous portant sur les besoins et la prospective commune de technologies dans la « filière » des substrats souples

2 réunions ont été organisées autour de l'intégration sur substrats souples L'objectif était de faire un état des lieux des différents travaux. Elles ont réuni une vingtaine de participants.

Les différents développements technologiques ont été présentés.

De façon synthétique, on note l'utilisation de 2 types de matériaux :

- les flex commerciaux
- Les films souples réalisés en salle blanche

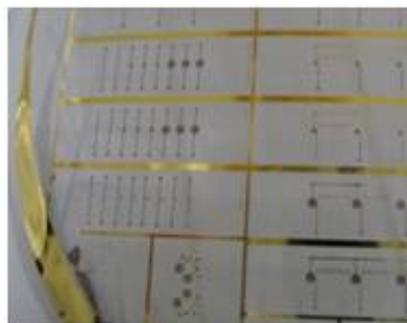
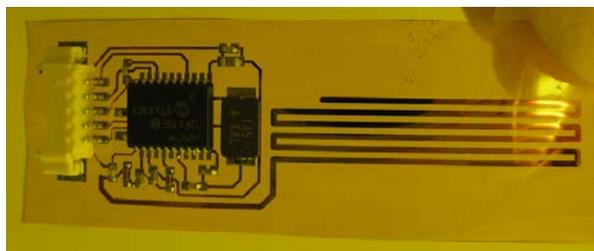


La compatibilité avec différentes techniques de la salle blanche (photolithographie, métallisation, passivation, sérigraphie, flip chip) a été validée. Les films réalisés présentent un état de surface de meilleure qualité que les films commerciaux et cela permet de réaliser des motifs plus résolus et d'aligner différents niveaux.

Concernant les projets, 7 projets ont été présentés

On a pu identifier 2 types d'utilisation :

- Montage de composants pour réaliser un système complet (MINC, GE, N2IS)
- Réalisation de composants (microfluidique, électrodes, muscles artificiels) sur / dans le substrat (N2IS, NBS, MICA)



Un questionnaire sur les besoins futurs a été envoyé aux différents participants. Malgré des relances, peu de retour nous sont parvenus.

TEAM poursuit les développements technologiques sur le film polyimide réalisé en salle blanche (réalisation de vias et métallisation double face) avec pour objectif de pouvoir faire du multicouches.

**CHIMIE****1. EQUIPEMENTS**

Equipement	Année d'achat	Valeur d'achat (€)	N° inventaire
Tournette RC8	2000	23000	7852_CV
Hotte chimie exploratoire	2008	13950	8474_W
Poste de nettoyage RCA et piranha collectif 6 ''	2005	122000	8475_W
Poste de nettoyage RCA et piranha collectif 4 ''	1990	61000	-
Poste chimie GaAs	2005	23000	8473_W
2 sorbonnes	2000	46000	-
Poste inox de délaquage de résine avec 2 bacs chauffants agités par ultrasons	2005	30500	7861_C
Hottes chimie • 1 poste de chimie technologie MOS • 2 postes de chimie	2005	46000	8472_W
Poste d'attaque collectif par Buffer HF pour technologie MOS	2005	21300	8471_W
Centrifugeuse Semitool avec rotor 4 pouce	1990	24400	7797_C
Centrifugeuse Semitool avec rotor 6 pouces	2005	33500	-
Equipement de nettoyage par UV/ozone	2013	12760	-
			7872_W

**Equipements de paillasse et divers**

- 1 centrifugeuse monoplaque
- 2 cuves à ultrason
- 1 sonificateur
- 3 agitateurs magnétiques chauffants
- 4 plaques chauffantes
- 3 agitateurs magnétiques non chauffants
- 1 agitateur type vortex
- 1 plateau d'agitation
- 1 balance précision 1mg
- 1 balance précision 1cg
- 1 congélateur -35°C
- 1 combi réfrigérateur – congélateur
- 1 microscope NIKON
- Divers : Verrerie, thermomètres, dessiccateurs
- Pompe chimique à membrane
- Cabine de douche de sécurité
- 2 armoires produits chimiques

## 2. UTILISATEURS

MINC, MOST, PHOTONIQUE, NBS, N2IS, MPN, MICA, MH2F, ISGE, RENATECH, TEAM

## 3. REFERENTS TEAM

- Responsable de zone : JB Doucet, IE.
- Nathalie LAUBER : Technicienne chimiste ITRF UPS BAP B MESR en ARTT de 8h/semaine au LAAS depuis le 04/11/2013

## 4. MAINTENANCES

- filtres de soufflettes, soufflettes, douchettes, témoins lumineux, robinets, joints, raccords
- Panne non réparable par nos moyens sur contrôleur tournette RC8 chimie exploratoire. Equipement expédié pour réparation en décembre 2013 en attente de retour.

## 5. BUDGET

### 5.1. 2013

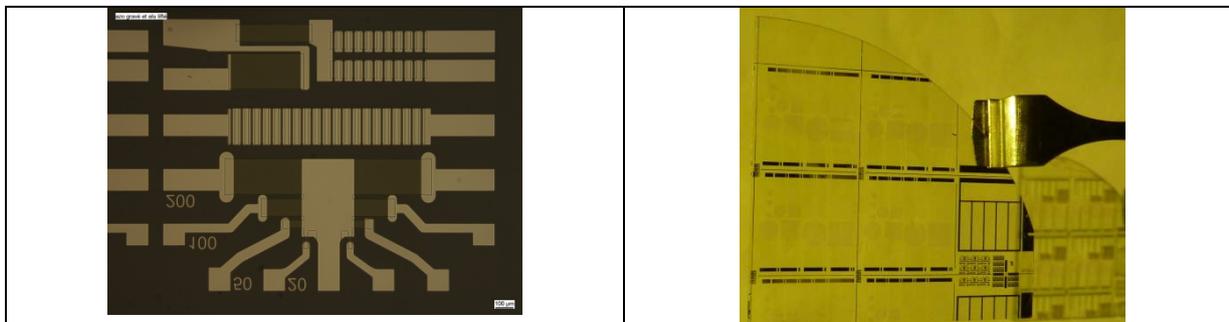
- Consommables (produits chimiques et retraitement déchets) 31817 €
- Maintenance (pièces détachées –réparations) 250 €

### 5.2. Prévisionnel 2014 hors refonte zone chimie

- Consommables (produits chimiques et retraitement déchets) 32000 €
- Maintenance 4500 €(réparations pannes, maintenances Semitool)

## 6. EVOLUTION DES PROCEDES

- Procédés spécifiques :
  - Développement d'encre fluides compatibles machine jet d'encre pour formation matrice microlentilles par inkjet
  - Mise au point gravures de TCO (stage Benoît Dugrenil)



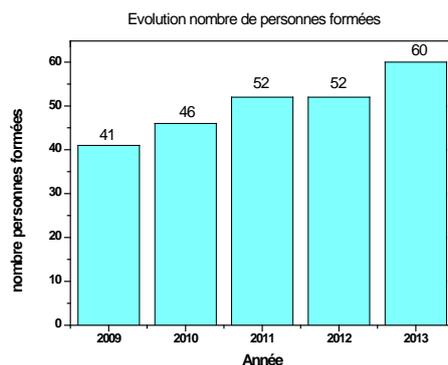
AZOgravé + contacts électriques aluminium pour OLEDS

## Bilan 2013 des zones

- Procédés génériques :
  - Optimisation résines de nanoimpression.
- L'acquisition d'un équipement de nettoyage par UV-ozone en libre service dans la zone permet de répondre par une solution douce et respectueuses des matériaux sous jacents à des problèmes d'élimination de contaminations organiques telles que des traces de résines réticulées résistantes aux solvants. La possibilité de dégrader plus ou moins partiellement des traitements de surface pour en contrôler l'énergie de surface est également offerte par cet équipement. Cela répond à des besoins qui ne pouvaient pas être satisfait auparavant. Par ailleurs cet équipement à permis de pallier au moins partiellement au manque de disponibilité des plasmas d'oxygène lors des pannes survenues fin 2013.

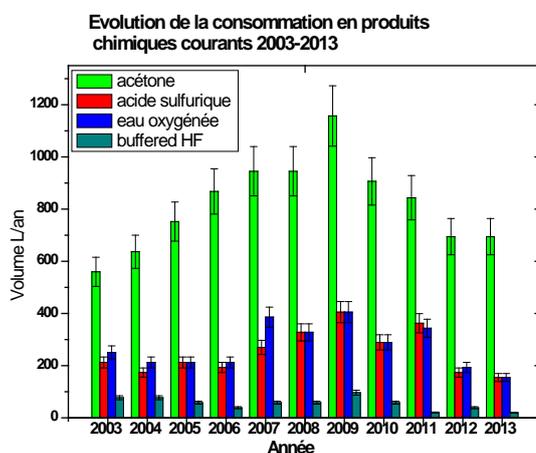
## 7. FORMATIONS

- 60 personnes (stagiaires, doctorants, chercheurs et ITA permanents, extérieurs) informées des risques chimiques existants, des moyens en place pour prévenir les incidents, du mode de fonctionnement de la zone chimie en 16 demi-journées
- 1 personne formée au nettoyage RCA  
1 cours team assuré (prévention risque chimique salle blanche)



## 8. BILAN

### 8.1. Evolution au cours des dernières années



## **8.2. Analyse :**

Le niveau de consommation en produits chimiques courants en 2013 est stable par rapport à 2012. Dans le même temps le nombre d'utilisateurs formés à l'utilisation de la zone chimie continu d'augmenter.

## **9. PROSPECTIVE**

### **9.1. Equipements :**

Plusieurs projets sont proposés au développement :

- Finalisation de l'espace de chimie exploratoire, (cabine pour poste de sonication, poste de chimie supplémentaire équipé d'une rampe à gaz pour travail en atmosphère protectrice)
- Acquisition d'un équipement pour la réalisation des lifts offs
- Restructuration de l'ancien poste de nettoyage RCA 4 pouces
- Suivi informatique des produits chimiques
- Extension de la zone chimie dans la zone de lithographie laser pour y intégrer la technologie mos
- Installation des centrifugeuses Semitool provenant de Freescale

Tout où partie de ces développements sont intégrés dans le projet de refonte de la zone chimie qui prévoit également d'autres aménagements (intégration de nouveaux postes de chimie selon capacité ou adaptation extracteurs, redistribution affectations des postes existants)

### **9.2. Procédés :**

- Traitements de surfaces localisés par micro contact printing
- Développement de nouvelles gravures humides et standardisation des gravures existantes
- Développement et tests de nouvelles résines ou de films pour applications en nanotechnologies
- Poursuite de la clarification ou de la rédaction des procédures classiques de la zone.
- Développements de nouveaux polymères adaptés aux projets
- Poursuite de la mise en place d'équipements destinés à lutter contre la dissémination des contaminations.
  
- Substitution de CMR par solvants moins toxiques : la mise au point des conditions permettant la substitution de la NMP (reprotoxique catégorie 2) par le DMSO (non toxique) doit être poursuivie. Cela n'a pas pu être fait en 2013 faute de financement pour un stage dédié à ce problème. Nathalie Lauber est motivée et volontaire pour travailler sur ce projet qui lui permettra de pratiquer les techniques utilisées sur la zone.

## 10. CONCLUSION GENERALE

Plusieurs points très positifs sont à souligner pour l'année 2013.

- La venue de Nathalie Lauber depuis novembre 2013 est une excellente chose qui va permettre d'améliorer progressivement l'aide directement apportée aux utilisateurs de la zone chimie notamment en augmentant la présence sur zone d'une personne chimiste de formation et qui se forme de manière active et volontaire aux micro et nanotechnologies. Il serait cependant préférable d'étendre son temps de présence au laboratoire au-delà des 8 heures hebdomadaires prévues à l'heure actuelle (idéalement jusqu'à un temps plein au LAAS).
- La mise en place des « heures soleil » est également très bénéfique pour la qualité du service rendu dans la zone chimie. L'implication volontaire et enthousiaste de nombreux utilisateurs permet de mieux maintenir l'ordre et la propreté dans la zone dans l'optique d'une meilleure disponibilité des produits et équipement et de la lutte contre les contaminations. Par ailleurs cela permet aux participants de réactualiser leurs connaissances pratiques de l'utilisation de la zone chimie (où trouver les produits, comment évacuer les déchets selon leur nature, comment maintenir un espace de travail propre). Il serait cependant bon que d'autres intervenant que ceux qui ont pris l'habitude de venir participent également.

Deux points doivent être améliorés et pour lesquels des analyses et des actions sont lancées

- Amélioration des bacs de rinçage
- Procédure d'utilisation des différentes pinces.
- Enfin parmi les améliorations apportées au fonctionnement de la centrale de technologie se trouve la mise en place du logiciel de réservation GRR. Simplifiant grandement la réservation des équipements l'utilisation de ce logiciel est un progrès évident. Cependant s'il est très efficace pour la réservation des gros équipements (poste de nettoyage RCA 6 et 4 pouce) il est d'utilisation moins évidente pour la plupart des opérations réalisables en zone chimie. Les petites opérations de nettoyage (nettoyages par jet de pissette de solvant, autres nettoyage ou délaquage non collectif) ou certaines opérations de gravure ne prennent souvent que quelques minutes et il n'est pas toujours facile de prévoir longtemps à l'avance le moment où elles vont intervenir.

**ELECTROCHIMIE**

<b>1- EQUIPEMENTS</b>			
<b>Equipement</b>	<b>Année d'achat</b>	<b>Valeur d'achat (€)</b>	<b>N° inventaire</b>
Hottes flux (x2)	1996	22 000	5881 7212_CV-
Hottes flux (x4)	2008	38 720	9081_W 9083_W 7798_C 7774_CV
Réacteurs RENA	2004	219 000	-
Générateur de courant 1 A	1996	5 000	-
Générateur de courant 2 A	1999	12 500	-
CVS + Titration	2007	15 000	8686_W
AAS	2008	15 900	9096_W
6 agitateurs	2006	9 000	-
Bac à Ultra sons	2008	700	-
Agitateur 3D	2008	600	-
Béchers, électrodes...	2008	1 000	-
bacs thermo-régulé sur la paillasse KOH	2009	30 550	9680_CE
bacs thermo-régulé sur la paillasse Anodisation	2009	27 000	9679_CE
bacs thermo-régulé sur la paillasse traitement de surface	2009	33 400	9681_CE
Générateur de courant pulsé 50 A	2009	7 280	-
Générateur de tension 300V	2009	2 747	-
Support wafer RENA contacts face arrière	2009	3 900	-
3 supports avec protection face avant gravure KOH et TMAH	2009	3 999	-
Réacteur Or RENA 6 Pouces	2010	90 000	9925_CE

**2- UTILISATEURS**

MINC, MOST, N2IS, MNP, NBS, ISGE, RENATECH

**3- REFERENTS TEAM**

- David Bourrier IE (responsable de zone)
- Sylviane Baster AI (CDD)

La gestion des équipements se fait grâce aux plannings qui permettent d'organiser au mieux l'activité. Ce planning a été transféré sur l'application GRR.

Le manque de place ne nous permet pas de laisser en service tous les équipements : les bains de NiFeCo, Platine, anodisation... occupent un même emplacement. En fonction des demandes, nous planifions le roulement.

#### 4- MAINTENANCES

##### 4.1. Maintenances

- Résistance Bac KOH
- Spectromètre d'Absorption Atomique AAS

##### 4.2 Incident

- Rena Or :  
Suite à une maintenance sur le réseau d'EDI une surpression a engendré un apport en eau dans le bain plus important que la normale. Le bain a été fortement dilué. Nous avons pu rétablir les concentrations optimum des différents additifs et ions d'or pour revenir à la normale en termes de qualité de dépôt.
- KOH :  
Suite à une fuite dans la double paroi du bac, la résistance de chauffe a grillé. La maintenance a été effectuée fin 2013 et le bac testé début 2014, mais le problème persiste, le bac a été renvoyé chez le fournisseur pour une nouvelle expertise.

#### 5- BUDGET

##### 5.1. 2012 2013

- Consommables 4850 €
- Maintenance 7000 €
- Support 1485€

##### 5.2. Prévisionnel 2013

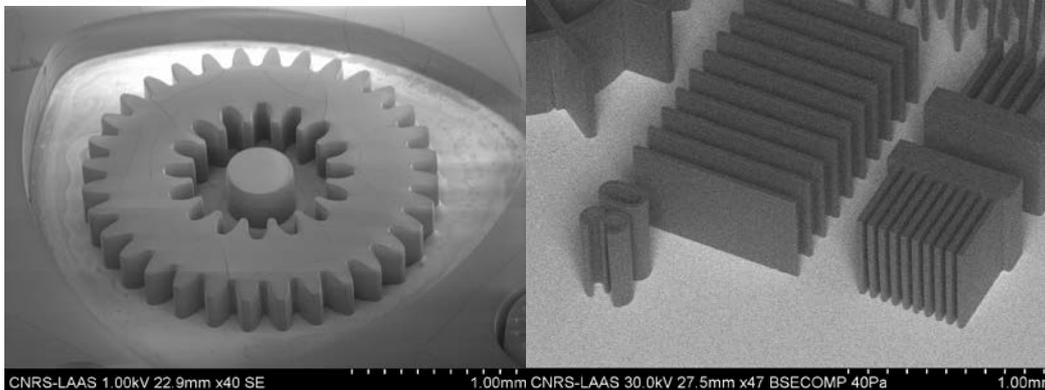
- Consommables 8000 €
- Maintenance 5000 €

##### 5.3. Commentaire

Les deux maintenances n'étaient pas prévues dans le budget 2013 (la maintenance de l'AAS et d'un bac KOH.)

## 6- EVOLUTION DES PROCÉDES

### Résines Ultra-Epaisse



- a) Micro-engrenage en cuivre (300 $\mu$ m) dans une résine BPN de 500  $\mu$ m  
b) Motifs de résine de 30  $\mu$ m de large sur 500  $\mu$ m d'épaisseur

Le fournisseur a stoppé sa production de résine à forte viscosité permettant de réaliser les moules au-delà de 100 m. Tous les procédés ont dû être ré-étalonnés avec une viscosité moins importante. Dans un premier temps pour retrouver les bons paramètres afin d'obtenir les bonnes épaisseurs. Dans un deuxième temps un plus gros travail sur les définitions des paramètres optimum de recuit et d'insolation pour retrouver des flancs verticaux.

### Recyclage Or :

Nous avons défini un protocole d'attaque des couches d'or en grand volume. Le but est de faire recycler l'or de nos wafers rebus pour obtenir de nouvelles charges d'or pour les bâts d'évaporation ou pour le bain d'or électrolytique. En 2013 nous avons pu recycler 500 wafers. Pour faciliter la récupération des wafers avec des couches d'or, une poubelle spécifique est disponible en zone chimie juste à côté de celle dédiée au silicium et ces dérivés.

### Dépôt électrolytique d'or inférieur au $\mu$ m :

Le besoin de couche d'or d'épaisseur inférieur au  $\mu$ m a été recensé durant l'année 2013. Le but étant d'avoir une meilleure couche de protection durant certaine gravure plasma, mais aussi pour obtenir une meilleure soudabilité du cuivre électrolytique. Nous maîtrisons les dépôts d'or à partir de 100nm

### Remplissage de Via :

Suite à la présentation de la zone au pole minas, une réunion a suivi avec les différentes équipes intéressées. Il en est ressorti un futur besoin en remplissage de vias que cela soit dans des polymères ou des substrats silicium. Nous avons repris les tests fin de l'automne 2013, en redéfinissant un bain répondant aux besoins, en qualifiant toutes les analyses chimiques permettant de maintenir une bonne qualité de dépôt et en réalisant les tous premiers tests. Ces développements vont être fortement poursuivis cette année.

### Protocole :

Les protocoles d'utilisations des appareils de caractérisations chimiques d'AAS, de CVS et de titration ont été finalisés et publiés en rapport interne.

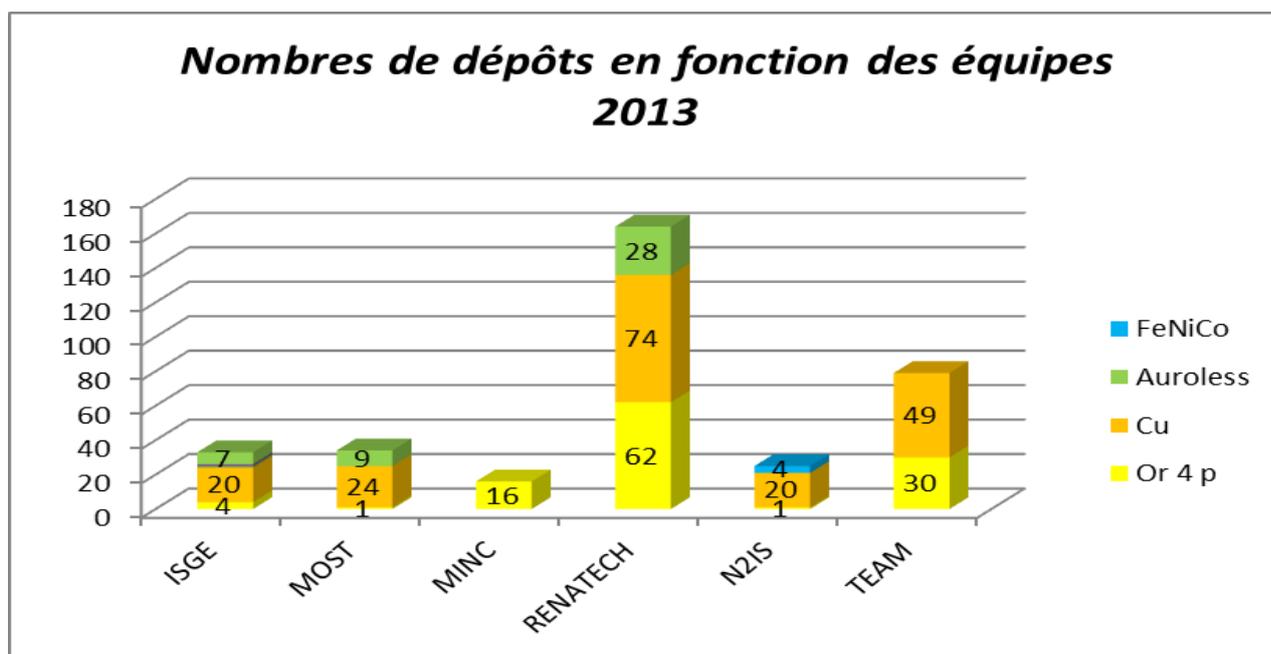
Des protocoles d'utilisations des machines de dépôt aussi bien manuel que semi-automatique sont en cours de finalisation en vue de leur publication en rapport interne.

## 7- FORMATIONS

- Deux cours TEAM sur les dépôts électrolytiques et la gravure anisotrope en cours de préparation.
- Formation de 5 personnes sur les équipements KOH-TMAH à raison d'une demi-journée par personne ce qui représente un volume de 2,5 jours.
- Formation et encadrement d'une AI CDD.

## 8- BILAN

### 8.1. Bilan par groupes utilisateurs :



Cette année l'électrochimie a été sollicitée par 4 équipes du LAAS en plus des demandes Renatech. Team a pris en charge le développement des dépôts d'or inférieur au  $\mu\text{m}$  et le développement du remplissage de via ce qui explique qu'il soit le deuxième utilisateur.

Cette année a confirmé la forte demande de l'électrochimie dans les projets Renatech. Il y a eu 5 projets demandeur de cette ressource. Les demandes ont doublé par rapport à 2013 cela représente 51% des dépôts réalisés. Ces demandes sont reconduites pour 2014 et devraient représenter au moins autant de dépôts.

#### Bilan par technique ou équipement

On retrouve 2 thématiques principales :

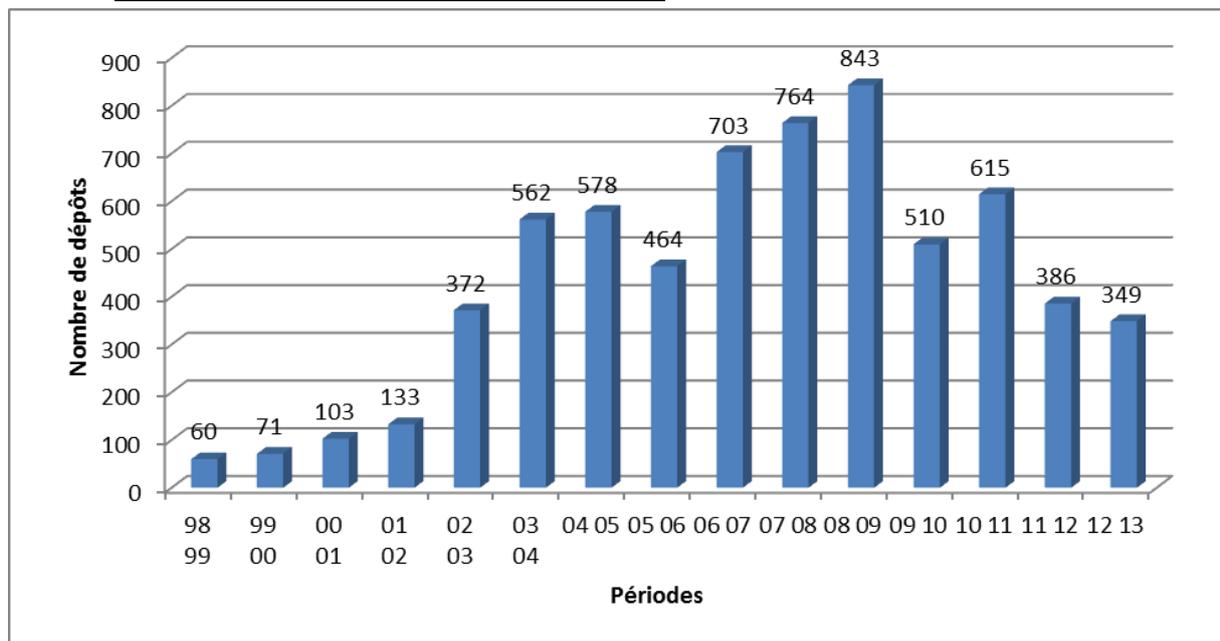
- Les MEMS (MINC & RENATECH) : principaux demandeurs de dépôts d'or

- Les bobines en cuivre pour des applications diverses : l'électronique de puissance (ISGE), la microfluidique (N2IS), les composants hyperfréquences (MOST) , Renatech...

Autour de ces principaux axes, on trouve des applications diverses et moins conséquentes en volume d'activité : Dépôt ponctuel de FeNiCo pour un projet de l'équipe N2IS et la reprise des développements du via filling avec un bain spécifique.

Les dépôts de Platine,SAC, FeNiCo seront en standby pour 2014 par manque de demande.Si de nouveaux projets expriment un besoin, nous pourrons reprendre le dépôt de ces matériaux.

## 8.2. Evolution au cours des dernières années



### Analyse pour l'électrochimie:

Cette année le nombre de dépôt a un peu diminué comparé à 2012.

Au sein du LAAS les demandes ont fortement diminué. Par contre le savoir-faire du LAAS commence à se faire connaître, via différentes interventions ou par le bouche à oreille. Ce qui a permis d'avoir une forte demande via les projets Renatech aussi bien pour des laboratoires que pour des entreprises.

L'embauche de Sylviane Baster en CDD a permis de finaliser tous les protocoles d'analyses de la zone et d'en débiter de nouveaux. Elle a permis également de dégager du temps pour reprendre les développements sur le remplissage des vias et la poursuite des développements sur les résines ultra épaisses. Son poste a été reconduit pour 2014 nous allons ainsi pouvoir poursuivre tous ces développements.

Cette activité était jusque-là sans équivalent dans les autres centrales du réseau Renatech. Pour la deuxième année consécutive, il y a eu beaucoup d'échanges avec l'IEMN qui a souhaité s'appuyer sur notre expertise. Ils ont fait l'acquisition de bâtis de dépôt RENA d'or et de cuivre. Mais pour des tailles de substrat 2 et 4 pouces alors que nous sommes en 4 et 6

pouces. Cela permettra une complémentarité des équipements de dépôts au sein du réseau Renatech.

En 2013 pour dégager du temps pour les développements communs à plusieurs projets, les développements très spécifiques (alumine anodique, silicium poreux, RuO<sub>2</sub>...) qui ne concernent qu'un seul projet ont été développés par les chercheurs du projet avec les membres de la zone en soutien. Ces études ont été suivies par le personnel de la zone et ont sollicité une occupation de paillasse quasi permanente.

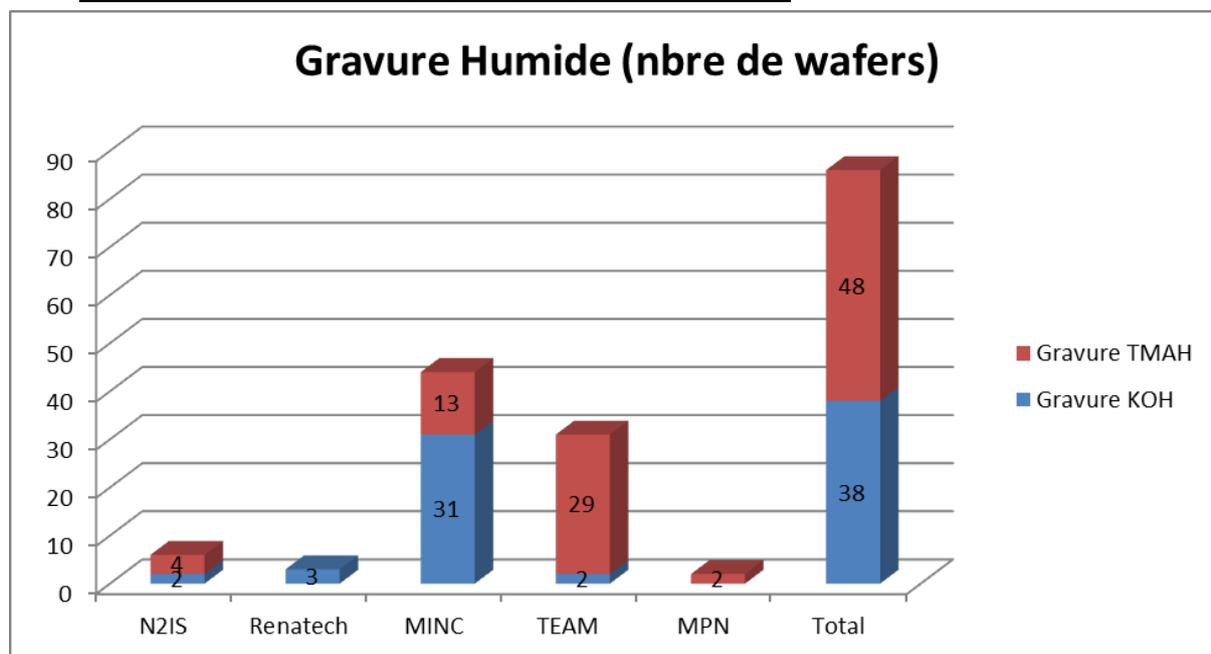
#### RuO<sub>2</sub> & Anodisation de l'aluminium

Thy Mai (doctorante) et Amine Achour ont travaillé à temps plein pour développer ces dépôts. Ce qui représente environ 300 dépôts sur une puce de 2cm<sup>2</sup>. La faisabilité a été démontrée et un process stable est en cours de finalisation.

#### Silicium Poreux

La faisabilité de silicium poreux structuré a été démontrée. Les différents paramètres expérimentaux ont été extraits en fonctions des besoins pour le projet. Jusqu'à présent tous les tests ont été menés sur des petits échantillons. Fin 2013 un nouveau réacteur a été dessiné et réalisé par Xavier Dollat pour transférer tous ces résultats sur des substrats 4 pouces et des dispositifs fonctionnels.

### **8.3 Bilan Gravure Anisotrope par groupe d'utilisateurs**



Le nombre de gravures humides a fortement augmenté par rapport à 2012 plus 50%. La zone est en libre service, avec la réservation des bacs de gravure via GRR il nous a été plus facile de suivre l'activité de cette zone.

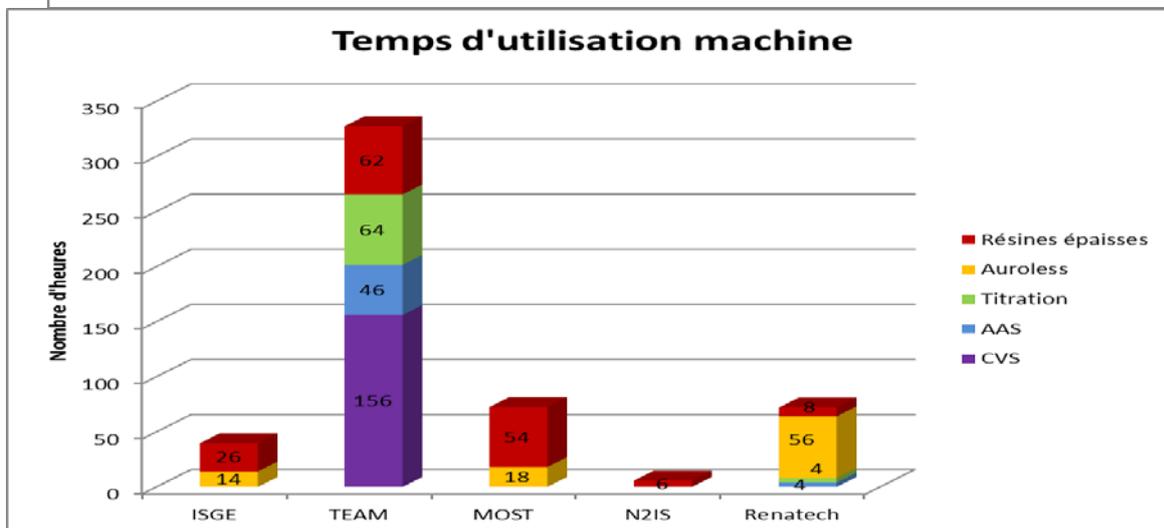
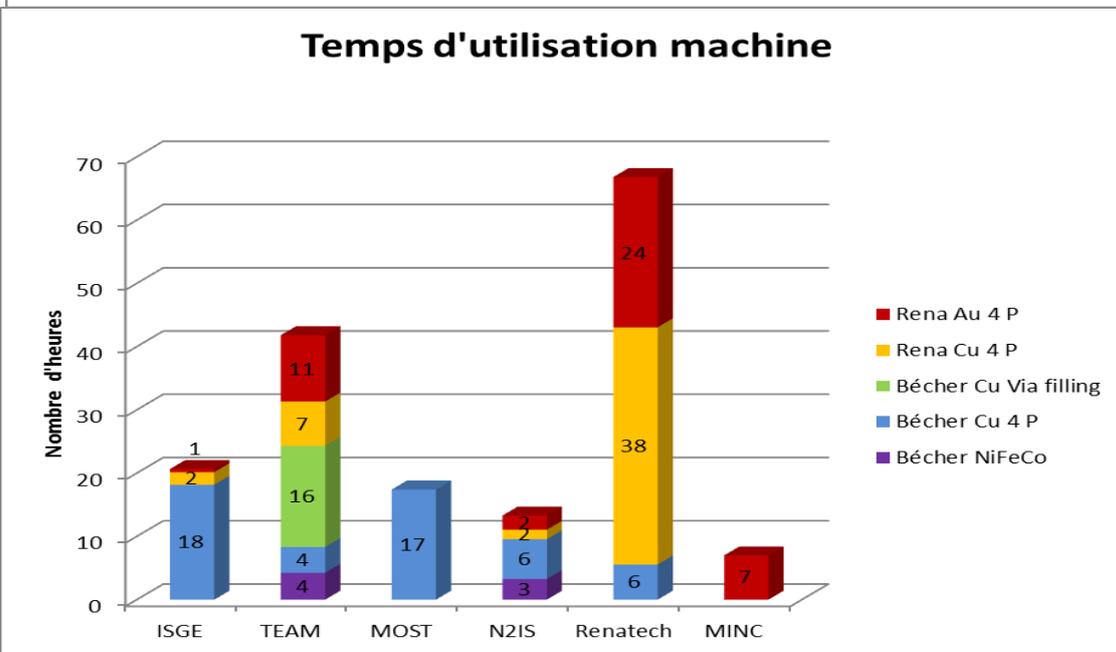
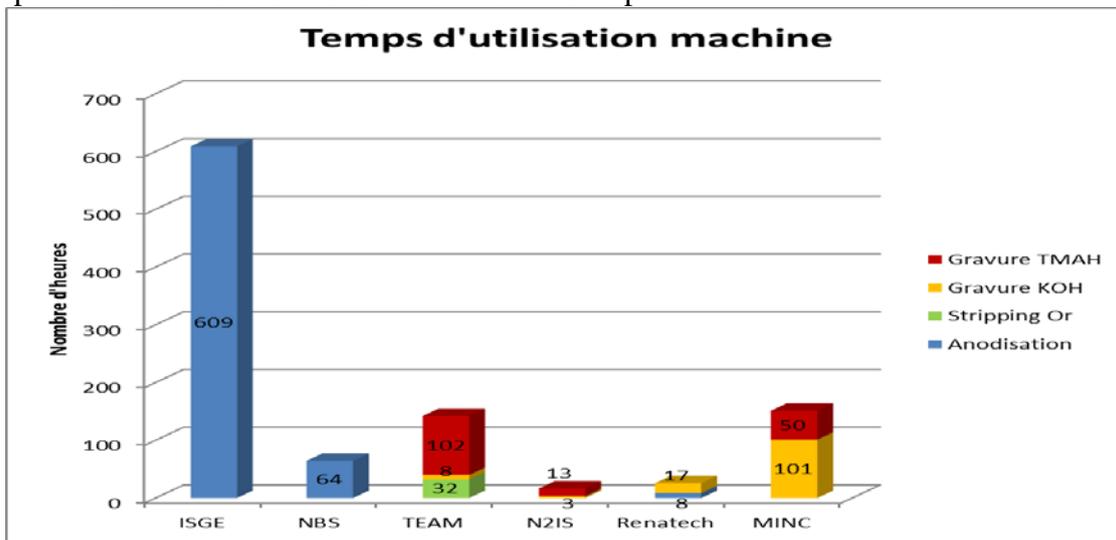
On peut remarquer cette année que cette ressource a été sollicitée par un projet Renatech.

#### ***GRR :***

En 2013 la mise en place de l'application de réservation GRR nous permet d'avoir un meilleur suivi du temps d'utilisation des différentes ressources de la zone. On peut voir le

Bilan 2013 des zones

temps d'utilisation par équipement en fonction des groupes. On peut se rendre compte que les équipements de la zone ont tous un fort taux d'occupation.



## 9- PROSPECTIVE

### Procédés :

- Optimisation de la résolution résine ultra épaisse et validation des procédés remis au point.
- Transfert du procédé Cu 3D sur wafer 6 pouces.
- Poursuite des travaux pour le remplissage des vias

### Machines :

- Rena Or :

Le bain d'or est très fragile. Tout arrêt prolongé de la machine suite à des micros coupures d'électricité peut entraîner la précipitation du bain. Une réflexion avec 2I est en cours pour adapter un système de support à la chauffe et à l'agitation pendant les coupures d'électricité.

Mise en place d'un nouveau système électronique d'humidification de l'azote afin de limiter l'oxydation des sulfites dans le bain d'or.

## 10- CONCLUSION GENERALE

L'année 2013 marque une légère diminution de l'activité.

Il faut noter que les dépôts sont de plus en plus demandés pour les projets RENATECH.

La demande RENATECH a doublé en 2013, elle représente 51 % de l'activité des dépôts.

Nous avons aussi été beaucoup sollicités par d'autres laboratoires (IEMN, IEF...) pour notre expertise dans le domaine et pour notre aide pour développer l'activité électrochimie dans leur laboratoire.

L'arrivée de Sylviane Baster nous a permis de retrouver une dynamique de mise au point de nouveaux procédés qui permet de proposer de nouvelles possibilités à l'ensemble de la communauté.

Par contre ce n'est qu'un poste CDD sur une activité pérenne. A la fin de son contrat nous nous retrouverons dans la situation de 2009, 2010 & 2012, c'est-à-dire à ne pouvoir assumer que les dépôts courants, sans pouvoir pérenniser les développements et mettre au point de nouveaux matériaux. Son contrat se termine fin décembre 2014.

## DEPOTS SOUS VIDE

### 1- EQUIPEMENTS

Equipement	Année d'achat	Valeur d'achat (€)	N° inventaire
EVA 600 Evaporation ○ Ti, ○ Au, ○ Cr, ○ Cu ○ Pt ○ Ni	2010	165000	10008_P
Edwards 2 Evaporation ○ divers ○ polymères	2003	91500	6771C
Edwards 3 Evaporation Al	2004	76200	7412_W
Alcatel 450 Pulvérisation cathodique ○ Au, ○ AuGe, ○ AuZn, ○ Ni	1981	61000	-
Cluster UNIVEX 450C Pulvérisation cathodique ○ Al ○ ITO (en développement) ○ Ta ○ Pt ○ Cu ○ W	2008	900000	8536_W
Varian 3616 Evaporation ○ Ti, ○ Au, ○ Cr, ○ Pt	1996	160000	0859_P
ApSy- E100 Evaporation divers	1973/2010	130000	10089_PE
Plassys Evaporation Metal ○ Al ○ Ag Evaporation Oganique ○ Alq3 ○ NPB	2013	350000	
Hotte traitement chimique	2004		7690_C
Etuve ventilée	2002		6922_CV

**Commentaire :**

Le bâti Alcatel 450 qui n'était plus réparable devrait être supprimé, une étude est en cours pour transférer ses procédé dans ApSy-E100 .

A noter également la mise en service du Plassys dédié a l'électronique organique.

**2- UTILISATEURS**

MINC, MOST, MH2F, PHOTONIQUE, NBS, MPN, N2IS, MICA, ISGE, RTB

**3- REFERENTS TEAM ET ORGANISATION**

- Salvagnac Ludovic Ingénieur d'étude Responsable de zone
- Libaude Guillaume Assistant Ingénieur

Il faut noter le départ depuis avril 2013 de Sébastien Pinaud dans le cadre d'une NOEMI. Son remplacement Guillaume Libaude est en poste depuis octobre 2013.

La gestion des équipements se fait grâce aux plannings. L'inscription sur ces plannings ce fait en salle blanche et en concertation entre les demandeurs et les référents a fin d'organiser au mieux l'activité.

- Regroupement des dépôts identiques (réduction des couts)
- Optimisation des techniques (évaporation ou pulvérisations)
- Optimisation des matériaux
- Optimisation des épaisseurs

Un planning Grr est disponible en ligne pour consultation. Les réservations seront toujours EXCLUSIVEMENT effectuées par le personnel référent de la zone

**4- MAINTENANCES**

La maintenance est assurée principalement par Guillaume Libaude et Ludovic Salvagnac. Elle représente 2 à 4 heures par personne et par semaine. Ce qui fait un total d'environ 8 heures par semaine

- Maintenance préventive :
  - tous les mois pour la zone (vérification des paramètres de dépôts des différents équipements)
  - tous les 6 mois décapages des enceintes de dépôts
  - annuelle effectuée à l'arrêt de la salle blanche 10 jours pour vérifications et entretien des groupes de pompes.
- Réparations :
  - Varian : changement de l'alimentation haute tension du canon à électrons.
  - Univex 450C : Maintenance propulseur de la chambre 6.
  - Apsy E-100 changement pompe cryogénique, reconfiguration du programme de pilotage.

## 5- BUDGET

### 5.1. 2013

Sommes engagées en 2013.

- Consommables = 16000 €
- Maintenance = 48000 €

### 5.2. Prévisionnel 2014

Budget prévisionnel pour 2013.

- Consommables :
  - Métaux : 40000 €
  - Creusets, quartz : 5500 €
- Pièces détachées :
  - Jauges de pression : 2000 €
- Maintenance :
  - Cluster : 28000 €
  - Autre : 10000 €

### 5.3. Commentaire

Le consommable 2013 est faible par rapport aux années précédentes, cela est dû à un avoir important sur l'or. Pour l'année 2014 cet avoir est épuisé.

La répartition de la maintenance 2014 se fait en trois points :

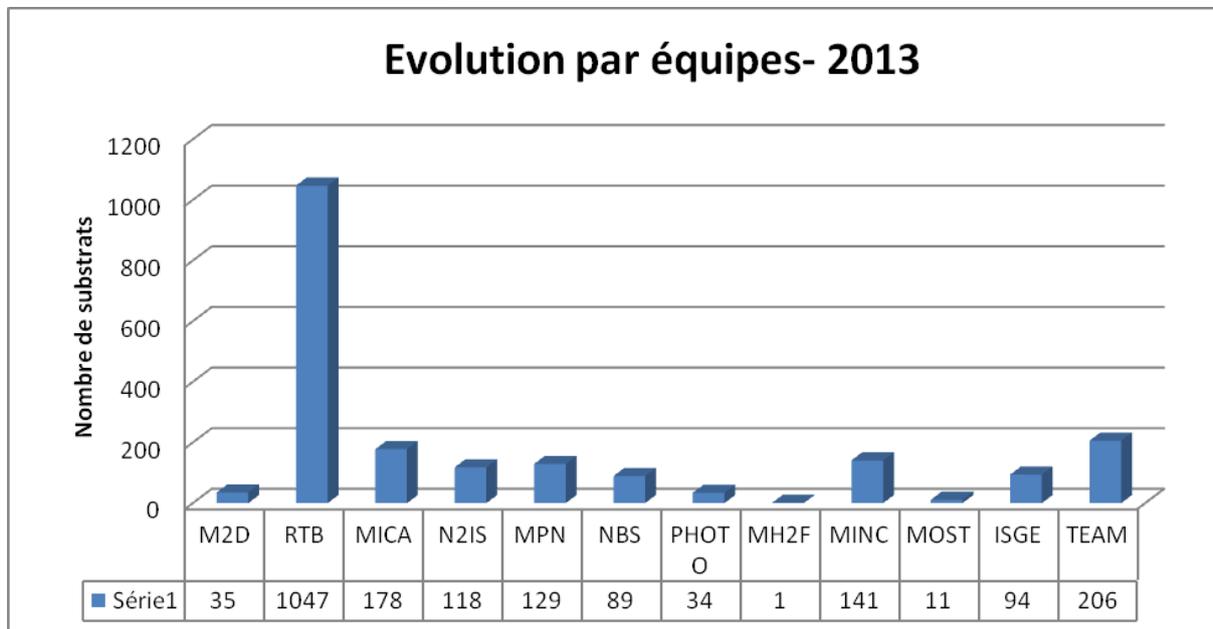
- Evolution équipement 45% (financé par le projet Pyromems)
- Système de pompage 36%
- Electronique 19%

## 6- FORMATIONS

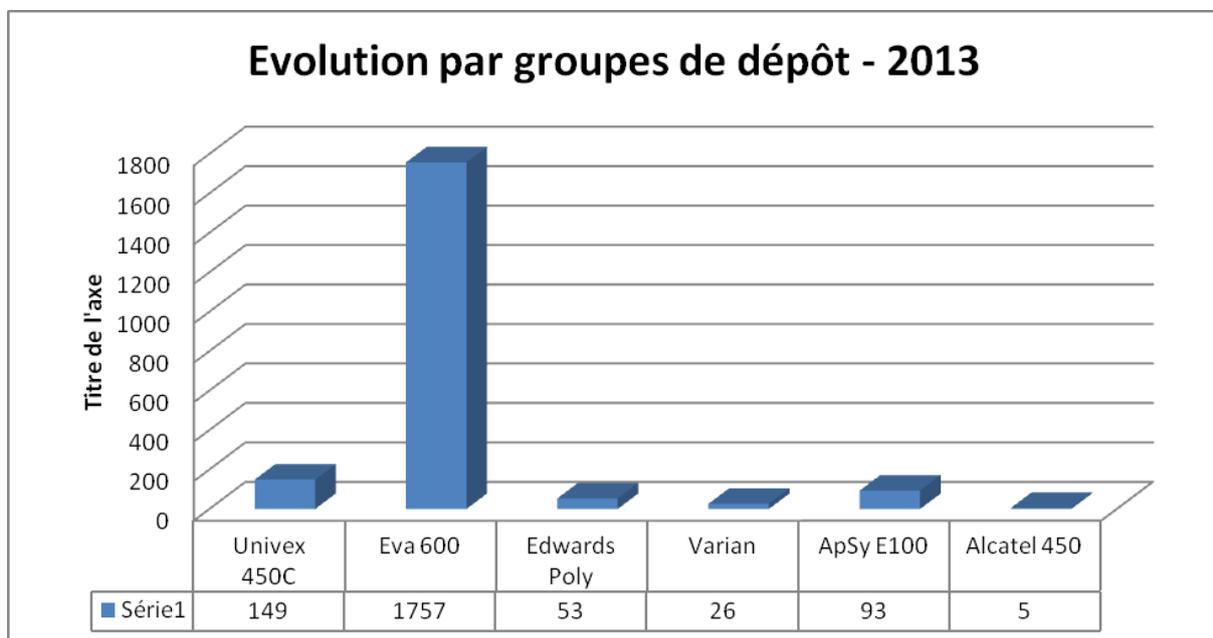
- Dans le cadre des cours TEAM
  - Cours sur les techniques du vide
  - Cours sur la métallisation
- Protocoles de métallisation (Techniques, matériaux, épaisseurs, résine, lift) pour chaque demande de métallisation. (environ 15 minutes par jour)

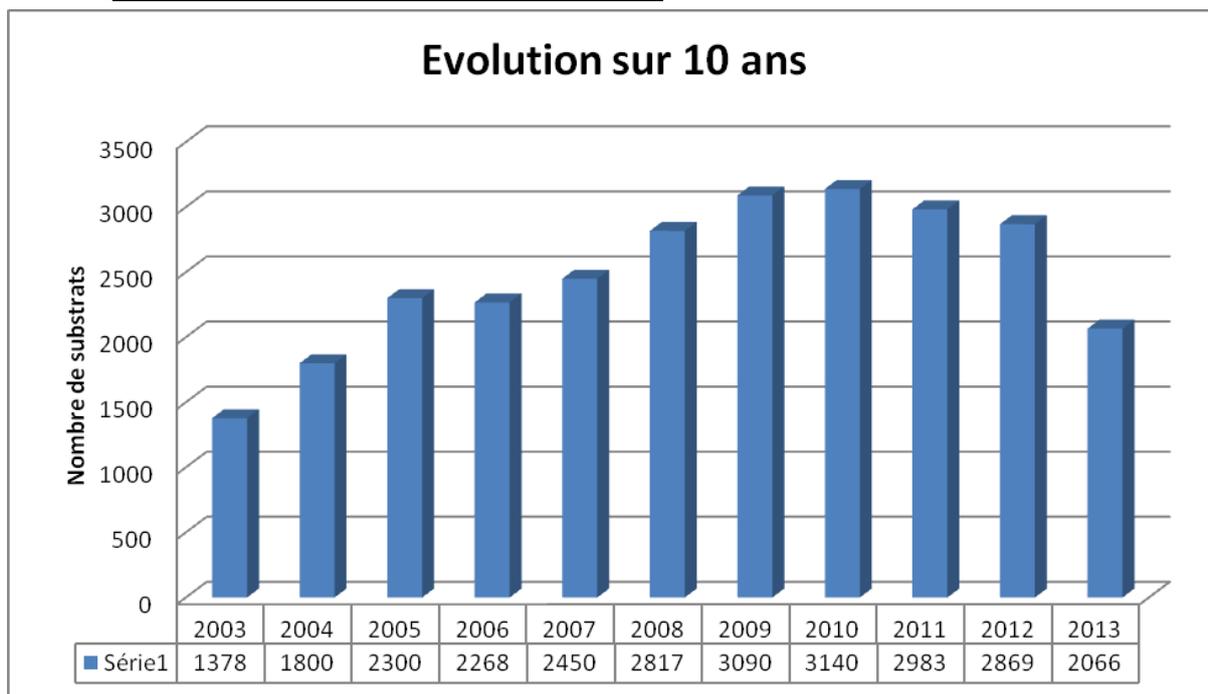
**7- BILAN**

**7.1. Bilan par groupes utilisateurs :**



**7.2. Bilan par technique ou équipement**



**7.3. Evolution au cours des dernières années****7.4. Analyse :**

L'activité diminue.

Hors activités Renatech la répartition de l'activité sur les différentes équipes est assez équilibrée. Néanmoins les activités les plus importantes sont menées en soutien des groupes MICA et N2IS plus particulièrement pour les thématiques capteurs chimiques et thermiques.

L'activité sur le Varian est en forte baisse en raison d'une panne de longue durée, mais la charge s'est répartie sur l'ensemble des autres équipements.

Certains équipements (Alcatel 450) semblent sous employés, la cause est la spécification de ces équipements (dépôts sur III-V pour Alcatel 450).

A noter la mise en service du Plassys dédié à l'électronique organique.

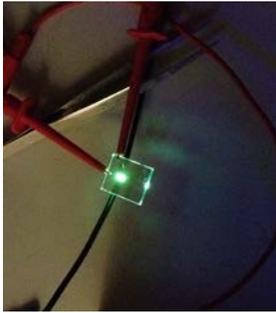
Renatech représente 50% du volume global ce qui est en hausse par rapport à l'an dernier, et s'explique notamment par la forte activité liée au projet Essilor Renatech.

**8- PROSPECTIVE****8.1. Equipements :**

- En collaboration avec RIBER, mise en service d'une chambre d'étude de dégazage de matériaux polymères déposés sur un substrat 4''
- Il faut penser au remplacement de l'Alcatel 450 pour ne perdre la maîtrise des contacts sur III-V.

**8.2. Procédés :**

- Poursuite de la mise au point du Plassys pour les dépôts de matériaux organiques.



Première réalisation d'une Oled (ITO, NPB, Al).

- Développement du dépôt de  $V_2O_5$  dans l'univex.
- Amélioration des couches de CuO dans l'univex.

## 9- CONCLUSION GENERALE

Dans cette zone l'activité de service (dépôts ne nécessitant pas de travail de développement) est très forte avec un nombre de dépôts très important. Bien que le nombre de substrats traité soient en diminution l'activité de la zone reste constante, cela s'explique par l'évolution de la nature des dépôts. Un exemple significatif est l'UNIVEX 450C où seulement 149 substrats ont été traités pour un temps d'occupation machine proche de 1500h. Ce résultat est dû aux projets liés à la réalisation de thermie pouvant nécessiter jusqu'à 60 couches successives (20 h de dépôts pour un substrat). L'année 2014 va demander un fort investissement dans la mise au point du bâti permettant le dépôt de matériaux organiques.

## GRAVURE SECHE PAR PLASMA

### 1- EQUIPEMENTS

Equipement	Année d'achat	Valeur d'achat (€)	N° inventaire
DRIE STS	1999	356850	inexistant
ICP Trikon Omega 201 Silicium ICP1	2003	3245396	7336_W
ICP Trikon Omega 201 GaAs ICP2	2003	3245396	7334_W
ICP Trikon Omega 201 Polymères Métaux ICP3	2003	3245396	7335_W
TEPLA plasma O2 (libre service)	2002	91500	7045_CW
Systèmes DFA = OES + laser Horiba + laser intellemetrics	2006	100000	inexistant
AMS4200 (cluster – 2 chambres P1 et P4)	2009	870000	9459_C
RF Zscan	2008	9500	9260_W
Diener plasma oxygène	2010	65000	9760_W

### 2- UTILISATEURS

Les équipes qui ont effectuées des gravures plasma en 2013 sont :

PHOTONIQUE, MPN, MICA, ISGE, NBS, N2IS, MINC, MOST, MH2F, Renatech, TEAM.

### 3- REFERENTS TEAM ET ORGANISATION

- Responsable de la zone : Pascal Dubreuil (IR)
- Référent TEAM : Aurélie Lecestre (IR)
- Utilisateurs formés : Guilhem Almuneau, Oliver Gauthier-Lafaye, Alexandre Larrue (post-doc PHOTO), Brice Adelin (doc PHOTO), Youssef Guerfy (doc MPN).

La gestion des équipements (maintenance, procédés et service) est effectuée par les 2 référents de la zone.

Une charte affichée à l'entrée de la zone, permet d'expliquer aux utilisateurs de la gravure sèche par plasma : le mode de fonctionnement, les protocoles de décontamination au niveau des machines et de l'espace utilisateur, la destination des équipements (filères MOS et NOMOS).

L'application GRR a été déployée pour AFFICHAGE et RESERVATION des plannings. La réservation des machines devient possible si elle est validée par les référents de la zone de gravure plasma.

Une fiche de gravure version excell est à remplir avant et en retour de résultat pour chaque gravure plasma, ce qui nous permet d'avoir un suivi des gravures (reproductibilité), de connaître de nombre de runs par an par machine et par équipe.

Aujourd'hui, concernant la mise au point des procédés, P. Dubreuil et A. Lecestre travaillent en forte concertation avec les chercheurs et les étudiants concernés sur chaque équipements de la zone. Une fois les procédés mis en place, ils seront utilisées en fonction des demandes COMTEAM.

Lorsque les doctorants sont amenés à faire beaucoup de gravure (une fois par semaine en moyenne), ils sont formés et peuvent utiliser les équipements de gravure après l'accord des référents (exemple : Y. Guerfi, B. Adelin). Ils doivent présenter de façon régulière leurs résultats de gravure aux référents de la zone gravure.

## 4- MAINTENANCES ET INFRASTRUCTURE

### 4.1. Maintenances

La maintenance préventive consiste à effectuer :

- Un nettoyage de réacteur par un plasma d'O<sub>2</sub>, ainsi que la vérification du vide limite sur chaque équipement de gravure tous les matins.
- Le contrôle du niveau de pression de chaque bouteille de gaz une fois par mois.
- Le nettoyage du réacteur P1 Alcatel tous les 2 mois en moyenne.
- Un changement de chambre de gravure une fois par an sur les machines Trikon (ICP1 et 2).
- Réglage du faisceau laser DFA sur ICP2 (1fois/an).

### 4.2. Réparations

**P1/P4 :** module transfert robot, problème récurrent du système capacités/moteur du générateur bias, problème VAT (pompage manuel), problème circulation en eau, changement disques durs et ventilateurs, changement jauge ionique, nouvelle version du logiciel.

**ICP3 :** changement de l'atténuateur/relai de la source RF bias, spatule bras robot + réglage du bras robot, débitmètre massique, couvercle chambre reconfiguré pour DFA laser (atelier mécanique), changement générateur RF, changement anneau céramique, changement canalisation air comprimé, changement pompe à huile.

**ICP2 :** changement de composants et carte électronique, réglage du bras robot, changement chemisage du réacteur, changement canalisation air comprimé, isolation tuyaux du chiller.

**ICP1 :** reconfiguration de la machine en 6 pouces, réparation pompe sèche.

**STS :** machine arrêtée car non pilotable (panne de logiciel), intervention SAV sans solution.

**Diener :** intervention SAV, changement écran + PC, achat pompe sèche + roots, redémarrage.

**TEPLA :** changements pompes (nouvelle pompe sèche), intervention SAV changement magnétron, re-calibrage MFC, réparation carte écran.

D'autres personnels du service TEAM et des services I2C et Logistique interviennent afin d'assurer la maintenance :

- Vide et diagnostic électronique : L. Bouscayrol
- Fluides : A. Maiorano, T. Do conto
- Électronique : JL. Rastoul
- Informatique : Sysadmin, D. Colin
- Electricité : E. Tasselli

## 5 .BUDGET

### 5.1. 2013

Les sommes engagées en 2013 sur trois postes :

- Consommables : 1700 €(bouteilles) + 12 636 €(pointes diamant + collage + wafers)
- Matériels : 0 €
- Maintenance générale : 62 778 €

Le chiffre de la maintenance générale s'explique en partie par de nombreuses pannes en pompage (plus de 30 k€ dans l'année) et des problèmes d'origine électrique.

Ces éléments s'expliquent en partie par le vieillissement du parc de pompage et le fait que dans la zone de gravure plasma les pompes sont soumises à rude épreuve du fait de l'usage de gaz corrosifs.

Il faut donc envisager une gestion plus poussée de notre parc. Une action est d'ailleurs initiée en ce sens au-delà de la seule zone de gravure plasma.

Pour les pannes d'origine électrique elles viennent probablement de la sensibilité des équipements aux surtensions liées à des microcoupures. Une première action est initiée par l'installation prévue en 2014 de para-surtenseurs sur les équipements les plus sensibles. Cette action est conduite à l'initiative et avec le soutien de D. Lagrange (service I2C)

### 5.2. Prévisionnel 2014

Le budget prévisionnel pour 2014 porte sur :

- Consommables 1926€+ 5 000 € de wafers (qualification procédés et suscepteurs)
- Matériels RIE+DFA : 363 000€(2 bâtis RIE 343 000+ DFA 20 000)
- Maintenance préventive : 69 000 €

Détail maintenance préventive :

ICP1 : atténuateur + relai = 3 000€

Révision pompe SAS = 2 000€

Chiller = 9 000 €

ICP2 : nettoyage chemisage = 500€

Révision pompe SAS = 2 000€

Révision pompe sèche = 4 000€

ICP3 : nettoyage chemisage = 500€

Révision pompe sèche = 4 000€

Alcatel : Révision pompe SAS = 2 x 2 000€

Révision pompe sèche = 2 x 4 000€

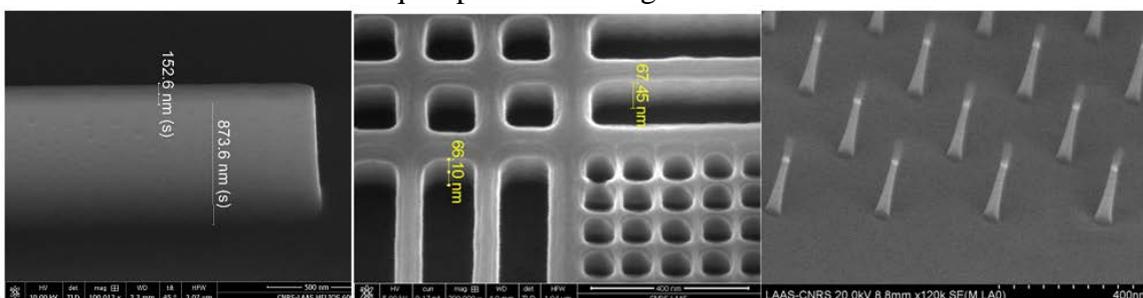
Préventive équipement 30 000€

**6. EVOLUTION DES PROCEDES**

Equipements	Echelles	Développements	Equipes
<b>ICP3</b>	>200nm	Multi-couches : SiOx/Ti/Pt(200nm)/Ti/SiOx	<b>MICA</b> (Sekli, Temple)
	>1µm	Parylène-C (1µm et 25µm)	<b>NBS</b> (Castagnola)
	< 100nm	Si (chimie fluorée) avec des résines e- beam.	<b>TEAM</b> (Lecestre)
<b>ICP2</b>	2µm	GaSb à haut rapport de forme.	<b>Photonique</b> (Adelin)
	200nm	Membrane GaAs.	<b>Photonique</b> (Larrue)
<b>Alcatel P1</b>	5µm	Piliers Si en process continu.	<b>MPN</b> (Casanova)
	100µm	Vias à haut rapport de forme.	<b>ISGE</b> (Noblecourt,Tasselli)
	300µm	Vias à parois verticales.	<b>TEAM</b> (Bourrier, Baster)
	< 200nm	Si (chimie fluoré) avec des résines e- beam.	<b>TEAM</b> (Lecestre)
<b>Alcatel P4</b>	>10µm	Silice fondue avec masquage mou.	<b>TEAM</b> (Dubreuil)

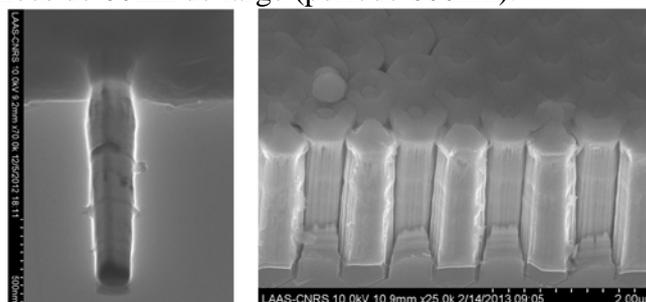
**GRAVURES NANO :**

Le nano-usinage Silicium devient une forte demande en volume à traiter. La sélectivité des matériaux est primordiale lorsque des résines e- beam sont utilisées (épaisseur=100-500nm). Jusqu'à présent seul l'équipement ICP3 était utilisé pour la gravure sub-micronique du Si, sachant que cet équipement permet la gravure de tous types de matériaux (NoMOS). Une nouvelle recette a été optimisée sur Alcatel P1 (MOS compatible) afin de graver des motifs avec des résines électroniques positives et négatives.



Lame de Si ( F. Carcenac). Réseau dans Si (A. Lecestre). Nanofils Si (Y. Guerfi)

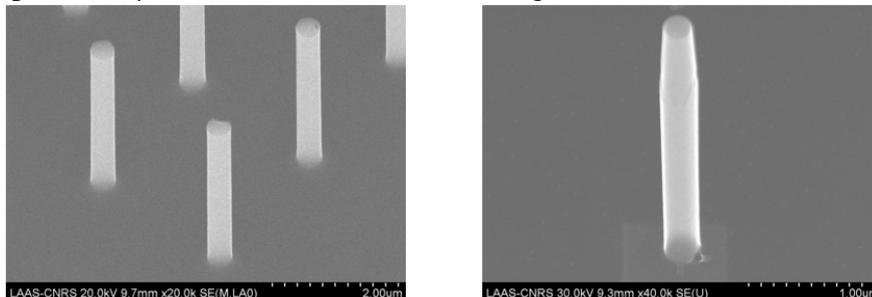
Un travail important a été consacré par un doctorant sur la gravure profonde de GaSb. L'objectif étant de définir d'une part des trous de 400nm de diamètre (période 600nm), et d'autre part des tranchées de 80nm de large (période 600nm).



Trous et tranchées dans GaSb (B. Adelin)

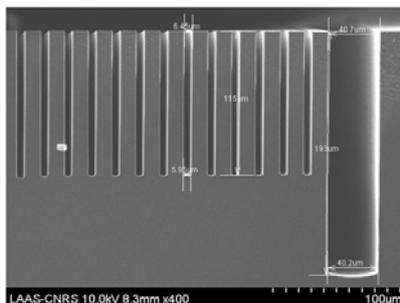
**GRAVURES MICRO :**

Dans le réacteur Alcatel P1, deux procédés de gravure ont été optimisés pour obtenir des piliers de plusieurs  $\mu\text{m}$  de haut avec des flancs de gravure lisses.



Piliers Si : 400-500nm de diamètre sur 3,6 $\mu\text{m}$  de haut (MPN : A. Casanova)

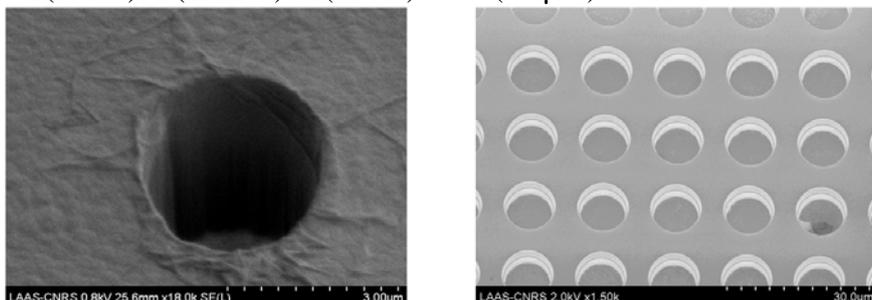
La gravure de vias (procédé Bosch) à haut rapport de forme a été optimisé afin d'obtenir des parois le plus vertical possible. Ainsi en augmentant le temps de passivation on a pu améliorer la verticalité des vias.



Vias à haut rapport de forme (ISGE : J. Tasselli)

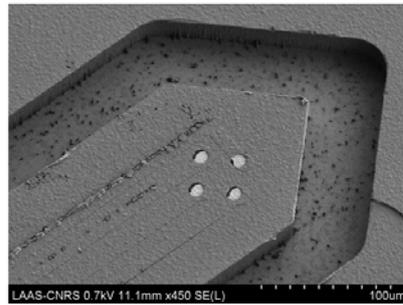
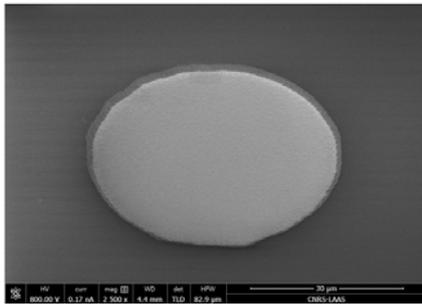
**GRAVURES DE « NOUVEAUX MATERIAUX » :**

L'équipement ICP3 nous permet de graver tout type de matériaux (métaux, semiconducteur...) ce qui nous a permis de développer une séquence de gravure permettant de définir des réseaux de trous de 3 à 9 $\mu\text{m}$  de diamètre dans un multicouche : SiOx(2.5 $\mu\text{m}$ )/Ti(20nm)/Pt(200nm)/Ti(20nm)/SiOx(2.5 $\mu\text{m}$ ).



Gravure de multicouches : SiOx/Ti/Pt/Ti/SiOx.

La gravure de parylène C a été étudiée en utilisant différents masques (résine ou métal). Pour la gravure de 1 $\mu\text{m}$  de parylène, 2 $\mu\text{m}$  de résine est suffisante. Par contre pour la gravure de 25 $\mu\text{m}$  de parylène, un masque métallique est nécessaire (Ni 50nm). Il faut noter que le dépôt de parylène n'adhère sur son substrat hôte qu'en périphérie, ce qui induit la difficulté de l'homogénéité et de la reproductibilité en gravure (pb de thermalisation).



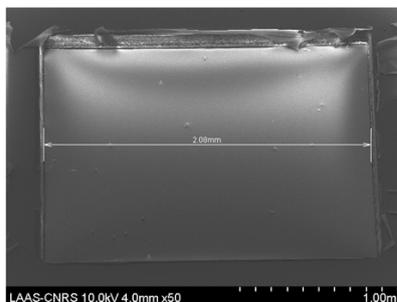
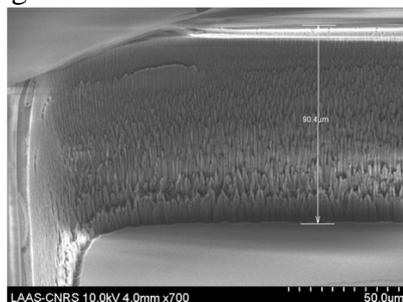
Ouvertures dans 1 $\mu$ m (gauche) et 25 $\mu$ m (droite) de parylène-C après gravure (NBS : V. Castagnola)

Un système de DFA par réflectométrie laser récupéré sur la STS, est en cours de validation sur ICP3. Il sera utilisable pour la détection de fin d'attaque de couches minces (SiO<sub>x</sub>, SiN<sub>x</sub> ...) déposés sur Si.

### **GRAVURES SILICE FONDUE:**

L'activité gravure de matériaux durs comme la silice fondue, le verre (sous certaine condition de composition chimique) se développe sur la chambre P4 du cluster AMMS4200. La principale difficulté étant de garantir une bonne sélectivité avec le masque choisi pour graver profondément ces matériaux.

Actuellement un autre type de masque, en collaboration avec la zone d'assemblage, est utilisé. Un essai a permis d'obtenir des tranchées profondes (100 $\mu$ m, vg~300nm/min) dans la silice fondue. Il reste à optimiser l'élaboration du masque pour améliorer son uniformité et sa sélectivité de gravure.



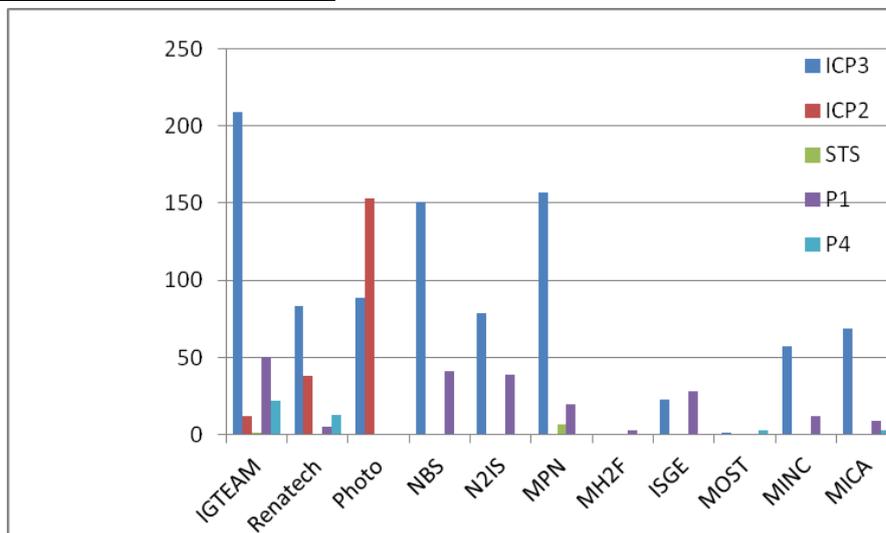
Gravure silice fondue 100 $\mu$ m (TEAM : P. Dubreuil)

## **7. FORMATION**

- Formation sur l'utilisation TEPLA 300 = 15 nouveaux entrants en salle blanche.
- Formation sur l'utilisation des machines et des procédés = Alexandre Larrue (post-doc), Brice Adelin (doctorant), Youssef Guerfy (doctorant).
- Présentation du fichier excell pour les suivis de gravure = tous les demandeurs de gravure.
- Cours technique sur la gravure par plasma (1fois/an).

## 8. BILAN

### 8.1. Bilan par équipe utilisatrice

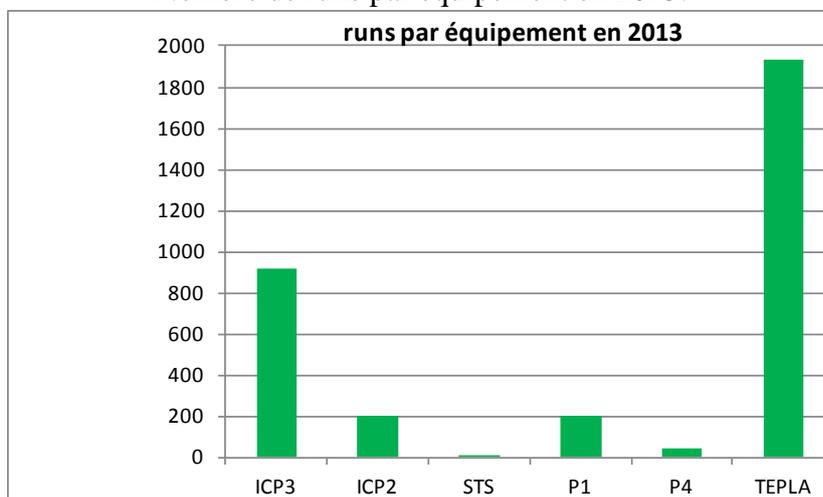


Nombre de runs par équipement pour chaque équipe en 2013.

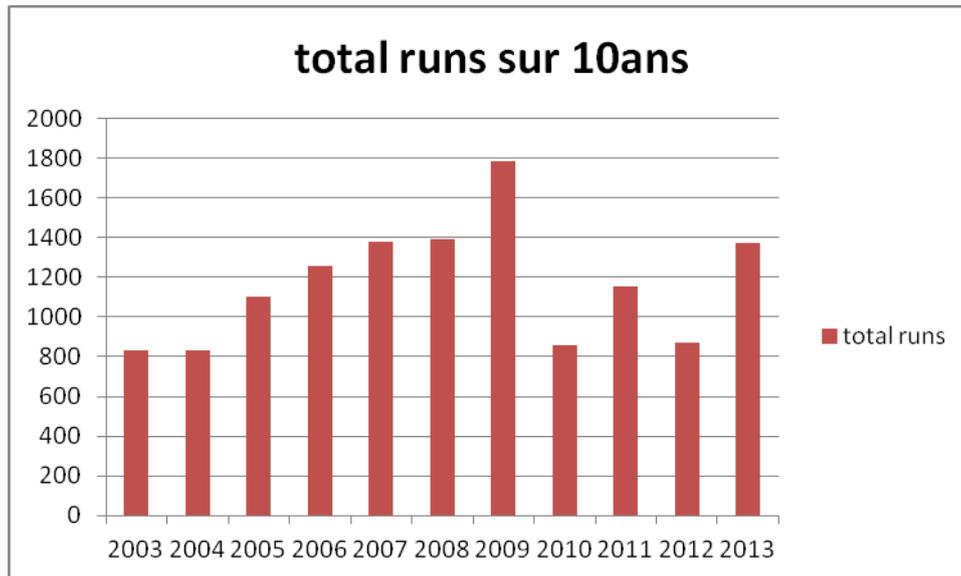
### 8.2. Bilan par technique ou équipement



Nombre de runs par équipement en 2013.



### 8.3. Evolution au cours des dernières années



### 8.4. Analyse :

L'activité gravure en 2013 a totalisé 1372 runs (hors TEPLA), elle a augmenté de 57% par rapport à 2012, ceci s'explique en partie par la formation de 2 doctorants et d'un post-doc sur les équipements ICP2 et ICP3.

L'équipement le plus sollicité est l'ICP3 qui représente 67% des runs. En effet, ce bâti permet la gravure de tous type de matériaux (Si, métaux, graphène, parylène, polyimide...). Par conséquent, la plus part des projets contenant de la gravure plasma utilise cet équipement.

Le reste de l'activité de gravure se fait dans ICP2 et dans la chambre Silicium (P1) de la machine Alcatel pour les gravures profondes micro (>1µm) et aussi nano.

La machine STS vieillissante ne peut plus fonctionner.

La machine ICP1 n'a pas fonctionné cette année car elle était en cours de reconfiguration en 6 pouces et plusieurs pièces ont dues être rachetées et changées après intervention du SAV.

La part de Renatech représente 13% du volume de plaques traitées en 2013.

La part TEAM qui est de 27% correspond à des mises au point de procédés génériques en mode CCP et dans P4.

L'activité gravure submicronique dans ICP3, a continué à croître en 2013, en utilisant le mode CCP. Cela traduit le fait des nombreux développements (IG TEAM, groupes) qui ont été conduits et de l'activité « pluri-matériaux » des groupes de recherche. Aussi, le nombre de gravures pour des nouveaux matériaux « souples » graphène, parylène, pvd, polyimide est en forte croissance. Ces matériaux « souples » sont déposés avec un contact partiel sur leur substrat hôte ou sont collés avant gravure. Une étape de thermalisation a été rajoutée dans chacune des recettes dédiées pour essayer d'assurer la reproductibilité de la gravure.

Il est à noter ici le besoin de « dédoubler » la machine ICP3 pour éviter toute contamination entre les différentes « filières » de matériaux et assurer la reproductibilité du mode CCP. Le redémarrage de l'ICP1 devrait permettre cela courant 2014.

La prospective d'achat de 2 machines RIE-CCP est en cours. Les équipementiers choisis, réalisent pendant le 1<sup>er</sup> trimestre 2014 les tests de gravure demandés par le LAAS.

L'activité développement de gravure profonde du silicium dans P1 continue. Dans l'autre chambre P4 du cluster Alcatel, des gravures d'oxydes sont courantes et un procédé générique pour la gravure du verre est en cours de mise au point.

Enfin la fiche de renseignement avant gravure est systématiquement remplie, nous notons un retour régulier. Cette fiche pourra renseigner sur la facturation interne, la fiabilité des procédés dans le temps, sur le comportement de la gravure des matériaux en fonction de paramètres comme les dimensions d'ouverture (piliers, tranchées), la densité des motifs, la surface totale à gravée... Des abaques pour l'activité silicium sont affichés dans la zone à ce propos.

Des groupes de travail sur l'activité nano-gravure dans le silicium et sur l'activité nano-gravure dans l'oxyde ont été mis en place (2 réunions/an).

Les demandes de projets sur cette période, ainsi que les opérations de maintenance et de réparation justifient pleinement 2 ingénieurs à plein temps. L'implication de P. Dubreuil comme élu au comité national entraîne de facto un sous effectif dans la zone pendant certaines périodes de l'année. Aurélie Lecestre, le supplée largement pendant ces périodes.

## 9. PROSPECTIVE

### 9.1. Equipements :

- 2 Machines de gravure RIE (mode CCP). Le besoin a été clairement défini par des groupes de recherche qui sont intéressés et la prospective d'achat est en cours. 325 k€ financés dans le cadre RTB 2013.
- 1 chiller sur ICP1 par un système de refroidissement plus adapté, comme cela a été fait sur ICP3 et ICP2 (LaudaT2200). 9000 €
- 2 OES/DFA pour équiper les chambres P1 et P4 du cluster pendant la gravure. 40k €
- Les machines ICP1,2,3 acquises par le LAAS en 2003 ont 18 ans. Les opérations de maintenance ou de résolution de pannes sont nombreuses et coûteuses sur ICP1, ICP3, P1 et P4. Le budget dépensé chaque année devient conséquent, les délais d'approvisionnement en pièces détachées restent trop longs (2 mois en moyenne) et paralysent l'activité de gravure pour les groupes de recherche. Une jouvence par l'achat d'une machine neuve similaire à ICP3 serait judicieuse. 650 k€ demandés dans le cadre du CPER 2015-2020 et de l'éventuelle poursuite du programme RTB.

### 9.2. Procédés :

Parmi les nombreux procédés à développer, seront abordés en 2014 :

- Procédé de gravure profonde dans P1 pour obtenir des vias de même profondeur malgré une ouverture de motif différente.
- Procédé de gravure profonde dans P4 de la silice fondue.
- Procédé de gravure dans ICP3 de métal seed layer avant électrochimie.
- Poursuite des travaux des groupes de travail nano-gravure dans Si et nano-gravure dans oxyde.

## 10. CONCLUSION GENERALE

L'ouverture vers la gravure plasma de nouveaux matériaux et la formation d'utilisateurs augmente significativement l'activité gravure. La partie « développement de procédé » et l'utilisation « massive » de l'ICP3 (machine vieillissante) en devient une conséquence. Une jouvence par l'achat d'une machine neuve similaire serait judicieuse.

La zone gravure plasma a été sollicitée pour de nombreux développements de procédés de gravure à l'échelle nanométrique. Nous devons aussi améliorer la sélectivité de gravure par rapport au masque. Plusieurs voies sont à explorer. La première que nous avons exploitée par une modification de la fenêtre de procédé plasma (mode CCP) pour la gravure de nanofils, d'oxyde, de résine thermique et UV pour le nano-imprint. La seconde a été discutée avec les chercheurs concernés pour l'achat 2014-2015 de deux machines RIE-CCP en chimie fluorée et l'autre en chimie chlorée.

L'achat d'éléments de remplacement pour anticiper les « futures » pannes a été fait lors d'une première campagne en 2007, et doit être considéré avec attention pour assurer le bon fonctionnement de la zone.

## TRAITEMENTS THERMIQUES

### 1. EQUIPEMENTS

Equipement	Année d'achat	Valeur d'achat (€)	N° inventaire
Bâti de fours 4" d'oxydation et de redistribution AET <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tube d'oxydation propre</li> <li>• Tube d'oxydation Bore</li> <li>• Tube de recuit après bonding</li> </ul>	1986	305000	-
Bâti de fours 4" de diffusion et de recuit Tempress <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tube de diffusion Phosphore (En rétrofit)</li> <li>• Tube de recuit Alu (En rétrofit)</li> <li>• Tube de recuit Ge (En rétrofit)</li> </ul>	1987	38100	-
Bâti de fours 4" LPCVD Tempress <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tube de dépôt LPCVD Recherche (En rétrofit)</li> <li>• Tube de dépôt LPCVD Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> (En rétrofit)</li> <li>• Tube de dépôt LPCVD Si Poly dopé Bore</li> </ul>	1988	53400	-
Bâti de fours 4" de recuit AET <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tube de recuit métaux (Libre service)</li> <li>• Tube de recuit Polyimide (Libre service)</li> <li>• Tube de recuit AsGa (Libre service)</li> </ul>	1986	30500	-
Réacteur de dépôt PECVD 4''/6''/8'' STS	2000	364000	-
Réacteur vertical de dépôt AET 4''	1996	200000	-
Bâti de fours 6'' Centrotherm <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tube d'oxydation propre</li> <li>• Tube d'oxydation Bore</li> <li>• Tube d'oxydation Phosphore</li> <li>• Tube de diffusion Phosphore</li> </ul>	2006	520000	7980_W
Bâti de fours 6" avec le système d'abattement de gaz Centrotherm <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tube de recuit Alu</li> <li>• Tube de dépôt LPCVD Recherche</li> <li>• Tube de dépôt LPCVD Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub></li> <li>• Tube de dépôt LPCVD Si Poly</li> </ul>	2006	585000	7981_W
Bâti d'oxydation AsGa AET	2008	80000	
Bâti de recuit rapide Si 6''/8'' Annealsys	2008	228000	9127_W

Bâti de recuit rapide AsGa 6'' Annealsys	2008	99600	9126_W
Bâti de recuit (4 tubes) Ferrites, Polyimide	2011	155000	10235_PT
Réacteur de dépôt ICPECVD (Basse Température)	2011	406700	10107_PT
Bâti d'ALD	2012	350000	10515_PE
Bâti de fours de recuit SEMCO 6'' de chez Freescale	1997	304194	Don de Freescale

## 2. UTILISATEURS

MINC, MOST, PHOTONIQUE, NBS, N2IS, MICA, MPN, ISGE, MH2F, TEAM, RENATECH, OSE

## 3. REFERENTS TEAM

Les zones implantation ionique et traitement thermique ont fusionné dans l'organigramme du service début 2013. Les personnels impliqués dans la zone traitement thermique sont:

Eric Imbernon, Bernard Rousset et Jean Christophe Marrot.

Départ d'Adrien Desmoulin en Septembre 2013.

Arrivée de Lucile Mage depuis Aout 2013.

Départ de Laurent Bouscayrol vers la zone infrastructure mais il continue d'avoir une implication soutenue et nécessaire dans la zone.

Voici détaillées les missions et l'évolution envisagées de chacune des personnes impliquées:

- Eric Imbernon IR (Responsable de zone)

Depuis avril 2013, il a pris en charge la responsabilité de la zone. Il a en charge, notamment les réacteurs d'oxydation, de redistribution, de diffusion thermique sur les fours AET et Centrotherm, ainsi que le bâti LPCVD Centrotherm. Il gère une partie maintenance sur ces équipements et réalise les procédés. Il complète ainsi son expertise déjà importante de la technologie MOS. Il participe aussi à l'acquisition et à la mise en service de nouveaux bâtis.

- Bernard Rousset IR

En 2013, Bernard gérait la majeure partie des relations avec les équipementiers pour l'achat de nouveaux équipements et pour leurs interventions pour les maintenances conséquentes. En salle blanche, il a veillé à ce que les équipements soient fonctionnels et à ce que les résultats des opérations technologiques correspondent aux demandes des chercheurs en intégrant aussi l'établissement des possibilités des nouveaux équipements.

- Jean Christophe Marrot AI

Il maîtrise les deux fours de recuit rapide dont il assure le fonctionnement. Fort de cette compétence, il réalise la plupart des opérations de service demandées sur ces réacteurs. Il supervise aussi les opérations confiées à quelques chercheurs formés sur ces équipements. Il contrôle les nouveaux bâtis de recuits dont l'installation est terminée et qui accueillent des étapes technologiques spécifiques comme par exemple les recuits de BCB pour Katia Grenier

et Josiane Tasselli ou des recuits de verres de lunettes dans le cadre de la collaboration avec la société Essilor. Ses activités, avec ces nouveaux équipements, lui permettent d'acquérir de nouvelles connaissances au niveau des caractéristiques des matériaux. Son implication se continue dans le cadre de l'installation du Four de chez Freescale, dans le cadre du rétrofit des fours AET avec Jean Louis Rastoul ainsi que dans le cadre des travaux contre la contamination.

- Laurent Bouscayrol AI

Malgré son départ vers la zone infrastructure, il continue d'être fortement impliqué dans la zone. Par sa connaissance approfondie de tous les équipements, il participe à la maintenance de ceux-ci. Sa présence est nécessaire au niveau de la gestion des pompes, fluides et organes de sécurité gaz (SiH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>).

- Adrien Desmoulin AI CDD

Il a assuré jusqu'en septembre 2013 les services et le bon fonctionnement des deux réacteurs PECVD. En parallèle, il a été formé, par ses collègues de la zone, sur les autres équipements de manière générale et plus particulièrement sur les bâtis Centrotherm. Il a participé, par ailleurs, à toutes les actions concernant d'une part le rétrofit de certains équipements et d'autre part, les plans contre la contamination.

- Lucile Mage IR

Elle est arrivée en aout 2013 et assure le fonctionnement des deux bâtis PECVD. Elle met en œuvre les dépôts de matériaux, assure la caractérisation de ceux-ci et participe à la maintenance de ces équipements.

Aujourd'hui, la zone est mature au niveau personnel.

La zone est aussi mature au niveau équipement avec une intégration réussie de l'ALD sur lequel, par ailleurs, s'investissent Emmanuel Scheid et Vincent Mortet (parti en septembre 2013), coté chercheur.

Les fours Centrotherm sont pratiquement tous revenus à un état de fonctionnement satisfaisant après un travail coordonné incluant l'intervention de l'équipementier et de son représentant français avec qui les relations sont bien suivies, le tout en collaboration avec le service I2C. Le représentant cité précédemment qui est aussi le représentant de la société Oxford, a permis de régler efficacement des problèmes de maintenance importants sur l'équipement ICPECVD en collaboration avec les intervenants de la zone.

Noter aussi qu'un planning GRR est disponible en ligne pour consultation. Les réservations seront toujours EXCLUSIVEMENT effectuées par le personnel référent de la zone

#### 4. MAINTENANCES

##### Réalisées

- **Maintenance curative réalisée sur les fours Centrotherm .**

- Automate "Cesar" sur un four LPCVD (maintenance à distance via la "hotline" de Centrotherm
- Pompe SiON (à finaliser)

- **Maintenance curative réalisé sur le PECVD STS**

- Réparation pompe

- **Maintenance curative réalisée sur l'ALD**
  - Maintenance pompe
- **Retrofit (Projets COM2I)**
  - FOX Thermique et commande
  - Four SEMCO 6" (Freescale)

Toutes ces maintenances ont eu le soutien d'I2C et en particulier de J.L Rastoul

### A réaliser

- **Maintenance curative sur le four Centrotherm**
  - LPCVD tube de dépôt de SiON.
- **Retrofit (Projets COM2I)**
  - FOX Thermique et commande (en cours de finalisation)
  - Tempres Thermique
  - Si3N4 (Logiciel, thermique, câblage)
  - Four SEMCO 6" (Freescale)

## 5. BUDGET

### 5.1. 2013

- Consommables : 13883€
- Maintenance, Intervention : 8025€
- Support Retrofit FOX: 4916 €

### 5.2. Prévisionnel 2014

- Consommables : 10000€
- Maintenance : 27000€
- Support : 1000€

Le budget maintenance 2014 est en augmentation car il l'achat éventuel d'un bâti PECVD au LETI qui servirait de pièces détachées pour le PECVD STS.

## 6. EVOLUTION DES PROCEDES

### **A) PECVD Basse Température**

Caractérisation des matériaux déposés (SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Si amorphe), dans le cadre de la réalisation de filtres photoniques notamment.

### **B) Fours d'oxydation FOX et Centrotherm**

Suivi et contrôle de la qualité des tubes d'oxydation par la réalisation de capacité MOS

### **B) ALD**

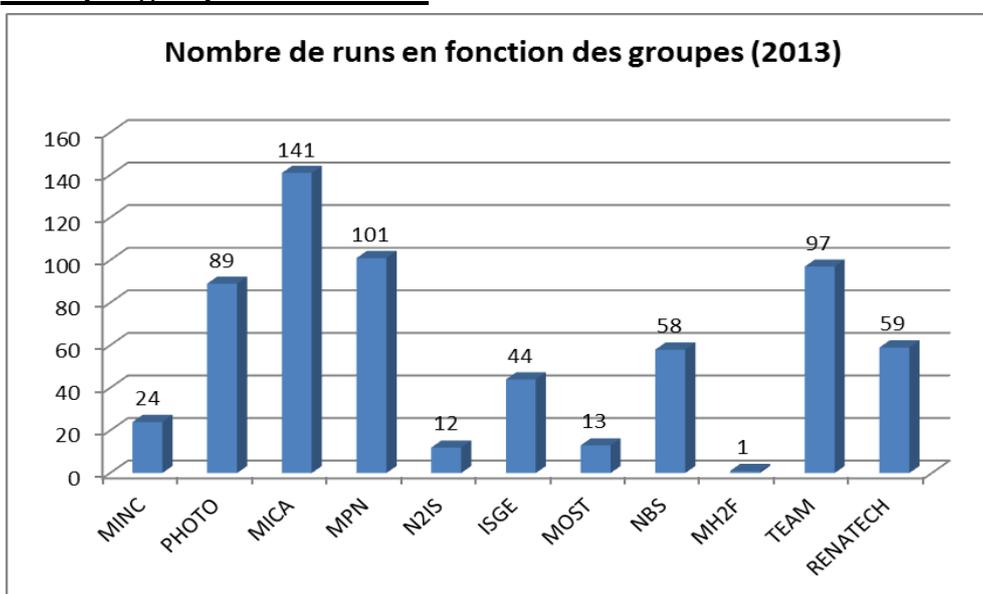
Une fois le bâti installé, Emmanuel Scheid et Vincent Mortet ont vérifié et développé plusieurs procédés pour réaliser différents matériaux : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, HfO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, TiN, Pt, Ru

## 7. FORMATIONS

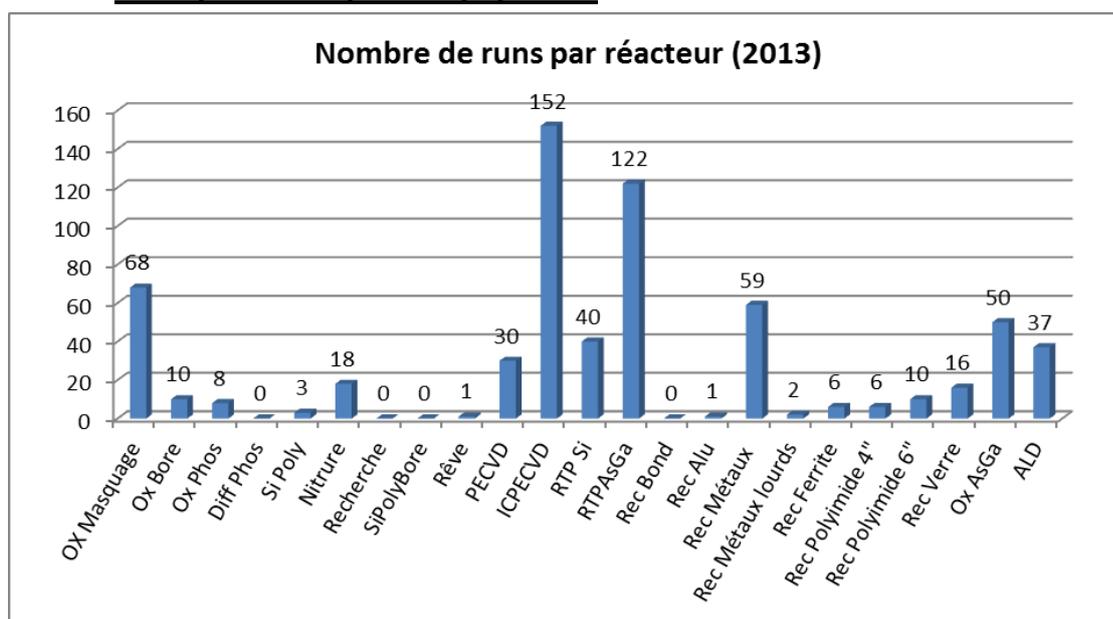
- Un stagiaire 2<sup>ème</sup> année DUT de l'IUT Mesures Physiques de Toulouse
- Cours TEAM , Oxydation, CVD
- 1 Formation d'utilisateur sur les fours de recuit RTP

## 8. BILAN

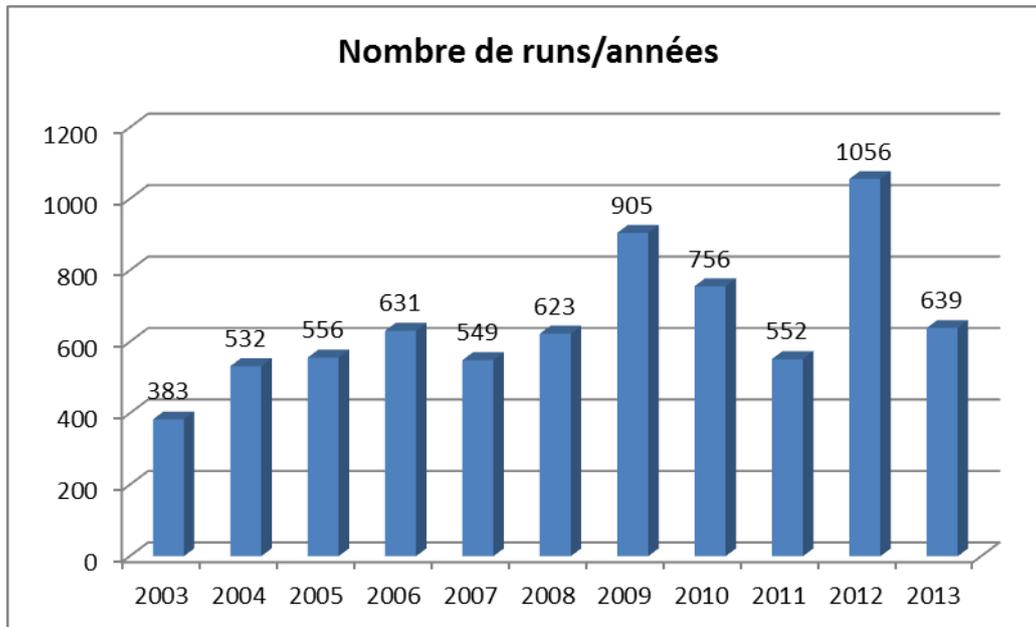
### 8.1. Bilan par groupes utilisateurs :



### 8.2. Bilan par technique ou équipement



### 8.3. Evolution au cours des dernières années



#### Analyse :

La chute de 40% du nombre de runs est à imputer en particulier aux activités sur les bâtis ICPECVD (- 75%) et ALD (-57 %), lié à la fin des procédés de calibration de ces équipements. Sur les autres équipements l'activité est stable, voire en légère augmentation pour les fours de recuit RTP par rapport à l'an dernier.

## 9. PROSPECTIVES

### 9.1. Equipements :

- Rétrofit AET et TEMPRESS (projet COM2I)
- Rétrofit LPCVD Si3N4 TEMPRESS (projet COM2I).
- Retrofit ancien fours de recuits AET avec de nouveaux régulateurs Eurotherm
- Démarrage du four SEMCO de Freescale
- Les projets COM2I doivent se finir cette année vu le départ à la retraite de Jean Louis Rastoul en 2014.

#### **Etat des procédures RENATECH en cours.**

Jouvence du PECVD STS groupé avec la gravure RIE de STS à prévoir administrativement. Un devis est déjà prêt pour donner un ordre d'idée de la somme à demander (210000€). Cette somme étant trop importante, une procédure d'achat d'un bâti PECVD, appartenant au LETI, est envisagée. Cet équipement servirait de pièces détachées et permettrait d'assurer une plus grande longévité de l'équipement actuel. Ce qui n'enlève en rien le besoin de jouvence à terme.

### 9.2. Procédés :

Dans le cadre de la 'qualification de la technologie MOS', réalisations périodiques de capacités MOS sur les tubes d'oxydation avec caractérisation du diélectrique.

### 9.3. Divers

- Des actions au niveau du plan contre la contamination sont à entreprendre pour contrôler la qualité des plaquettes arrivant dans la zone et sortant de la zone, en utilisant le TXRF.
- Il en est de même avec la zone de gravure pour établir une correspondance entre les matériaux réalisés dans la zone et leur gravure.

## 10. CONCLUSION GENERALE

Intégration réussie, depuis aout, de Lucile Mage.

Eléments remarquables au niveau équipements :

Réparation des fours Centrotherm et du PECVD STS

Reprise en main du fonctionnement de la zone au niveau sécurité de plusieurs équipements et au niveau des premières actions contre la contamination.

La zone des procédés thermiques est ainsi devenue ‘mature’ avec un potentiel certain.

La maintenance de tous les équipements, maintenance ‘conséquente’ reste une des premières activités du personnel de cette zone.

La stabilisation des demandes des chercheurs a permis de concentrer les efforts au niveau de la qualité des matériaux traités et déposés dans la zone et de la filière MOS. En cela, l'implication de Lucile, qui amène son expertise tant au niveau de sa connaissance des équipements PECVD que de la caractérisation des matériaux déposés, et de Christine Fourcade et Nathalie Lauber, dans le cadre du suivi et du contrôle de la qualité de la filière MOS, est remarquable. Ces travaux ont été valorisés par la présentation de deux posters, l'un lors de l'atelier "Nanomatériaux, nano-objets pour la détection et les capteurs", l'autre lors du GDR Micro et NanoSystèmes.

Il faut noter un bon résultat de la collaboration TEAM/Chercheurs sur le projet AlOx qui débouche maintenant sur la commercialisation de cet équipement par la société AET (vente d'un réacteur en Chine).

Au niveau du laboratoire il faut porter une attention particulière au remplacement de Jean-Louis Rastoul, qui consacre 50% de son temps à la zone des procédés thermique, et qui partira à la retraite en 2014.

Il n'y aura pas d'arrivée de nouveaux équipements dans la zone des procédés thermiques en 2014, par contre l'installation du four de recuit 6'' SEMCO de Freescale est à finaliser et la jouvence du PECVD STS couplé à celle de la RIE STS est à prévoir.

## EJM

## 1. EQUIPEMENTS

Equipement	Année d'achat	Valeur d'achat (€)	N° inventaire
<b>Bâti Riber 2300</b>	<b>1985</b>	<b>686020</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>cellules Ga, In, Al, 2xAs<sub>2</sub>, CaF<sub>2</sub>, Bi</li> <li>cellule plasma hydrogène</li> <li>RHEED 20kV</li> <li>Spectromètre de masse (0-100)</li> <li>Pilotage informatisé du bâti (LAAS)</li> </ul>	1985 2005 2004 1985	30000 51660 26530 6500	- 8047_W - -
<b>Bâti Riber 32P</b>	<b>1994</b>	<b>190686</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>cellules Ga, In, 2xAl, Be, Si, Bi</li> <li>cellule cracker d'As</li> <li>cellule plasma azote à pompage différentiel</li> <li>RHEED 10 kV</li> <li>Spectromètre de masse (0-200)</li> <li>Réflectométrie dynamique accordable</li> <li>Pyromètre basse température</li> <li>Pilotage informatisé du bâti (LAAS)</li> </ul>	1994 2001 1998 1994 2011 2001 2005	36000 29220 71928  4000	- - - - - 10148_PP - - -
Spectromètre Auger Riber OPC 105 3kV	1978	15000	-
Banc de photoluminescence rapide			-
Banc de réflectivité	2002	12000	-
Microscopes optiques	1985	6000	-
Diffraction de Rayons X haute résolution BRUKER D8 Discover (Da Vinci)	2012	305000	10407_W
UVOCS	1995	4000	-
<b>Bâti Riber MBE412</b>	<b>2011</b>	<b>1285000</b>	<b>10190_CE</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>cellules 2xGa, 2xIn, 2xAl, Sb, Si, CBr<sub>4</sub></li> <li>2x cellules cracker d'As</li> <li>cellule plasma azote à vanne intégrée</li> <li>RHEED 12 kV + camera + logiciel KSA400</li> <li>Spectromètre de masse (0-200)</li> <li>BandiT</li> <li>Pyromètre</li> </ul> Pilotage informatisé du bâti (Crystal - Riber) Chambre de transfert robotisée (cluster) Chambre de stockage/parking Chambre de dégazage haute température	2011		
Hottes de chimie	2008		9086_W 9082_W

## 2. UTILISATEURS

PHOTONIQUE, MPN, RENATECH, MICA (end user)

## 3. REFERENTS TEAM

- Alexandre ARNOULT (IR) : responsable de la zone
- Guy LACOSTE (IE)

## 4. MAINTENANCES

- **BATI 32P :**
  - Ouverture du module Sas pour intervention: remplacement d'une vis cassée du chariot de transfert des substrats.
  - Recalibration cellule cracker As .
  - Démontage, réparation, test de la canne transfert du module intro pièce d'accouplement HS.
  - Mise en service de 2 nouveaux molyblocs dont 1 spécial Si.
  - Remplacement des ventilateurs des alimentations cellules PS, Be, In.
  - Permutation du débitmètre massique de la cellule hydrogène pour test débit et test amorçage plasma.
  - Modification de la commande d'alimentation en azote liquide des réacteurs rajout d'un relai pour temporiser le séparateur de phase.
  - Remplacement du chiller de la cellule cracker As.
  - Rénovation de l'aspirateur de sécurité : filtres , flexible.
  - Réparation du système de blocage du cache général.
  - Remplacement de l'horloge du sublimateur de titane.
- **BATI 2300 :**
  - **Arrêt des croissances** fin mai 2013 cause fixation des roulements du manipulateur HS et court-circuit du four.
- **BATI 412 :**
  - Installation d'une nouvelle version du logiciel CRYSTAL 7.7.
  - Mise en place d'un 2eme capteur opto au niveau du manipulateur.
  - Maintenance onduleur.
  - Intervention sur le CLUSTER ouverture pour remplacer les roulements et la poignet du bras de transfert du cluster, étuvage , test ultravide.
  - Mise en place d'une fuite calibrée sur la ligne du CBr<sub>4</sub> .

## 5. BUDGET

### 5.1. 2013

Les sommes engagées en 2013 portent respectivement sur :

- Consommables : (48699,15€+ 29243€d'azote gazeux pour tout le laboratoire)  
Azote liquide : 7192€ gazeux : 29243€= **36851€**  
Substrats AsGa : **36513€**  
Boîtes stockage : **4343,60€**  
Éléments chauffants étuvage : **650,55€**
- Maintenance : (32925,67€)  
Molybloc empreinte carrée : **1150€**  
Réparation canne transfert: **433,70€**  
Commande pneumatique vanne cryo : **696€**  
Ordinateurs MBE : **2429,75€**  
Révision pompe turbo : **2292,80€**  
Ecran Rheed : **904€**  
Echange PI,jauge,cellule : **22090€**  
Entretien aspirateur AsGa : **1364,45€**  
Afficheur alim jauge : **514€**  
Épingle chargeur molybloc : **309,12€**  
Réparation débitmètre ligne N : **741,85€**

## 5.2. Prévisionnel 2014

Les sommes prévisibles pour 2014 sont les suivantes :

- Consommables : (32000€+ 36300€d'azote gazeux pour tout le laboratoire)  
Azote liquide : 7000€ gazeux : 29300€= **36300€**  
substrats GaAs : **20000€**  
6 molyblocs 2 pouces + 1 anneau uniformité: **5000€**
- Maintenance : (32050€)  
Remplacement des panneaux cryogéniques sur bâti 32P (pris en charge par RIBER)  
Pannes diverses.... : **7000€**  
Installation cellule H sur MBE 412 : **1000€**  
Ouverture, intervention MBE412 (charges) : **18000€**  
Tube rayon X : **5000€**  
Déplacement ondulateurs MBE32 et 2300 : **400€**  
Reconfiguration 3x eurotherms : **450€**  
Réparation minuterie sublimateur de titane : **200€**
- Support : (26120€)  
Modification boucle de refroidissement bâti 412 : **1500€**  
Ellipsomètre départ H MBE 412: **15000€**  
Débitmètre massique cellule H : **4473€**  
Modification tuyauterie électrovanne tanker azote liquide : **500€**  
1x CPU Ethernet MBE 412 : **978€**  
1x Module INPUT MBE 412 : **906€**  
1x Module OUTPUT MBE 412: **558€**  
2x caches hublot 35CF: **2000€**  
1 réducteur conique CF40CF63 : **205€**

### 5.3. Commentaire

L'arrêt du séparateur de phase la nuit et le week-end confirme la baisse de la consommation d'azote liquide. La consommation peut-être estimée à une valeur de 35litres/heure pour chacun des 3 réacteurs

## 6. EVOLUTION DES PROCEDES

L'étude de nouveaux matériaux/procédés continue, principalement sur le MBE32P:

- Croissance d'alliages de  $\text{GaAs}_{1-x}\text{Bi}_x$  en couches épaisses et en puits quantiques. La mise au point de la croissance de ces alliages a montré une grande sensibilité aux conditions de croissance.
- Croissance de nanofils GaAs sur substrats Si.
- Croissance de GaAs sur substrats Si.
- Croissance de puits/boîtes quantiques sur surfaces nano-structurées.

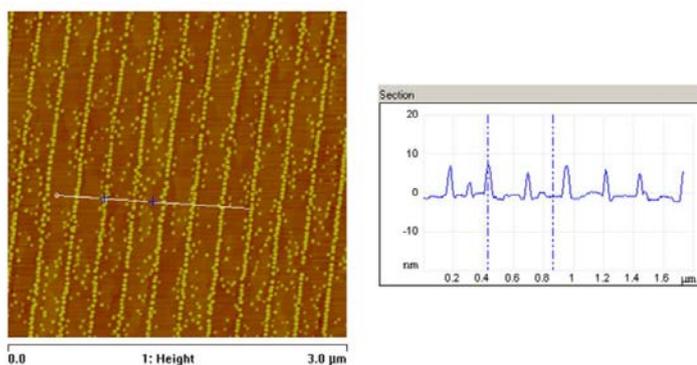


Figure 2.33 : Image AFM et profil associé de localisation de boîtes quantiques d'InAs sur un motif nanostructuré orienté [1-10] avec un puits  $\text{Ga}_{0.82}\text{In}_{0.18}\text{As}/\text{GaAs}$  (10nm) sous-jacent plus épais.

Le bâti MBE412 est pleinement utilisé et répond autant que possible aux nombreuses demandes internes et externes. Ces demandes sont très variées : miroirs de Bragg, VCSELs, puits et boîtes quantiques, guides d'onde, structures pour membranes, etc...

Ces croissances sont principalement réalisées sur GaAs (001), mais certaines ont été spécialement mises au point pour des demandes externes (RENATECH) sur substrat (111)B (INSA Toulouse et EPFL), et sur InP (Arizona University).

## 7. FORMATIONS

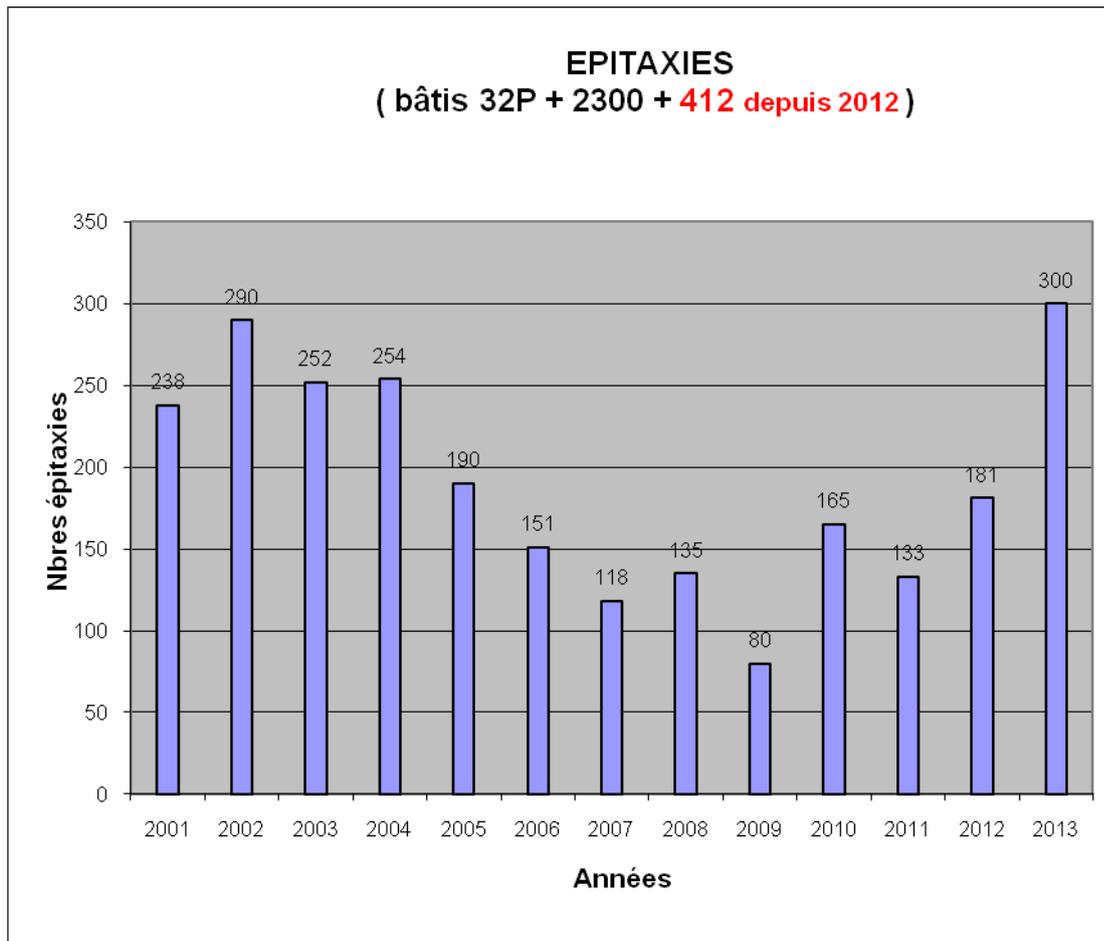
Cours TEAM sur l'épitaxie par jets moléculaires.

## 8. BILAN

### 8.1. Bilan par technique ou équipement

Sur la période, 290 épitaxies ont été réalisées sur les bâtis 32P, 2300 et 412.

### 8.2. Evolution au cours des dernières années

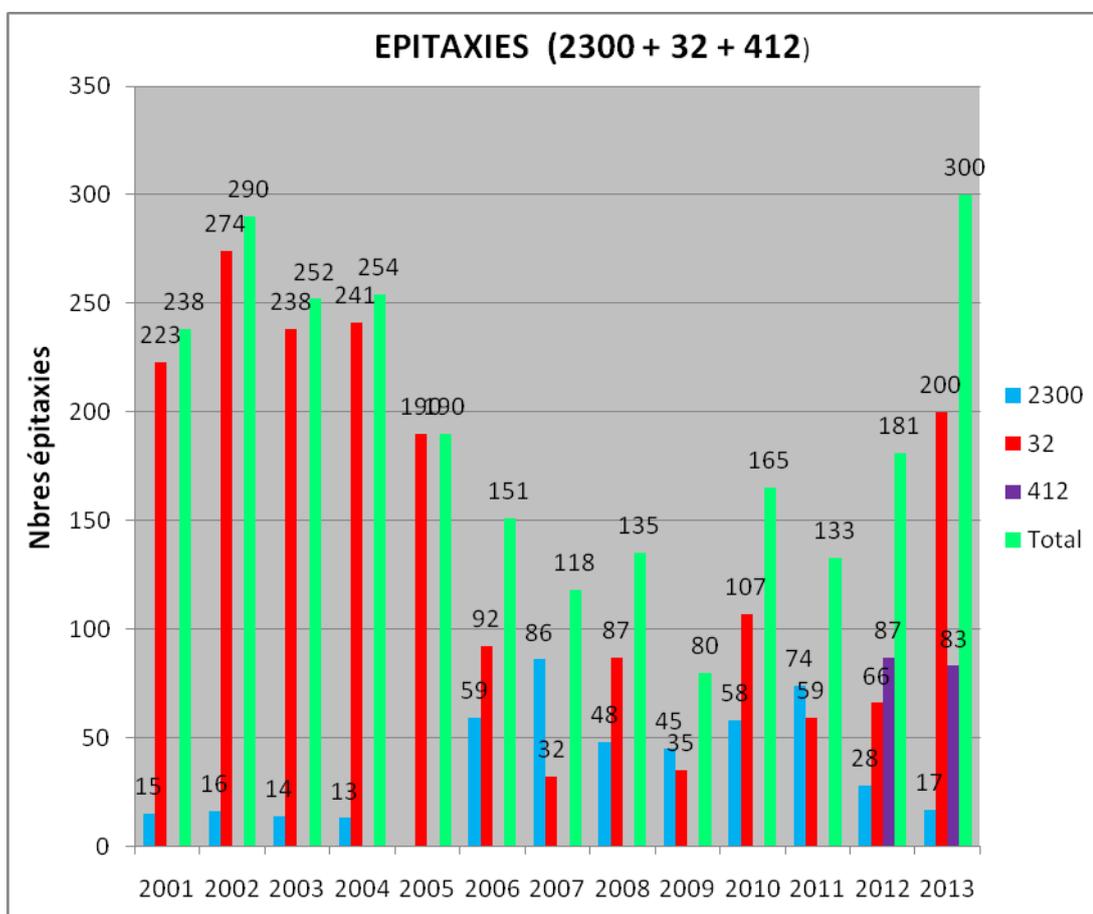


### 8.3. Analyse :

Cette année, le nombre de procédés réalisés a fortement augmenté. Ceci est dû principalement à un nombre élevé de procédés courts réalisés pour la fin de thèse de Hejer Makloufi sur le MBE32P, sur la reprise d'épitaxie et l'épitaxie sur surfaces GaAs nano-structurées, et au "régime de croisière" atteint par le MBE412, qui n'a cessé d'être sollicité.

Le MBE2300 a subi une panne majeure en court d'année (manipulateur HS). Celui-ci était utilisé exclusivement à la décontamination de surface par plasma d'hydrogène. Ce procédé a été transféré sur le MBE32P et va être testé en 2014. En attendant, une nouvelle technique de désoxydation des surfaces de GaAs, assistée à partir d'un flux de Ga, a été mise au point dans le cadre de la thèse d'H. Makhloufi. L'avenir du MBE2300 est en réflexion. Notons qu'il est maintenu sous ultra-vide en attendant.

Concernant le MBE412, les nouvelles cellules de Ga, ainsi qu'une nouvelle cellule d'As ont été livrées par Riber (pris en charge par ce dernier). Elles ne seront montées que lorsque la campagne actuelle sera terminée.



## 9. PROSPECTIVE

### 9.1. Equipements :

#### Bâti 32P

Les panneaux cryogéniques de ce bâti sont saturés, et sont une source très importante de défauts. De nouveaux panneaux et une bride cellule ont été livrés fin 2013 au LAAS pour une mise en place en février 2014.

Cette maintenance d'un montant de 90k€ est prise en charge par RIBER dans le cadre des compensations dues en raison du retard de mise en service du bâti 412.

Si l'ANR que vient de déposer C.Fontaine sur les alliages GaAsBi est acceptée, un équipement de contrôle par BandiT, identique à celui présent sur le 412, sera installé sur ce bâti pour assurer le contrôle de la température du substrat pendant l'épitaxie.

#### MBE412

Nous voulons développer des techniques de contrôle de croissance in-situ telles que la pyrométrie dynamique accordable, en collaboration avec la Société KSA, (inspirée par la technique démontrée au LAAS lors de la thèse de V. Bardinal)) ou la mesure directe du flux

des cellules (OFM – Optical Flux Monitoring) en collaboration avec le Société Riber. Ces techniques sont connues pour améliorer très significativement la reproductibilité et la précision, par le suivi (voire la commande) du procédé d'épitanie. Enfin, nous souhaitons équiper le module de dégazage d'un ellipsomètre simplifié, mono longueur d'onde (UV) afin de suivre in-situ le départ d'oxydes sous plasma d'hydrogène.

## **9.2. Procédés :**

### **Bâti 32P et 2300**

L'étude sur la reprise d'épitanie sur les surfaces micro et nano-structurées devrait être poursuivie.

La croissance de GaAsBiN sera poursuivie (sur le 32P), ainsi que les épitanies de III-V (binaires GaAs, InAs et leurs alliages) sur surfaces planes de silicium. Ces dernières seront ensuite transférées sur le bâti 412.

### **Bâti MBE412**

La liste des demandes de croissances est continuellement alimentée, et ce bâti devrait pouvoir continuer à fournir ces croissances plus ou moins classiques.

L'évènement majeur de l'année 2014 sera le démarrage d'une activité de croissance de fils quantiques sur substrats Si par Sébastien Plissard, nouvel entrant CR au LAAS.

## **10. CONCLUSION GENERALE**

En 2013, la zone a été en pleine effervescence, avec la fin de thèse de Hajer Makhloufi sur les bâtis 32P et 2300, et le succès des alliages GaAsBi, et le nombre croissant de demandes de nouvelles croissances sur le MBE412. Une panne majeure a affecté le 2300, et une réflexion est en cours quant à son futur.

L'année prochaine commencera par une mise à neuf du bâti 32, payée majoritairement par la société Riber, en compensation des retards au démarrage du MBE412. Elle verra aussi le démarrage de nouvelles activités, notamment la croissance de fils quantiques, activité liée à l'arrivée d'un nouveau chercheur expert en la matière.

Il faut noter que la croissance ne concerne plus seulement l'équipe PHOTO : les équipes MPN et MICA sont aussi désormais impliquées.

Enfin, de nombreuses épitanies ont été réalisées suite à des demandes externes de laboratoires tels que l'EPFL, l'INSAT, l'Institut Néel à Grenoble, ou l'Université d'Arizona.

## IMPLANTATION IONIQUE

### 1. EQUIPEMENTS

Equipement	Année d'achat	Valeur d'achat (€)	N° inventaire
Eaton 4206	1995	351000	-
IMC 200 (Upgrade du 4206)	2007	331740	-
Hottes à flux	2007	10000	-
Upgrade Modifications IMC 200	2009	20000	-

### 2. UTILISATEURS

N2IS, MPN, NBS, ISGE, TEAM, RENATECH

### 3. REFERENTS TEAM ET ORGANISATION

Les zones implantation ionique et traitement thermique ont fusionné dans l'organigramme du service début 2013. Les personnels impliqués dans la zone implantation ionique sont:

- Eric Imbernon IR2 Responsable de la zone.
- Jean-Christophe Marrot AI.

La gestion de l'équipement se fait grâce à un planning qui permet d'organiser au mieux l'activité en permettant notamment le regroupement des implantations par espèces et la programmation de la maintenance préventive de l'équipement.

Les implantations réalisées sont archivées dans un fichier électronique.

Un planning GRR est disponible en ligne pour consultation. Les réservations seront toujours exclusivement effectuées par le personnel référent de la zone.

### 4. MAINTENANCES

#### 4.1. Maintenances

- Nettoyage et décontaminations des sources (environ 18 jours sur l'année)
- Changement de la pompe cryogénique de la Beamline

#### 4.2. Réparations

- Changement d'un module d'interface réseau.
- Changement de jauges (TC1 (vide primaire) et G2 (vide secondaire))
- Changement carte load/unload

## 5. BUDGET

### 5.1. 2013

- Consommables
  - Jauges PBR (vide primaire et secondaire) : 1365 €
  - Iodure de germanium: 307 €
  - Module d'interface réseau: 346 €
  - Carte load/unload station: 952 €
  - Galden: 900 €
- Maintenance
  - Pompe cryogénique + kit absorbeur End Station: 4365 €

### 5.2. Prévisionnel 2014

- Consommables
  - Galden HT 110 : 900 €
  - Argon : 220 €
- Maintenance
  - Pompe primaire chimique: 5000 €
  - Pompe primaire roots: 1000 €
  - Jauge PBR (vide primaire et secondaire) = 650 €

### 5.3. Commentaire

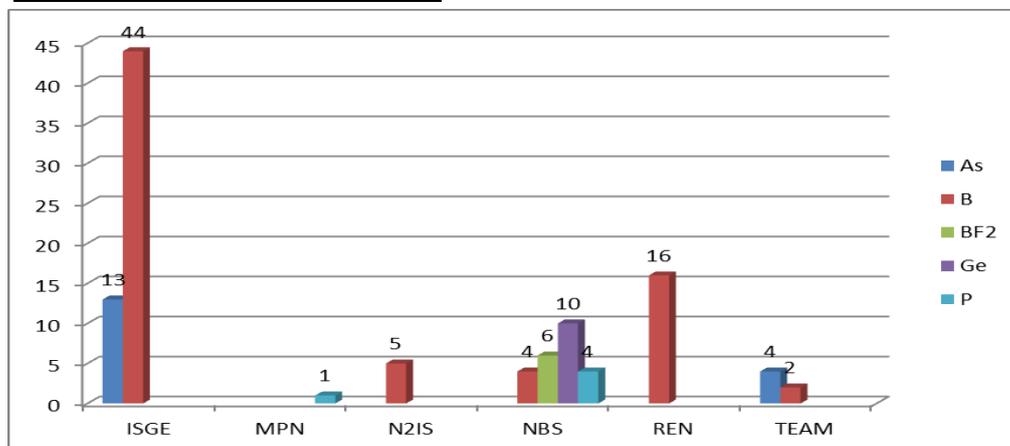
Le budget de la zone est en augmentation par rapport à l'an dernier. En effet, nous avons dû changer la pompe cryogénique (prévu tous les deux ans). De plus, nous avons eu à changer quelques éléments défectueux (cartes électroniques, jauges) liés à l'augmentation du nombre d'implantations.

## 6. FORMATIONS

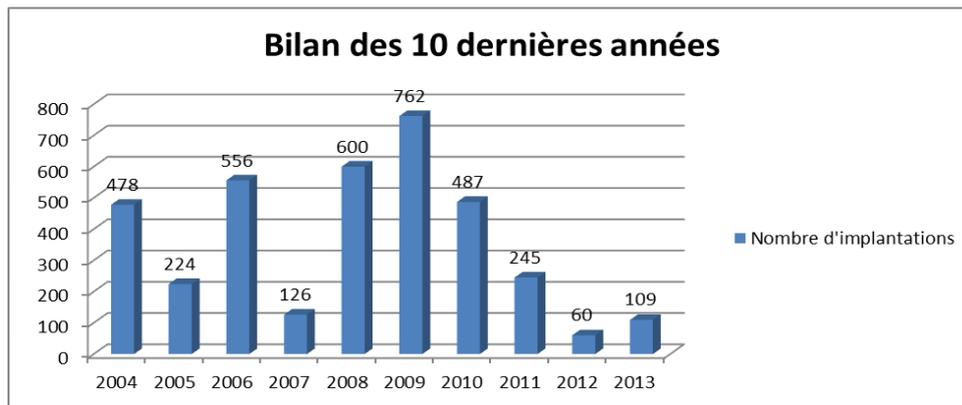
- Cours TEAM sur l'implantation

## 7. BILAN

### 7.1. Bilan par groupes utilisateurs :



## 7.2. Evolution au cours des dernières années



## 7.3. Analyse :

Le nombre d'implantations est en augmentation (+81 % par rapport à l'année dernière). En effet, les procédés MOS prévu pour 2013 ont débuté et cette augmentation devrait se poursuivre en 2014 notamment avec le projet grand emprunt Tours 2015 qui a été notifié. La gestion du planning et l'archivage des données d'implantation dans un fichier électronique permet de bien définir le type d'implantation avec le demandeur et d'avoir des retours sur les implantations réalisées précédemment.

## 8. PROSPECTIVE

### 8.1. Equipements :

- Sources haute température. Il faut expertiser le besoin en ce domaine. Ces sources permettraient d'implanter de nouvelles espèces à partir de sources solides.
- Refonte système de chargement/déchargement. Le système actuellement en place est mécanique. Il est très performant lorsque le type de plaquettes reste identique, mais peut être à l'origine de casse lorsque ces types de plaquettes changent. Ce qui est le cas pour les applications au LAAS. Il faut expertiser l'utilité de faire une modification de ce système pour adapter un chargement/déchargement robotisé plus fiable.

### 8.2. Procédés :

- Calibration du système de refroidissement des échantillons in situ. Afin de minimiser la carbonisation des résines.
- Mesure de la température de l'échantillon en mode implantation.

## 9. CONCLUSION GÉNÉRALE

Nous avons constaté une augmentation de l'activité dans la zone due notamment à l'arrivée de projets qui sollicitent fortement l'implanteur. Cette augmentation devrait se poursuivre en 2014, notamment avec le projet Tours 2015 basés sur la réalisation de dispositifs MOS de puissance.

Cette année encore, nous n'avons pas rencontré de problème majeur sur l'implanteur. Nous allons poursuivre l'étude et l'optimisation du système de refroidissement des plaquettes en phase d'implantation ainsi que le passage en mode 6 pouces.

## INFRASTRUCTURE ET SOUTIEN

### 1. EQUIPEMENTS

- Traitement d'air :
  - 4 centrales d'air neuf équipées de deux humidificateurs
  - système extraction d'air
  - Soufflage : PC commande 126 FFU
- Production eau désionisée :
  - Prétraitement : adoucisseur, charbon actif, osmoseur
    - Traitement : résine lit mélangé, "UV", filtration 0,22µm
    - Régulation T° de la boucle eau DI
  - Pompe de circulation
- Centrale eau de refroidissement : Réseau général
  - Pompe de circulation 16M3/h -- 3Bars
  - Echangeur eau glacée T° entrée 8°C sortie 15°C
  - Filtration 3µm
  - Régulation automatique 18°C – 22°C
- Centrale eau de refroidissement : Réseau dédié à la zone "four"
  - Pompe de circulation 15M3/h -- 3Bars
  - Echangeur eau glacée T° entrée 8°C sortie 15°C
  - Filtration 3µm
  - Régulation T° manuelle 20°C – 24°C
- Réseau gaz purs :
  - Une trentaine de gaz différents : Hydrogène, azote hydrogéné, argon, oxygène, ammoniac, silane, disilane, dichlorosilane, hélium..... etc
  - Centrales Gaz
- Système sécurité gaz :
  - Capteur : zone four gaz dangereux, MBE seuil O2
  - Scrubber
  - PC commande
- Aspiration centralisée :
  - Groupe d'aspiration
  - Cuve de filtration.
- Centrale vide :
  - une pompe en service + une pompe en réserve pour intervention maintenance
- Contrôle qualité :
  - Appareil de mesure particulaire
  - Anémomètre à fils chaud
- Traitement rejets liquides
  - Station traitement des effluents liquides. (neutralisation)
- Station traitement Air Sec
  - Unité de filtration air sec installation générale.
  - Sous station production air sec "Stepper "
- Sécurité :
  - Douche de sécurité.

### 2. UTILISATEURS

MINC, MOST, PHOTONIQUE, NBS, N2IS, MICA, MPN, ISGE, MH2F, RENATECH, I2C

### 3. REFERENTS TEAM ET ORGANISATION

- T. Do Conto AI
- A. Maiorano AI
- L.Bouscayrol AI
- M. Benoit AI
- C. Fourcade TCS

Cette zone est divisée en deux activités principales :

**1/ Maintenance, infrastructure et logistique.** (De la Salle blanche, des salles de caractérisations et de la salle nano-bio)

- Maintenance préventive et curative des réseaux aérauliques et fluides :
  - Traitement d'air (maintenance assurée en collaboration avec le service logistique et une société de maintenance)
  - Production eau DI
  - Centrale eau de refroidissement
  - Centrales gaz purs
  - Système sécurité gaz
  - Fluides : Air sec, vide
  - Aspiration centralisée
  - Gestion et suivi des contrats de maintenance
- Infrastructure :
  - Assistance technique : assurer l'interface entre les équipements et les réseaux collectifs
  - CAO des installations annexes : fluides, extraction soufflage, poste de travail.....
  - Encadrement entreprise intervenant pour et en salle blanche (respect du devis et contrôle des règles de sécurité et de contamination)
  - Avis de publicité.
  - Gestion de contrats (CVC, air sec, portes automatiques, sécurité gaz, azote)
- Logistique :
  - Réception et transfert des équipements
  - Gestion des gaz pur de process
  - Gestion des consommables : filtre, matériel de raccordement, huile pompes à vide
  - Contrôle qualité : contrôle classe salle blanche : ambiance, poste de travail

#### **2/ Soutien**

Monique Benoit et Christine Fourcade assurent des missions de soutien

- Gestion des nouveaux entrants en salle blanche
- Gestion des consommables de salle blanche
- Gestion des tenues de salle blanche
- Gestion des fiches de process
- Saisie des bons de commande du service
- Suivi administratif des projets de recherche externalisés dans le cadre du réseau Renatech

#### 4. MAINTENANCES

Quelques-unes des actions conduites régulièrement

- Quotidienne: vérification installation eau DI, eau de refroidissement. Contrôle visuel de l'ensemble des autres équipements situés au rez-de-chaussée dans le local technique.
- Visite de contrôle des installations de traitement d'air réalisée par la société de maintenance. Relevé quotidienne des paramètres : pression – température – hygrométrie salle blanche
- Maintenance ponctuelle (curative)
  - Eau DI :
    - changement filtres
    - Décolmatage membrane osmoseur
    - désinfection boucle de circulation
    - changement lampe "UV"
  - Toutes les actions avec la société en charge du contrat de maintenance
    - Remplacement des filtres
    - Nettoyage humidificateurs
    - Relevés hebdomadaires
  - Sécurité : changement des capteurs de gaz (contrat de maintenance pour toutes les salles)

#### 5. BUDGET

##### 5.1. 2012

- Consommables : 19198€

DESIGNATION TRAVAUX	PRIX
Eau DI	4000€
Huile pompes à vide	4000€
Gaz	10826€
Petit matériel et consommable divers	4050 €

- Maintenance et travaux infrastructure : 18380€

DESIGNATION TRAVAUX	PRIX
Réseau air sec	1600 €
Ventilation stock chimie	28000€
Exhausts machines	2700 €
Lignes N2 PAV (pompe à vide)	1580 0€
BypassN2 scrubber	255 €

- Support (installations de nouvelles machines) : 91164 €

DESIGNATION TRAVAUX	PRIX
ligne Ar gravure STS	980 €
découpe panneaux semi tool	900
SEMITOOL	1820 €
Separation hotte	185 €
Ultratech (step 1500)	2350 €
Reseau air sec	1630 €
raccordement eau	386 €
OLED	4600 €
SEPAREX CO2 2013	4350 €

Raccordement laminateurs	640 €
Raccordement MVD	4130 €
Raccordement FOUR ASM	1000 €
Raccordement TXRF	5060 €

### 5.2. Prévisionnel 2013

- Consommables : 39600€
- Maintenance et travaux infrastructure : 12 000 €
- Support (installations de nouvelles machines) : 71000€

### 5.3. Commentaire

Globalement le montant devrait être proche de 2013 du fait de l'évolution constante de la plateforme.

## 6. OPERATIONS PARTICULIERES

Sans exhaustivité sur l'ensemble des actions quelques points marquants sont

- CAO, DAO réseaux collectifs salle blanche :
  - Mise à jour de tous les plans de réseaux Salle Blanche (Air/gaz)
  - Etude, conception du futur aménagement postes de chimie
- Mise en place des équipements neufs :
  - Déménagement équipements offerts par Freescale
  - Zone LITHOGRAPHIE LASER « TML + KLOE 750 »
    - Mise en place - Installations électriques, fluides
  - Zone : 'METALLISATION OLED + CO2 2013'
    - Implantation machines
    - Etude, conception et mise en travaux de l'installation de gaz
    - Raccordements machine gaz et système de vide et eau de refroidissement
    - Installation électrique
  - Zone : PHOTOLITHOGRAPHIE ULTRA STEP 1500 (FREESCALE)
    - Implantation machines
    - Etude, conception et mise en travaux de l'installation de gaz
    - Raccordements machine gaz Installation électrique
  - Zone EJM TXRF
    - Implantation machine
    - Etude, conception et mise en travaux de l'installation de gaz
    - Raccordements machine gaz et système de vide et eau de refroidissement
    - Installation électrique
  - Zone FOUR: SPD MESSTAR
    - Implantation machine
    - Etude, conception et mise en travaux
    - Raccordements système de vide et air sec
    - Installation électrique
- Travaux d'infrastructure
  - Installation d'un système d'annonce vocale asservi au système d'extraction. Alarme activée dès l'arrêt des différents extracteurs d'air de l'ensemble des salles blanches.

- Logistique liée à l'arrivée d'équipements
- Soutien
  - Un effort particulier a été porté cette année sur l'accueil des nouveaux utilisateurs de la salle blanche selon les éléments présentées en COMTEAM 2013 et dans les CS d'équipes. Une procédure est en cours de formalisation. Elle demande un fort investissement de Monique Benoit et Christine Fourcade. Les bénéfices devraient commencer à apparaître en 2014.

## 7. ANALYSE

Domaine d'activité très étendu, charge de travail conséquente demandant un investissement certain pour maintenir et faire évoluer une salle blanche de cette taille dans les meilleures conditions technique et garder l'outil de travail performant.

## 8. PROSPECTIVE

Principales actions d'installation à mener dans l'année

- Finalisation de l'installation des équipements Freescale.
  - TXRF
  - PLASMA 02 : TEGAL/MATRIX
  - SCA
- Finalisation aménagement de la nouvelle zone "Assemblage"
- Ré-aménagement général lié au déploiement d'une nouvelle organisation des postes de chimie

## 9. CONCLUSION GENERALE

Cette année encore cette zone est en forte activité. Par leurs compétences les trois intervenants sont complémentaires.

La grande technicité demandée et la réactivité nécessaire au fonctionnement des installations permettent d'en assurer la pérennité et d'en maîtriser les aspects qualité et coût de fonctionnement au service des projets de recherche.

Il faut amplifier les actions contrôle qualité en suivant une démarche d'amélioration continue.. Au niveau des procédés il faut encore améliorer les interactions entre l'infrastructure et le process afin de mieux identifier les actions à mener. Notamment pour la lutte contre certaines contaminations (une action est déjà lancée sur ce thème), mais aussi pour avoir une stabilité de l'environnement salle blanche absolument nécessaire à la réussite des procédés. Enfin les actions liées à la sécurité sont une priorité dès quelles sont identifiées et les solutions élaborées.

De la même façon l'activité de soutien apportée par M. Benoit et C. Fourcade est essentielle au bon fonctionnement de la structure. Nous veillerons à mettre en place de nouvelles procédures d'accès à la salle blanche afin d'optimiser ces actions très consommatrices en temps. Il n'est plus possible de continuer à accueillir les nouvelles personnes ayant accès à la salle blanche de manière instantanée et continue. Des périodes clairement précisées seront définies. Elles permettront d'organiser cet accueil, de préciser aux nouveaux entrants les usages de la salle blanche, et les droits et devoirs de chacun.

De plus il faut pointer la lourde charge représentée par l'interface avec nos fournisseurs. La réactivité de leur côté n'est pas toujours au rendez-vous. La qualité des travaux nécessite une attention constante de notre part.

Enfin le départ de Monique Benoit qui fait valoir ses droits à la retraite , fin juin 2013 va indéniablement poser un problème dans le soutien apporté au quotidien aux utilisateurs de la salle blanche. Des actions ont été initiées notamment pour le développement d'outils d'aide à la gestion des stocks (demande COMII) mais elles n'ont pas été classées dans les priorités. Au départ de Monique Benoit ces outils ne seront donc pas disponibles. Il va falloir rapidement trouver une solution pour résoudre ce problème (recrutement , mobilité interne ?)