



HAL
open science

Bilan 2014 des zones de la plateforme de micro et nanotechnologies

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

► To cite this version:

Hugues Granier, Adrian Laborde, Alexandre Arnoult, Antoine Maiorano, Aurélie Lecestre, et al.. Bilan 2014 des zones de la plateforme de micro et nanotechnologies. 2015, 105p. <hal-01867464>

HAL Id: hal-01867464

<https://laas.hal.science/hal-01867464v1>

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.



HAL Authorization



BILAN 2014 DES ZONES DE LA PLATEFORME DE MICRO ET NANOTECHNOLOGIES

Février 2015

Auteurs : TEAM

Table des matières

PHOTOLITHOGRAPHIE.....	3
LITHOGRAPHIE ELECTRONIQUE.....	14
LITHOGRAPHIE LASER.....	19
LITHOGRAPHIE PAR NANO-IMPRESSIION.....	23
DEPOTS SOUS VIDE.....	33
JET D'ENCRE.....	44
ELECTROCHIMIE.....	52
TRAITEMENTS THERMIQUES.....	57
IMPLANTATION IONIQUE.....	64
GRAVURE SECHE PAR PLASMA.....	67
ASSEMBLAGE.....	79
CARACTERISATION.....	87
CHIMIE.....	93
INFRASTRUCTURE ET SOUTIEN.....	102

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	-
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 (x5)	2010	1260	9821_W et 9820_W
Centrifugeuse Semitool 4/6 pouces	1990	24400	Don

• *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, TEAM, 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.
- N. Dufour, IR CDD, 20% sur la zone.
- **Organisation :**
 - Les équipements de la zone photolithographie sont en **libre-service après formation**.
 - Les réservations des équipements se font au moyen de l'application GRR.
 - La répartition des tâches est la suivante :
 - Formation :
 - Laurent M. est en charge des formations des nouveaux entrants
 - Adrian L. assure le support aux utilisateurs
 - Procédés (Laurent M.) :
 - le suivi des procédés
 - le développement de nouveaux procédés
 - Equipements (Adrian L.) :
 - les réparations de premier niveau
 - le suivi des interventions des équipementiers
 - Gestion :
 - Laurent M. est en charge de la gestion organisationnelle (bilans d'activité, budgets, qualité, sécurité)
 - Adrian L. assure le suivi des ressources
- Rémi C. participe au suivi des procédés et aux démarches qualité avec Laurent dans la zone.
- Nicolas D. est associé à Adrian sur le suivi des équipements et des stocks.
- Christine Fourcade et Vinciane Luque aident sur le suivi et les commandes de substrats SiP, verre AF32 et boîtes.

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 »
 - Dans le cadre de la démarche d'amélioration continue, cette action consiste à réaliser un nettoyage, un 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 de la plateforme en 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 :
 - Qualification des équipements : (réalisé par Adrian L. et Nicolas D.)
 - bilan sécurité : calibration des lampes UV.
 - changement des consommables.
 - réparation des pannes.
 - Qualification des procédés : (réalisé par Rémi C. et Laurent M.)
 - Qualifications des procédés standards :
 - ECI 1.1µm sur stepper Canon.
 - ECI 1.1µm sur MA150.
 - NLOF 5µm.
 - AZ 40XT 40µm.

- SU8 100µm.
- Les caractérisations effectuées sont :
 - Analyses défauts – particulaire.
 - 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 pour le moment. Une discussion est menée avec Canon. Adrian Laborde et Laurent Mazenq assurent la maintenance et règlent la majorité des problèmes de fonctionnement des machines de la zone.

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

- **Soutien du service Infrastructure :**

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.
- Mesures particulières
- Sécurité.
- Maintenance des compresseurs du photorépéteur Canon.

Des actions ont été menées en 2014 afin de réduire les mesures de COV dans la zone (COV = Composés Organiques Volatils = odeurs de solvants) :

- Sensibilisation des utilisateurs (par courriers électroniques)
- Mise en place d'affiches sur les postes
- Acquisition d'un détecteur de COV et mesures régulières.
- Rééquilibrage du soufflage

- **Soutien électronique et informatique :**

D. Colin et Vinciane Luque apportent leur soutien pour les problèmes électroniques et informatiques.

- **Soutien de certains utilisateurs :**

Adrien Casanova et Brioux Durand (groupe MPN) ont participé aux travaux de maintenance du stepper Canon. Cette aide a permis d'être plus réactifs pour la réparation et la calibration de l'équipement.

- **Réparations :**

- EVG 120 :
 - 2 bras changés suite à des mauvaises utilisations (1946 €)
 - Panne du module de dispense automatique (3085€)
- Stepper Canon :
 - Changement de la caméra du module d'alignement (11600 €)
 - Réparation du condenseur de la lentille de projection (10000€)

- Une alimentation changée (2852€)
- Réparation carte préalignement HS (745€)
- Changement carte préalignement HS + intervention (11569€)
- Panne sur système refroidissement, changement d'un ventilateur (133€)

- EVG 620 :
 - 1 Changement d'un contrôleur (1511 €)
 - 1 Réparation d'un contrôleur (420 €)

- MA150 :
 - Réparation du système de support du microscope (4180€)
- MA6 :
 - Pannes sur 2 alimentations (381€)
 - Changements électrovannes (110€)

- Spray coater :
 - Changement du moteur (2171€)
 - Intervention pour réparation (8261€)

- Tournettes :
 - Electrovanne vide bouchée (mauvaise manip utilisateur) (192€)
 - Moteur Changé (mauvaise manip utilisateur) (805€)

5. BUDGET

5.1. Année précédente : 2014

Sur l'année, le montant total des dépenses liées à la zone s'élève à **188691.18 €**

Les sommes engagées sont réparties sur deux aspects

- Consommables (résines et développeurs) : **52391.17€**
- Maintenance : **72857.51 €**
 - Interventions équipementiers : 35420.73€
 - Pièces : 37436.78€

Substrats : **63442.50€**

On peut également répartir les dépenses en maintenance par équipements :

Equipement :	Coût total :	Interventions équipementiers :	Pièces :
Canon FPA 3000i4	36899,57	14860,00	22039,57
Ultratech 1500	0		
EVG120	5031,64		5031,64
Aligneur de masques EVG 620	1930,98		1930,98
Aligneurs de masques Suss (4 machines)	13289,61	12300,00	989,61
plaque chauffantes	0,00		
Spray coater	10431,43	8260,73	2170,70

Tournettes	997,08		997,08
Semitoool	0		
Microscopes Leica	0		
Lampes UV	4277,20		4277,20
Total	72857,51	35420,73	37436,78

Prévisionnel 2015 :

Le budget prévisionnel est de **199K€**.

Il faut ajouter 50K€ de jouvence machine (tournée) et support infrastructure (mis en conformité sécurité des paillasses).

Il se décompose selon :

- Consommables :
 - Substrats **63,5K€**
 - Résines & développeurs **38K€**
- Maintenance « indispensable » **68.4K€**
 - Maintenance « retardable » **19,2 K€**
- Equipement :
 - Jouvence tournette **10K€**
 - Plaque chauffante avec rampe **20K€**
- Support :
 - Mise en conformité sécurité aspiration paillasses **20K€**

5.3. Commentaire :

Le budget pour 2015 est basé sur une **activité stable** par rapport à 2014.

Le « budget maintenance » est en hausse de 3.5K€ par rapport à 2013.

- pannes onéreuses sur plusieurs équipements (EVG 120, Stepper Canon, Spray coater)
- du parc machine globalement vieillissant pour des équipements en libre-service

(Classés par taux d'occupation):

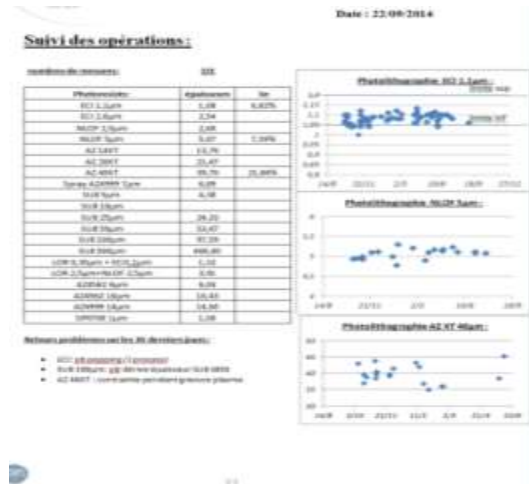
- EVG 120 : 10 ans.
- MA 6 : 20 ans.
- MA150 : 17 ans.
- Stepper Canon 17ans.
- MJB3 : 31 ans.
- EVG 620 : 10 ans.

6. EVOLUTION DES PROCÉDES

6.1. Suivi des résultats :

Un fichier de suivi des opérations réalisées en photolithographie est mis en place (SPC Contrôle Statistique des Procédés). Cet outil permet un meilleur suivi et une meilleure reproductibilité des opérations. Il permet aussi d'estimer le taux d'échecs sur les procédés.

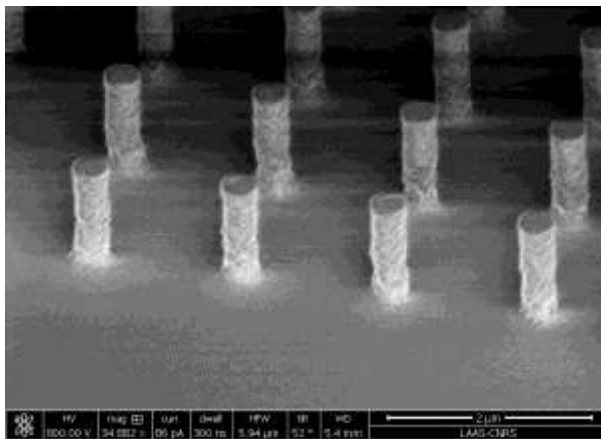
Un module à ce niveau est en cours de réalisation sur l'application Sultan (fiches de procédés informatisées).



6.2. Développements des procédés sur le stepper Canon :

6.2.1. Focus pattern offset et data logging process

Ce système permet une meilleure mesure du focus des substrat. Il réduit les erreurs liées aux défauts d'uniformité d'épaisseurs des photoresists ou de planéité du substrat.



6.2.2. Amélioration du système d'alignement

Une nouvelle méthode est utilisée pour étalonner l'alignement sur l'équipement. Avec cette nouvelle méthode, la précision des alignements des différents niveaux sont d'environ 100nm.

6.3. MO Optics:

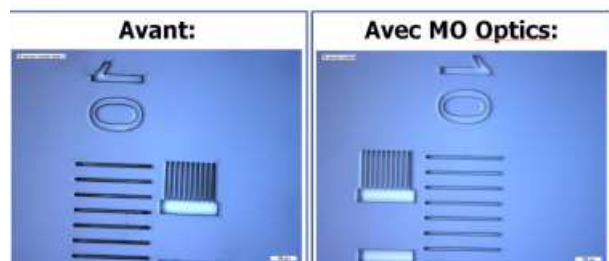
Ce système optique de Suss Microtec a été installé sur la MA 150.

Son coût de 18.5K€ a été financé 50% par TEAM et 50% par 6 chercheurs.

Il permet: une meilleure profondeur de champ:

- pour les résines épaisses (gain en résolution pour les résines d'épaisseur > 10µm)
- 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.



6.4. Remplacement du Remover PG :

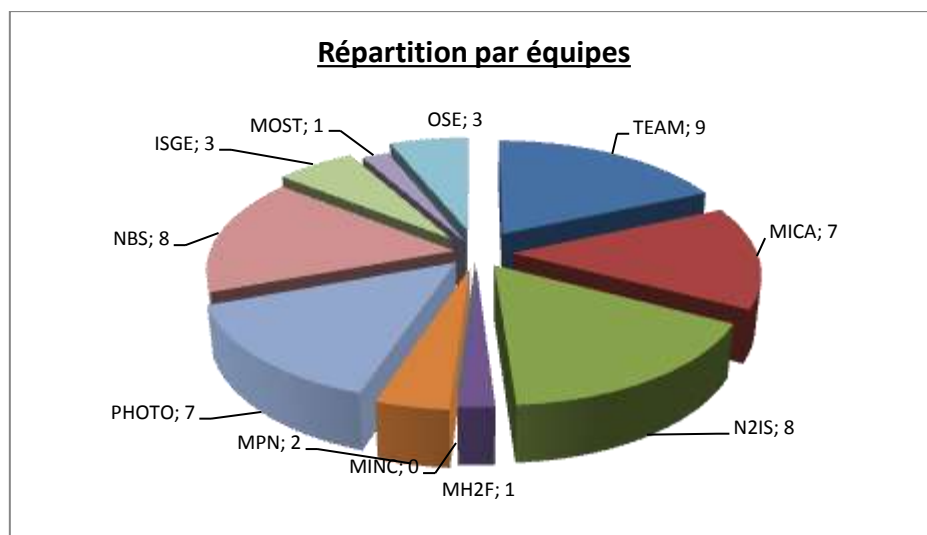
Le Remover PG est utilisé pour les libérations des lift-off ou le stripping des photoresists. Il est composé de N-Méthyl-Pyrrolidone (NMP) qui est un composé classé CMR : Cancérigène, Mutagène, Reprotoxique.

Une campagne de tests a été conduite avec les zones chimie et litho laser pour remplacer ce produit par un autre, le xylène par exemple.

Les résultats sont positifs et doivent être confirmés par de nouveaux tests. Jean Baptiste Doucet et Natalie Laubert sont en charge de ces analyses.

7. FORMATIONS

- Depuis 2014, les formations pour les nouveaux entrants dans les zones sont coordonnées et organisées de la façon suivante :
 - lundi 9h: présentation générale de la salle blanche (2^e sem du mois)
 - lundi 14h : risque chimie (tous les 15 jours environ)
 - mardi 9h: zone chimie (tous les 15 jours environ)
 - mardi 13h : plasma O2 (tous les 15 jours environ)
 - mardi 13h30 : photolithographie (tous les 15 jours environ)
 - mercredi 9h : caractérisation (tous les 15 jours environ)
- Conditions :
 - Au moins 3 inscrits et 5 inscrits maximum par séance.
- Tous les nouveaux utilisateurs suivent la formation sur la zone. Elle dure environ 2.5h et elle est nécessaire pour utiliser équipements. Cette formation est dispensée par Adrian Laborde ou Laurent Mazenq. Un questionnaire à remplir est fourni en fin de séance. Il permet de vérifier que l'utilisateur a bien pris connaissance des consignes de sécurité, de fonctionnement, des risques liés aux contaminations et qu'il maîtrise les bases d'un procédé de photolithographie.
- 49 nouveaux utilisateurs ont été formés en 2014 (51 en 2013)** selon la répartition suivante :



- Cours TEAM (cours magistraux):
 - Laurent Mazenq présente les cours :
 - Procédés de photolithographie 1H30mn
 - Environnement et équipements 1H30mn
 - Véronique Conédéra présentera les cours :

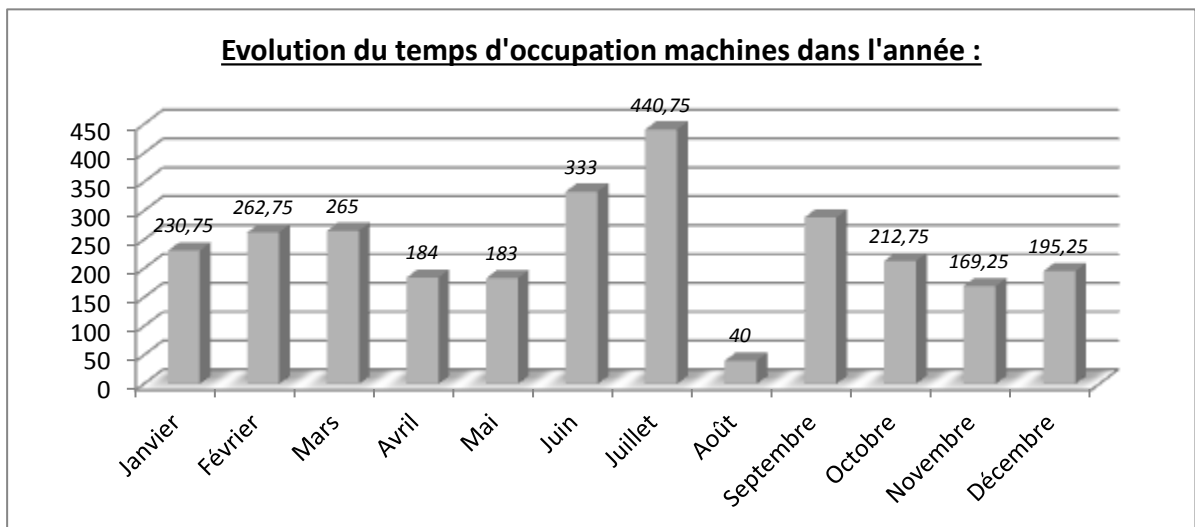
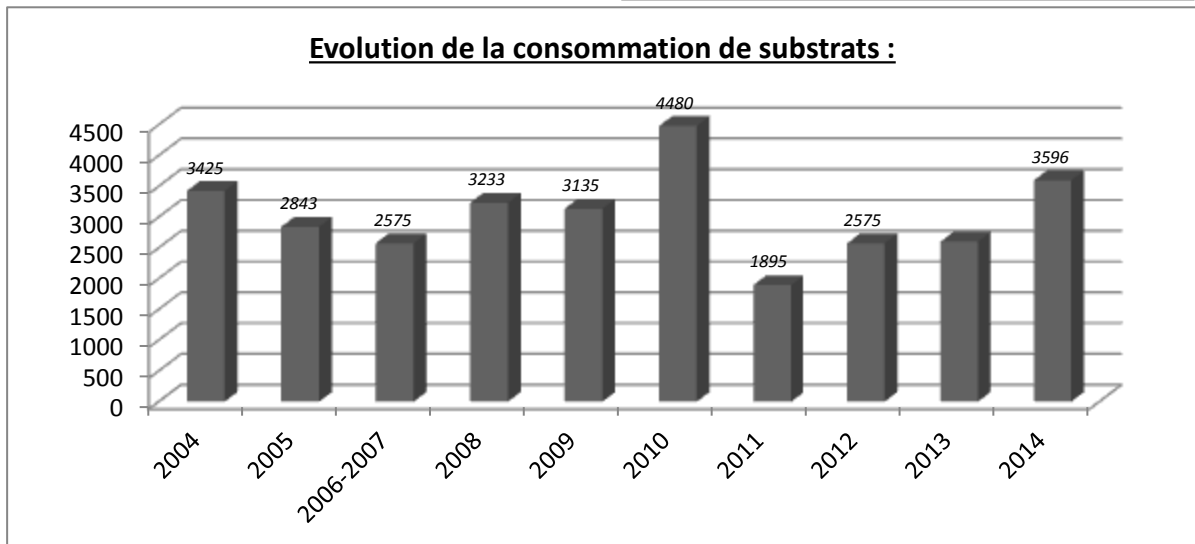
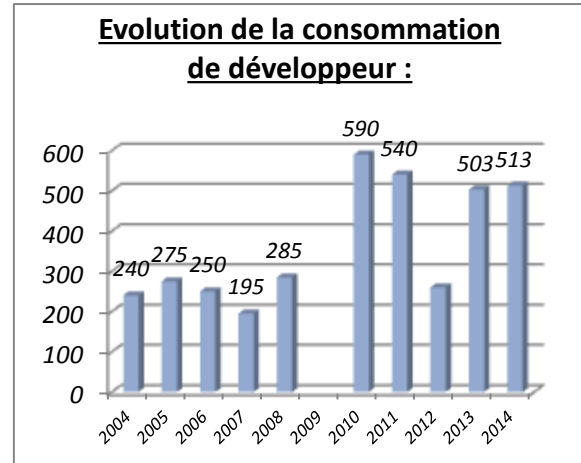
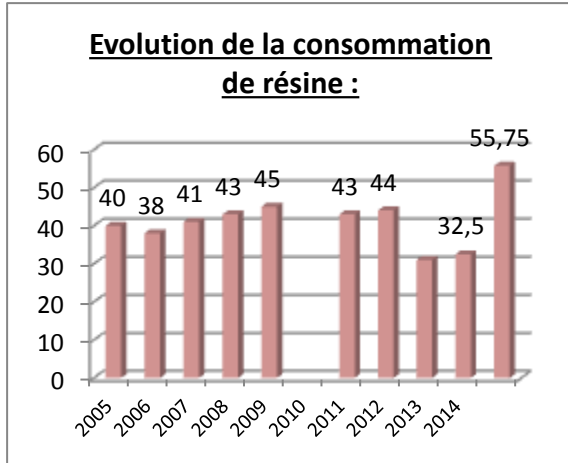
- La lithographie optique.
- Les résines épaisses.
-

1H30mn

1H30mn

8. BILAN

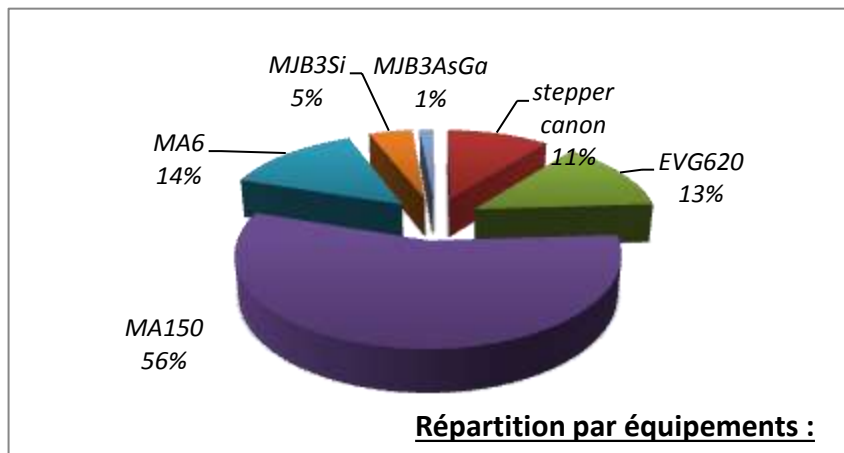
8.1. Evolution au cours des dernières années :



8.2. Répartition par équipements (nombre de substrats) :

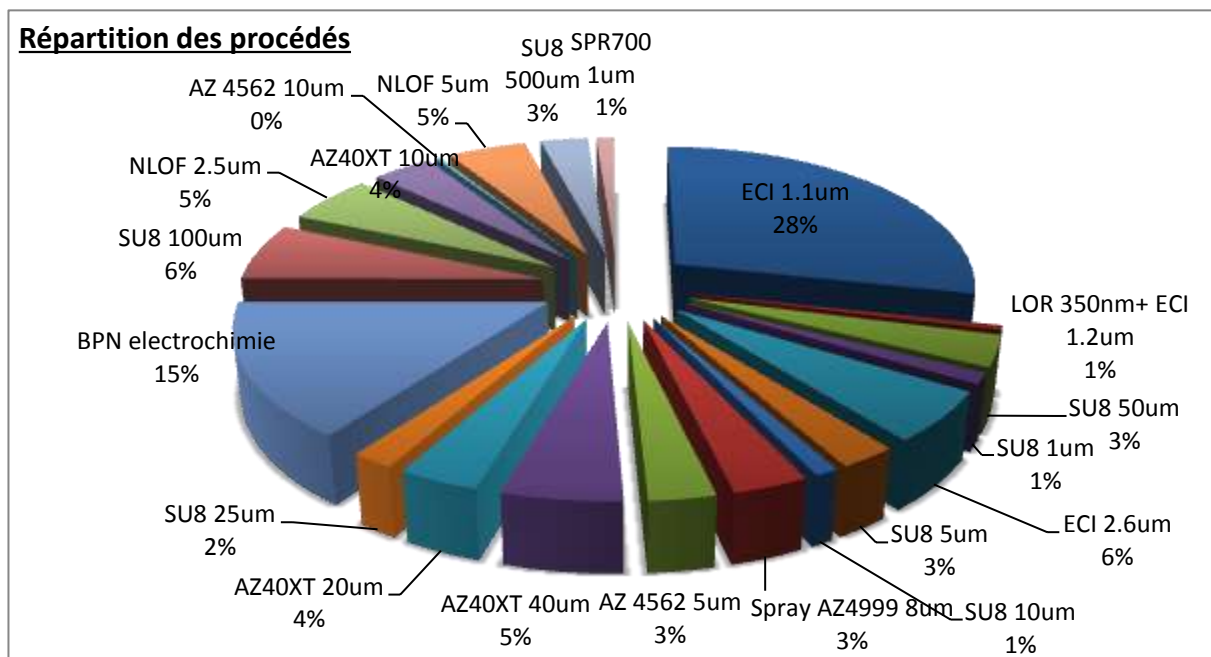
tournettes	1413	52%
evg 120	1247	46%
spray	67	2%
total	2727	100%

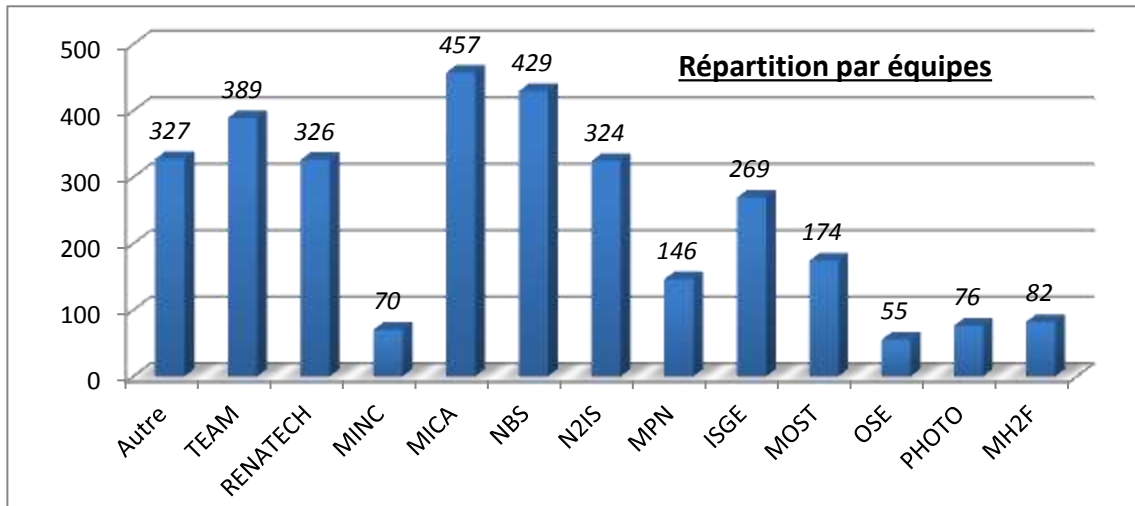
insolation manuelle (MA6, MJB3)	542	20%
insolation automatique (EVG 620, MA150)	1896	70%
Stepper (canon, Ultratech)	289	11%
total	2727	100%



8.3. Répartition par procédés (nombre de substrats) :

total résines standards:	1531	56%
total su8	463	17%
Autres (LOR, BCB,BPN, autres):	733	27%
total	2727	100%





8.5. Analyse :

- Les indicateurs sur les consommations montrent une activité stable par rapport aux années précédentes. L'augmentation des commandes de résines est liée à une commande anticipée fin 2014.
- Les résines standards ECI, NLOF et 40XT représentent **56%** des procédés.
- Le nombre de photolithographies est de **2727 substrats**, 2714 en 2013.
- L'équipement le plus utilisé est la **MA150**.

10. PROSPECTIVE

10.1. Equipements :

- Machine d'alignement en remplacement de la MA150, MA6, MJB3



Machine d'alignement MJB4,
budget ≈150K€



Machine d'alignement MA6,
budget ≈300K€



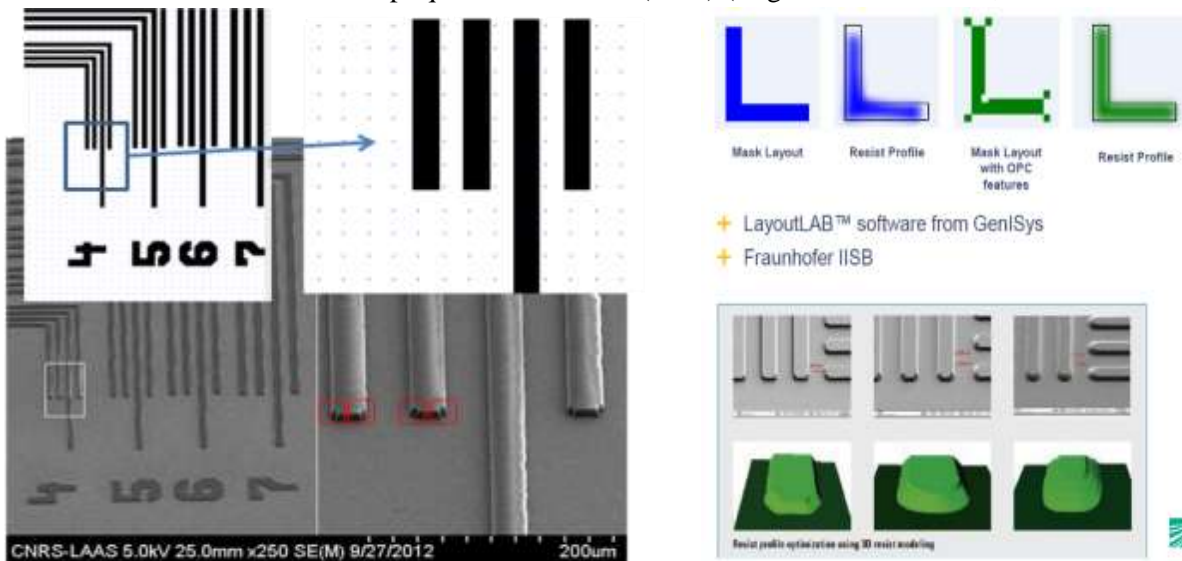
Machine d'alignement MA150,
budget ≈500K€

- « Petit équipement » de litho Kloé UV-KUB. (15 à 30K€ en fonction des options).
- Remplacement « petits matériels » :
 - Tournette en remplacement de la tournette n°2.
- Sécurité : Travail des sur paillasse pour réduire les COV sur la zone.

10.2. Procédés :

- Qualité : Poursuite des démarches d'amélioration continue :
 - suivi statistique des procédés.

- Affichage des consignes d'utilisation des équipements.
- Procédés résines à haut facteur de forme en lithographie par projection.
- Travail sur les Corrections Optiques de Proximité (OPC) (stagiaire DUT en Juin, Juillet Aout 2015):



11. CONCLUSION GENERALE

- 49 nouveaux utilisateurs ont été formés en 2014.
- 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.
- On peut également souligner le travail inter zone (gravure plasma, électrochimie, lithographie laser, chimie) utile afin de conduire les développements.
- L'activité est stable par rapport aux années précédentes.
- Les pannes ont été nombreuses en 2014. Elles ont été coûteuses et chronophages.
- L'activité sur la zone dépend du fonctionnement des 3 machines d'alignement 4 pouces (EVG620, M150, MA6) qui sont vieillissantes et de plus en plus fréquemment hors service.
- La zone photolithographie est impliquée dans 92% (61 sur 66) des projets COMTEAM.

LITHOGRAPHIE ELECTRONIQUE

1. EQUIPEMENTS

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

2. UTILISATEURS

MPN, MINC, PHOTONIQUE, NBS, RTB, TEAM

3. REFERENTS TEAM ET ORGANISATION

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

Le fonctionnement de la zone repose sur l'ouverture et la formation : chercheurs, enseignants-chercheurs (interne), doctorants (interne et Renatech), post-doctorant (interne et Renatech)
Ce fonctionnement semble convenir à l'ensemble des utilisateurs : pas de panne particulière associée.

4. MAINTENANCES

- La maintenance est synchronisée avec le changement de la pointe ou avec une panne.
- Le système de protection contre les surtensions a été installé.
- Échange de la pompe turbomoléculaire (6330€)

5. BUDGET

5.1. 2013 : Montant - 9.916€

- Consommables :
 - Résines, filtres, seringues, ... :3.586€
- Maintenances :
 - RAITH150 :6.330€

5.2. Prévisionnel 2015 : (1)25.000€

- Consommables :
 - Lithographie électronique :5.000€
 - Résines : HSQ, maN2403, ZEP520A
 - Solvants : anisole, TMAH 25%, méthanol
 - Filtres, seringues, aiguilles
- Maintenance :
 - Lithographie électronique :13.000€
 - Prévision en cas de perturbations du faisceau persistantes, changement de pointe (l'actuelle a 2 ans), changement de l'électronique de pilotage du courant des lentilles et/ou changement de générateur haute tension.
- Équipement :
 - FBMS + MBMS :100.000€
 - Onduleur :7.000€

5.3. Commentaires :

Des perturbations récurrentes d'origine inconnue sont apparues il y a environ 1 an. Ceci conduit à l'impossibilité d'exploiter le masqueur durant ces périodes : calibration de la taille des champs impossible, motifs sont distordus.

Un ingénieur RAITH est passé : ce jour-là il n'y avait plus de perturbations. Le fonctionnement de la machine a été vérifié dans ses moindres détails : rien n'a permis de trouver l'origine des perturbations qui, pour l'instant, ne sont pas réapparues.

L'ancien onduleur n'est plus en état de fonctionnement et n'est pas réparable à un coût raisonnable. Les conséquences de la dernière coupure de courant intempestive (problèmes au redémarrage, insolation ratée, ...), nous conduit à envisager de ré-investir dans un système de protection. Une étude a été réalisée avec Lionel Séguier (I2C) de laquelle découle 2 options : le même système que précédemment (par l'intermédiaire de RAITH) qui gère l'extinction progressive et protégée du système (notamment de la pointe) et qui est plus coûteux; ou un système indépendant de RAITH (~2 fois moins cher) mais qui ne gère rien.

6. EVOLUTION DES PROCEDES

Plusieurs études de utilisant la lithographie électronique et la RIE, liées à des projets de recherche, sont en cours :

- déterminer la vitesse de gravure du Si en fonction de la taille des motifs entre 50 et 500nm (phénomène ARDE - Aspect Ratio Dependent Etching)
- Réalisation de structure en Si de largeur ~100nm et quelques µm de haut pour réaliser des lames TEM par RIE et qui ne contiennent donc pas de Ga, pas de défauts d'implantation ni de défaut étendus (contrairement au FIB classique)

7. FORMATIONS

- Cours TEAM sur la lithographie électronique et le MEB
 - Nombre de participants : 14
 - Volume horaire total : 4h

8. BILAN

Diminution conjoncturelle de l'utilisation du masqueur liée (voir Figure 1et Figure 2) :

- à la fin de thèse d'un utilisateur (LPCNO) et au départ d'un post-doctorant (CEMES) - tous deux liés à des projets externes
 - Les insolutions attachées aux projets RENATECH sont passées de ~30% à seulement 10% de l'utilisation totale du masqueur.
- Au départ d'un chercheur LAAS en CDD (MINC)

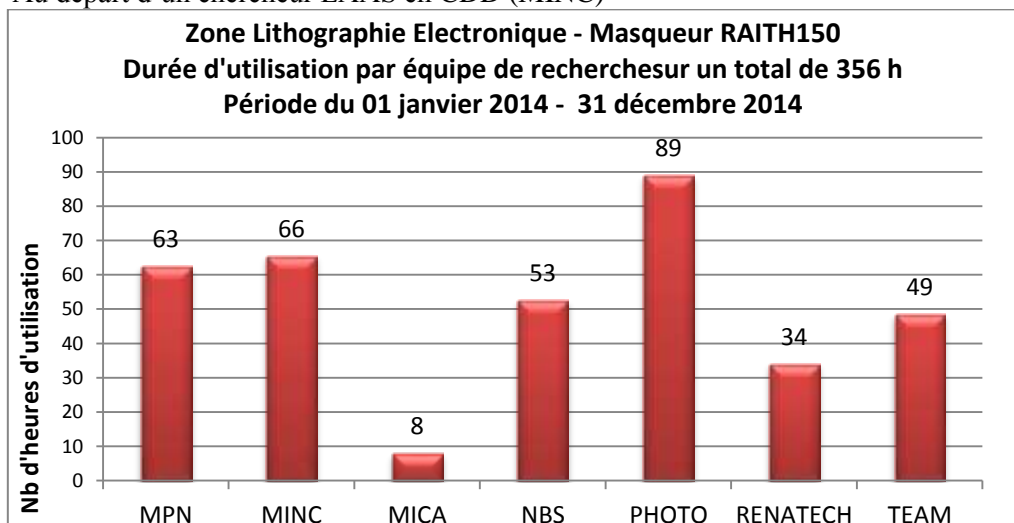


Figure 1 : activité du Masqueur électronique RAITH 150 sur l'année 2014

La diminution conjoncturelle d'activité (voir Figure 2) était prévue et est principalement liée au départ de plusieurs utilisateurs internes et externes (1 chercheur, 2 post-doctorants, 1 doctorant). L'activité devrait se stabiliser autour de la moyenne d'utilisation sur 10 ans qui est de 500h grâce au démarrage de nouveaux projets scientifiques nécessitant la lithographie électronique (insolation directes, fabrication de moule de nano-impression).

Aurélie Lecestre a été formée à l'utilisation du masqueur dans le but qu'elle maintienne ses compétences dans le domaine et afin de mener des études de gravure ionique réactive sur les échantillons qu'elle réalise elle-même par lithographie électronique.

Remarque : 205 heures ont été retirées du total global de 2014 à cause de différents problèmes (vibrations, plantages de machine, ...) qui ont conduits l'ensemble des utilisateurs à refaire leur exposition ou à voir leur durée d'exposition multipliée par 3 ou 4.

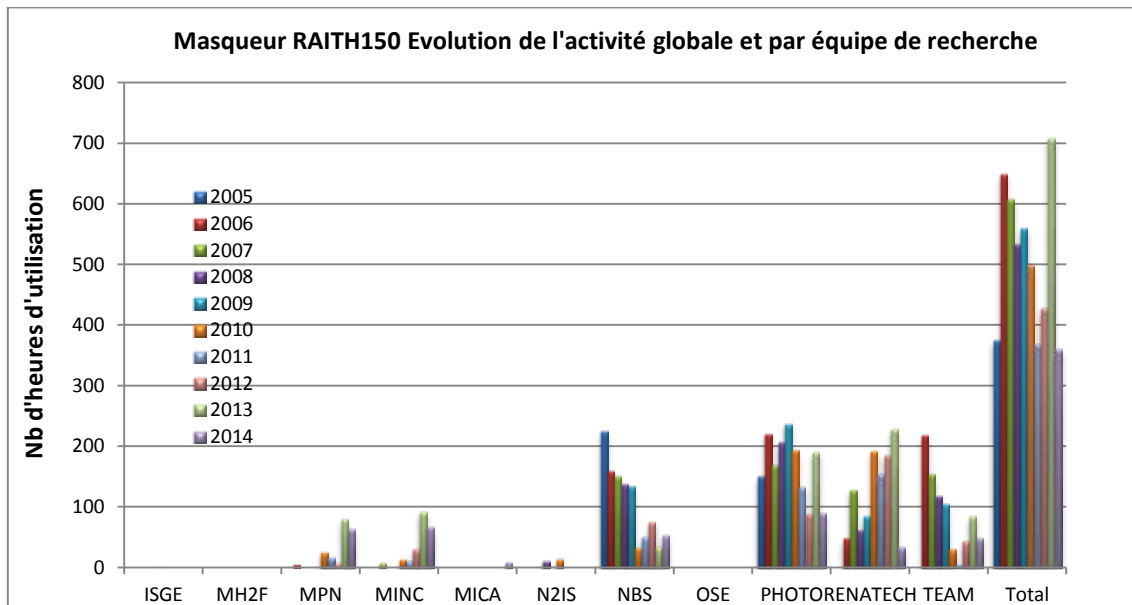


Figure 2 : évolution de l'activité sur le masqueur électronique RAITH150

9. PROSPECTIVE

9.1. Personnels :

Un nouvel utilisateur externe (CEMES) va nous rejoindre et sera formé à l'utilisation du masqueur ainsi que l'heureux possesseur d'un système équivalent au notre (RAITH150 II - Université de Tours)

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 : les pertes de savoirs.

Par ailleurs une formation trop longue et une utilisation pas assez dense conduisent parfois à un manque d'efficacité pour certains 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 !

9.2. Équipements :

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 insolutions 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.

Prospective pour un nouveau masqueur (~3 ans ou plus):

Le projet d'achat d'un nouveau masqueur est lancé. Ce masqueur inclurait l'option FBMS/MBMS, travaillerait beaucoup plus vite :

- générateur à 50MHz (au lieu des 10MHz actuels)
- Sas 10 porte-échantillons
- Auto-focus et auto-astigmatisme : grande facilité d'utilisation pour les opérations courantes

Quelques interrogations sont posées :

- Coût de la machine ~3M€
- L'installation de la machine qui nécessite un contrôle de son environnement draconien (régulation en température de 0.1°C, poids, vibrations)

9.3. Procédés :

- Développement tri-couche (résine de définition, couche de transfert, résine de transfert) : l'idée est d'augmenter l'épaisseur de résine et/ou de changer sa résistance à la gravure en changeant sa nature tout en gardant une résolution intéressante. Cette technique permet une adaptation plus aisée de l'épaisseur de résine de masquage en fonction de la sélectivité à la gravure ionique réactive sans changer de résolution.

(Ce développement nécessitera des tests de gravure sur les nouvelles machines fonctionnant en mode CCP car c'est un mode de gravure douce parfaitement adapté à l'objectif (des procédés sont disponibles)

- 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.

9.4. Activité :

2 systèmes de lithographie électronique couplés à des MEB ont été installés dans 2 laboratoires Toulousains qui précédemment utilisaient notre machine. Une baisse de 20% de l'utilisation de notre masqueur électronique est à prévoir.

10. CONCLUSION GENERALE

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.

Une prospective pour un investissement dans une nouvelle machine (~3M€) qui inclurait les options décrites ci-dessus est lancée : elle permettrait grâce à ses performances et son niveau d'automatisation, une démocratisation de l'utilisation d'un masqueur électronique.

Il conviendra aussi de tenir compte du coût de l'installation de ce type de machine qui ne sera pas simple dans l'état actuel des localisations disponibles (vibrations mécaniques et acoustiques, champs électriques et magnétiques).

- En personnel :

La charge de travail des permanents devrait être stable concernant la lithographie électronique mais le développement de projets grâce à la nano-impression la fera beaucoup augmenter par ailleurs.

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 quelqu'un (min. AI) afin que la transmission entre générations se passe sans heurt.

Il faudra donc à terme un permanent supplémentaire pour permettre le maintien et le développement des filières qui constituent le coeur d'une nanofabrication plus structurée et donc encore 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 LASER

1. EQUIPEMENTS

Equipement	Année d'achat	Valeur d'achat (€)	N° inventaire
Heidelberg DLW 200	2004	858000	8408
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, OSE, TEAM, Renatech

3. REFERENTS TEAM ET ORGANISATION

- Pierre-François Calmon, (IR responsable de la zone)
- Vinciane Luque (TCN)
- Sylviane Baster (AI)
- Lucie Séveno (Apprentie Ingénieur)

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: EXXX_DEMANDE_MASQ.xls.

4. MAINTENANCES

4.1 Maintenance

- Mise en place de portes filtres et filtres UV dans la Dilase 750

4.2 Réparation

- Changement du laser de l'interféromètre du système DWL

5. BUDGET

5.1. 2014

- Consommables : plaques de verre et boites de masques ont nécessité un budget de 17950€
- Maintenance : le budget est de 7215 €

Le budget total de la zone en 2014 est 25 165 €.

5.2. Prévisionnel 2015

- Consommables : plaques de verre et boites de masques nécessiteront un budget de 17350€

- Maintenance : changement du laser d'écriture du système DWL pour un budget de 20000€

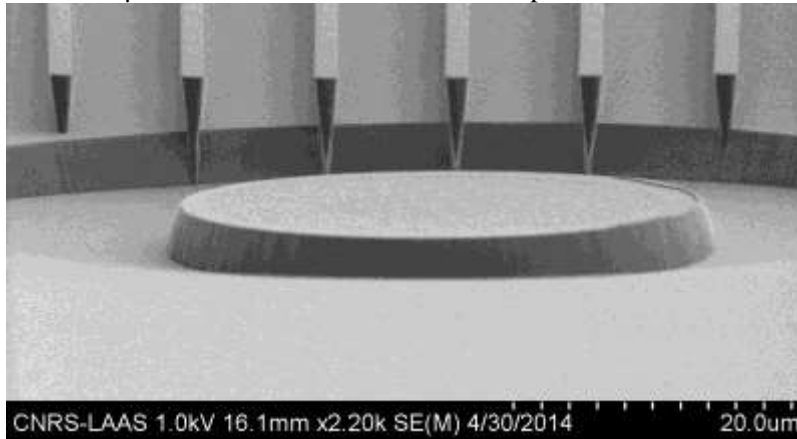
Le budget total prévisionnel est 37350€

5.3. Commentaire

Un budget de 17 000 euros est utilisé tous les 24 mois pour le changement du laser He-Cad du système d'écriture laser. Nous allons étudier la possibilité de remplacer ce laser à gaz par un laser à diode 405 nm 120 mW. La durée d'utilisation de ce type de laser pourrait s'étendre entre 5 et 10 ans et ainsi réduire les coûts de maintenance.

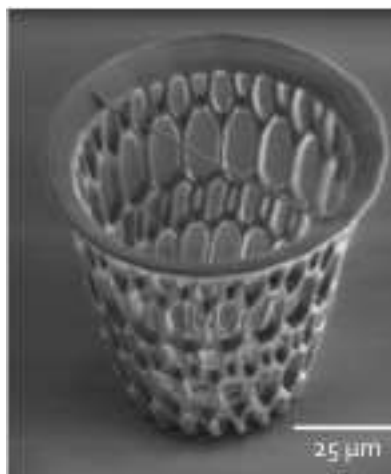
6. EVOLUTION DES PROCÉDES

Dans le cadre du projet d'équipement d'excellence LEAF, des procédés avec l'équipement KLOE Dilase 750 ont été développés pour l'élaboration de lift-off sur des structures à cavités, la réalisation de moules d'épaisseur 500 μm et la fabrication de réseaux de plots de tailles sub-micronique en SU8.



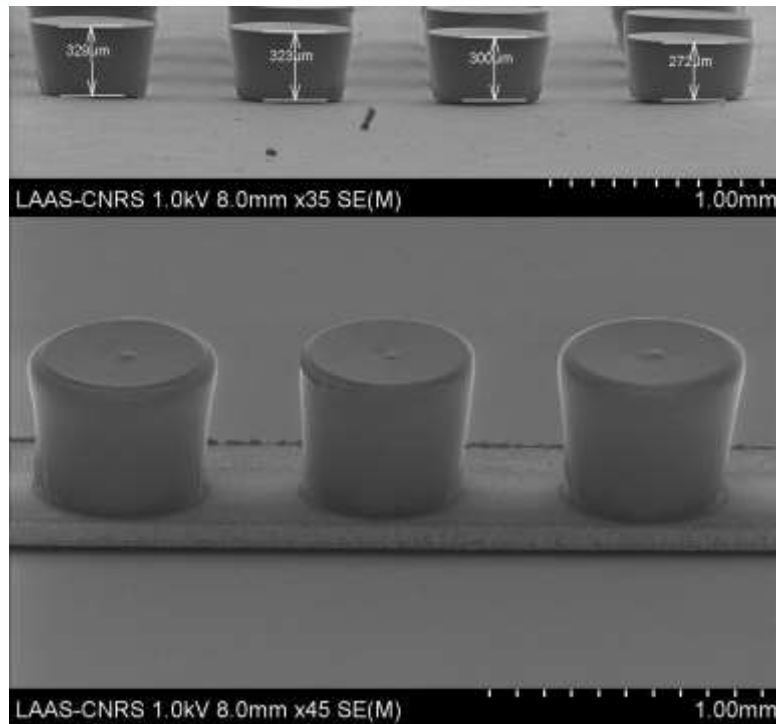
Résine Nlof structurée avec l'équipement KLOE Dilase 750

Le système d'écriture laser directe 3D Nanoscribe est utilisé par l'équipe NBS pour la réalisation de micro-structures 3D pour la biologie. Les matériaux structurés sont des polymères IP-Dip et ormocomp.



Résine IP-Dip structurée avec l'équipement Nanoscribe

Le polymère IP-Dip a été aussi structuré avec l'équipement KLOE Dilase 750 sans spin-coating préalable. Ces structures pleines en niveaux de gris sont fabriquées sur des substrats métalliques spécifiques pour la biologie et seront associées aux micro-structures 3D réalisées avec l'équipement Nanoscribe.



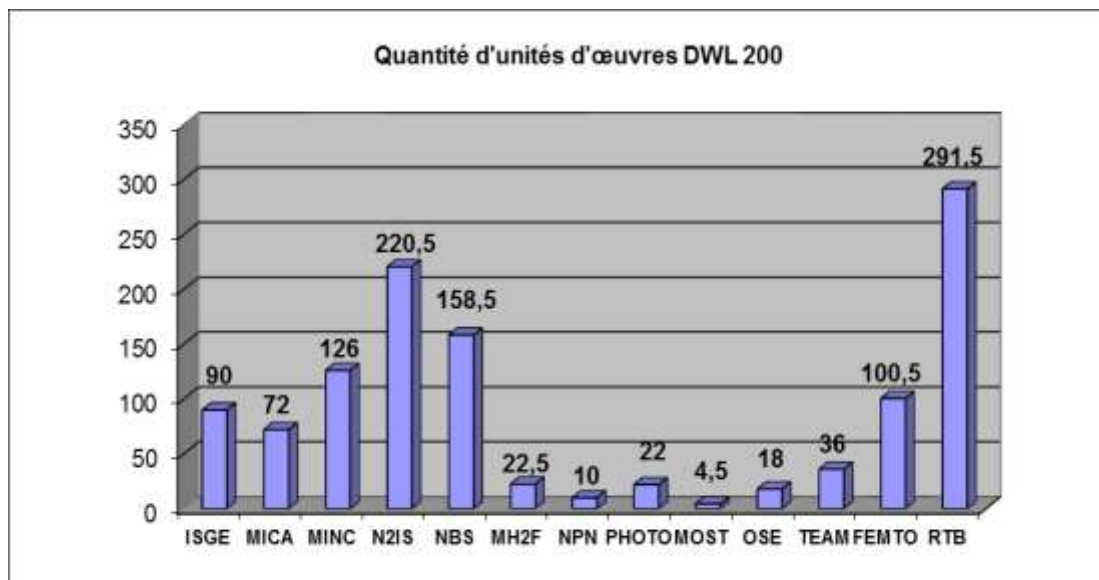
Résine IP-Dip structurée avec l'équipement KLOE Dilase 750

7. FORMATIONS

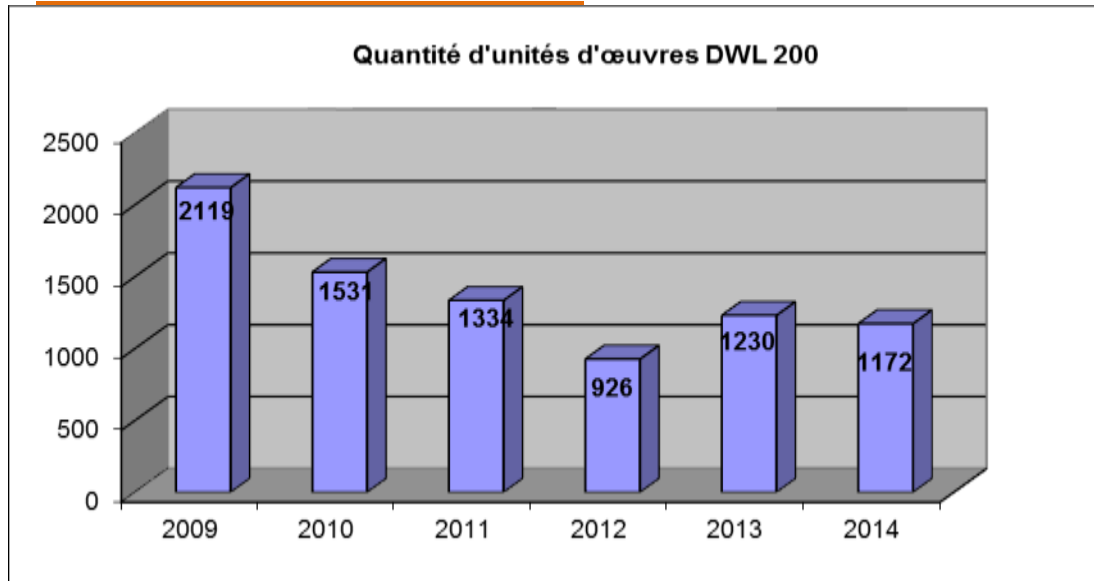
- Formation d'une trentaine de personnes à la réalisation de dessins de masques (50 heures).
- Cours TEAM

8. BILAN

8.1. Bilan par équipes utilisatrices :



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 baisse par rapport à l'année précédente. En 2014 nous avons fabriqué 25 masques pour la centrale Renatech FEMTO de Besançon suite à une panne de leur système d'écriture laser.

Quarante-deux substrats ont été traités avec le système Nanoscribe pour la structuration d'objets 3D par l'équipe NBS. La quantité d'unités d'œuvre Nanoscribe est 765 heures.

Quatre-vingt-huit échantillons ont été traités avec le système Dilase 750 pour la mise au point de nouveaux procédés par TEAM. La quantité d'unités d'œuvre Dilase est 76 heures.

La demande RTB est en augmentation, elle représente 25 % de l'activité (15% les années précédentes).

9. PROSPECTIVE

9.1. Equipements :

Dans le cadre du projet d'équipement d'excellence LEAF, un nouveau laser 266 nm sera installé dans l'équipement KLOE Dilase 750, pour le traitement de surface localisé par écriture laser. De plus pour la réalisation de structures 3D un nouvel équipement KLOE sera installé dans la zone en 2015.

9.2. Procédés :

KLOE Dilase 750 : mise au point de procédés en niveaux de gris. Durée estimée : 120 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.

LITHOGRAPHIE PAR NANO-IMPRESSION

1. ÉQUIPEMENTS

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

2. UTILISATEURS

TEAM, PHOTO, MICA, MPN

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, mise au point de procédés
- 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 et les procédés mis au point précédemment.

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. Pour l'instant pas de panne nécessitant l'intervention d'un tiers. Nous avons juste changé des pièces d'usure comme le loquet du tiroir.

5. BUDGET

5.1. Bons de commande de 2014

Pièces détachées pour la maintenance de la Nanonex et pour avoir des pièces en spare : 824€

5.2. Prévisionnel 2015

- 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 :**

Depuis l'achat de la machine, nous n'avons fait faire aucune maintenance, nous nous sommes débrouillés en achetant des pièces et en les changeant nous-même. Mon idée est d'essayer de trouver quelqu'un localement pour la maintenance du compresseur et de continuer à faire la maintenance nous-même en achetant les pièces tant que cela est possible. Donc difficile d'évaluer le coût, en particulier si on a une panne importante.

Rq : pour ce qui concerne l'installation de la hotte en zone nanolithographies, c'est pris en compte dans la refonte de la chimie.

5.3. Commentaire

2015 (après 2014 et 2013 !) devrait voir l'installation d'une hotte de classe 10.

5.4. Personnel

L'arrivée d'Amandine Lestras 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 de nouveaux procédés et donc d'accueillir plus de projets de chercheur au sein de la zone nanolithographies.

6. EVOLUTION DES PROCÉDES

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-impression. Une première priorité de travail a alors été identifiée : développer un procédé de nano-impression sur SiO₂ (massif et couche mince) et transfert par gravure sèche. En 2013 nous avons commencé à développer un procédé de NIL thermique dans le cadre du projet de Guilhem Larrieu sur la croissance de nano-fils et nous avons en parallèle travaillé sur la mise en œuvre d'une résine maison UV-sensible (stage de Marie Cassard). En 2014, nous avons continué à travailler sur le développement de procédés avec l'aide d'Amandine Lestras (en CDD depuis le 1^{er} septembre 2013), d'Elia Martin (stage IUT été 2014), avec Ksénia Sharshavina et Sylvain Augé plus particulièrement pour les procédés UV-NIL, avec Vincent Ventalon pour les premiers tests de mise en forme de P3HT, avec Sami Abada pour les reports de films secs de SU-8.

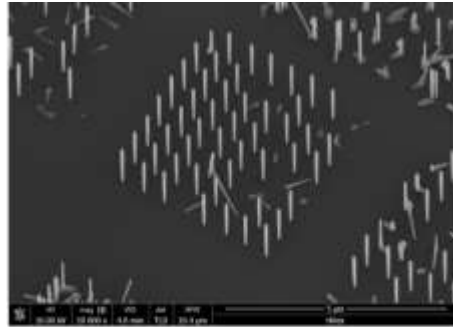
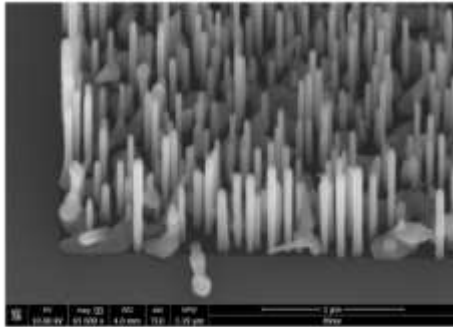
6.2. Procédés thermique de nano-impression

Nous avons développé en 2013 un procédé de nano-impression thermique à partir d'une résine commerciale (résine NX1025 diluée à 5%). En 2014, nous avons optimisé le procédé afin de pouvoir imprimer simultanément des motifs nanométriques (trous de l'ordre de 30nm de diamètre au minimum) et des motifs micrométriques (pad de 100µm de côté) sur des échantillons plus grands (3 pouces), ce qui nous a demandé un ajustement des paramètres. Les conditions optimum sont : 170°C, 200 PSI pdt 5min.

Ce procédé a été utilisé dans le cadre d'un projet de l'équipe MPN, avec un moule en Si réalisé par lithographie électronique et RIE et un transfert des motifs dans une couche de moins de 20nm de SiO₂ thermique. Donc nous avons mis au point aussi le transfert avec deux étapes de gravure : élimination du fond de motif et gravure du SiO₂. La croissance localisée de nanofils de GaAs a ensuite été réalisée par S. Plissard.

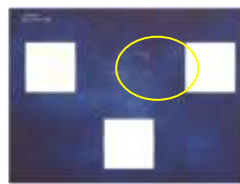
Le procédé de nano-impression thermique a été transféré à Guilhem Larrieu.

Mais il nous reste encore à travailler sur la robustesse de ce procédé. En effet, nous voyons apparaître de temps en temps des ponts capillaires. Il est important de noter que pour minimiser l'apparition de ces ponts capillaires il faut éloigner (plus de 100µm), les motifs micrométriques (100µm) des motifs nanométriques (un nouveau moule devrait être réalisé dans ce sens en 2015).



Images MEB : a) croissance sur un aplat, b) croissance de nanofils de 60nm de diamètre dans un réseau de nanotrous obtenus par le procédé T-NIL et transféré dans la couche mince SiO₂

Photo microscope optique des réseaux de trous (diamètre 40 à 80nm) pour les conditions optimum de T-NIL



Photos de microscopie optique des 4 motifs différents sur un substrat 2 pouces

6.3. Procédés UV de nano-impression

En 2014, nous avons utilisé la résine UV-sensible RA32, mise au point par Jean-Baptiste Doucet et testée dans le cadre du stage de Marie Cassard, pour deux projets issus de l'équipe Photonique. L'objectif, dans les deux cas, est de réaliser des réseaux de lignes dans de la silice, le substrat étant transparent. Les dimensions caractéristiques des réseaux varient en fonction de l'application (largeur de ligne, pas et rapport de forme).

- Réalisation de réseaux de lignes sur « grandes surfaces »

Cette étude est menée dans le cadre de la thèse de Ksénia Sharshavina avec son aide, bien-sûr, pour le développement de ce procédé. Nous avons aussi bénéficié du stage d'Eliau Martin pour la mise au point de ce procédé.

Les motifs à réaliser sont des réseaux de lignes de pas environ 850nm, avec un taux de remplissage autour de 50%, couvrant une surface de 2x2cm² dans un premier temps (à long terme il faudrait couvrir des surfaces de plus en plus grande pour arriver à un démonstrateur sur 6 pouces !).

Le moule mère en Si est réalisé par lithographie par projection (stepper). Nous avons rencontré plusieurs difficultés dans la réalisation de ce moule. Le réticule comportait de nombreux défauts liés à certaines limitations de l'équipement Heidelberg.

Ces défauts étaient bien-sûr reproduits sur le masque en Si et ensuite sur le moule fille et sur la résine imprimée.

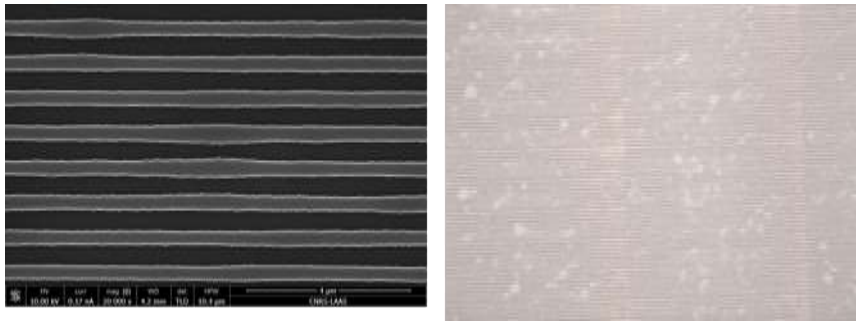
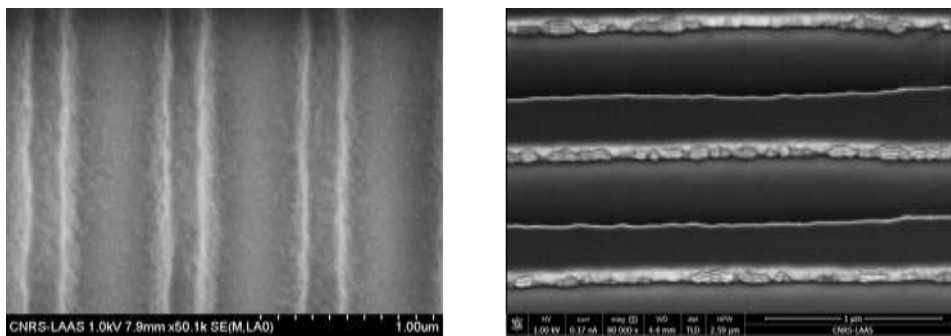


Image MEB (a) et de microscopie optique (b) des défauts du réticule

Une étude est en cours pour améliorer la qualité du réticule. De plus, après lithographie au stepper et révélation, les flancs des lignes présentent de nombreuses rugosités (ondulations) et des profils non verticaux. Là aussi, une étude est en cours pour améliorer ces points.



Images MEB des flancs de résine après révélation

Nous avons aussi obtenu des défauts de type « tâches » après l'insolation au stepper liés à des poussières sur le chuck du stepper. Ce problème peut être résolu en appliquant un protocole particulier.

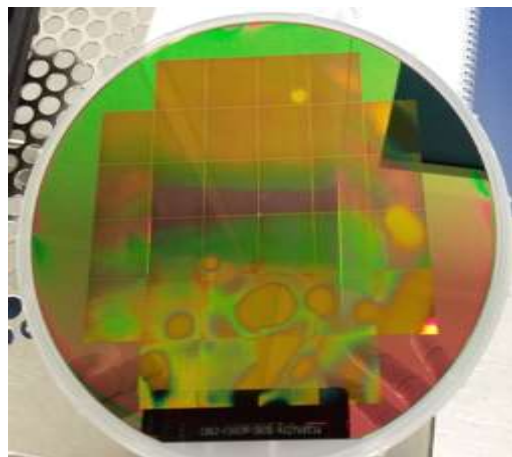


Photo d'un wafer 6 pouces après photolithographie au stepper

Nous avons mis au point le procédé de nano-impression UV avec ce type de moule qui comporte encore beaucoup de défauts. Nous utilisons une réplique du moule mère en Si dans un film COP de type Zeonor pour faire l'impression UV. Les réseaux de lignes couvrant une surface de $2 \times 2 \text{ cm}^2$, nous utilisons une « languette » découpée dans le film polymère pour faciliter le démoulage. Cette languette doit être positionnée par rapport au sens des lignes du réseau pour ne pas les détériorer.

Les conditions optimums de T-NIL pour la fabrication de ce moule fille en Zeonor sont : temps de pompage 4mn, pre-imprint à 135°C et 120 PSI, imprint à 145°C et 450 PSI pendant 3min.

Avec ce moule souple, nous avons testé deux résines UV-sensibles (stage Elian Martin). Une résine commerciale de chez Micro-resist Technology, UVcur-21. Nous n'avons pas réussi à obtenir de bons résultats avec cette résine, il se produisait un « démouillage » de la résine lors des nano-impressions. Nous avons peut-être un processus de super-hydrophobie en jeu du fait de la nanostructuration du moule.

Nous sommes rapidement passés à la résine « maison » RA32, qui a permis la reproduction des réseaux de lignes et leur transfert dans une couche de SiO₂, tout d'abord sur substrats de Si, puis sur les substrats de verre de silice (Corning 7980).

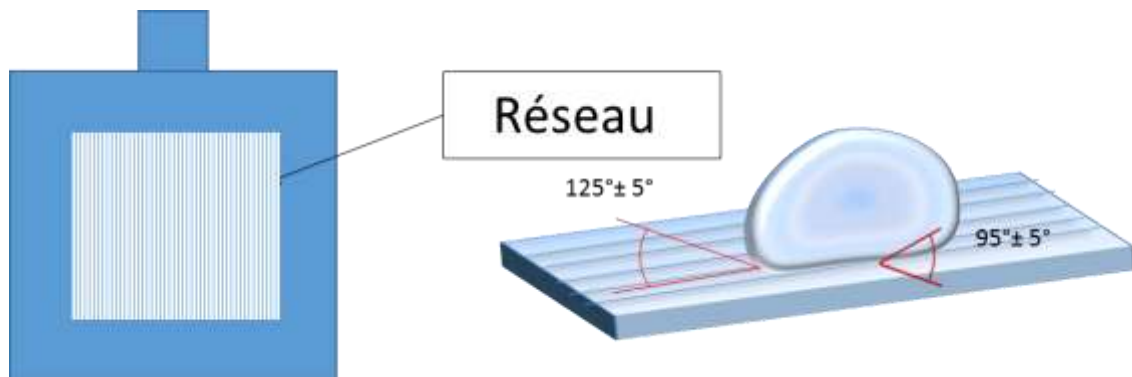
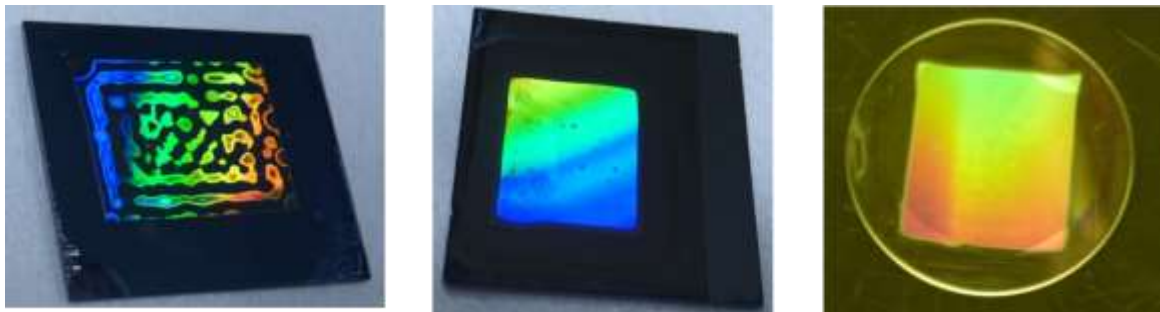


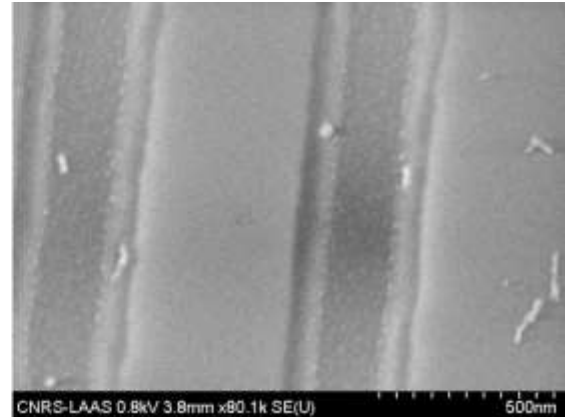
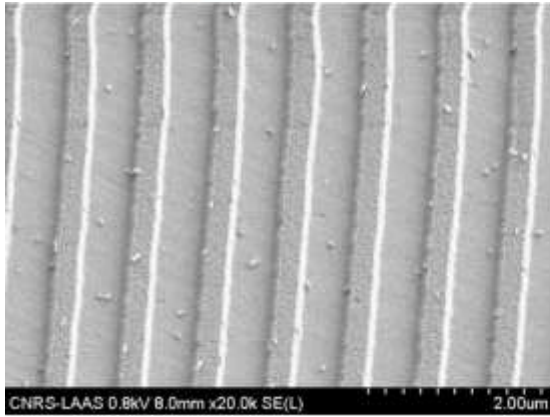
Schéma du moule en COP Zeonor, avec un réseau de lignes et la languette de démouillage. Modification de l'angle de contact du fait de la structuration du moule souple.



Photos des résultats d'impression à l'aide du moule souple, avec la résine UV-CUR de MRT sur Si, avec la résine RA32 sur Si et avec la résine RA32 sur les substrats de verre.

Après nano-impression avec la résine RA32, nous éliminons le fond de motif par RIE puis nous transférons les motifs dans la couche de SiO₂, aussi par RIE.

Lors des étapes de RIE, nous voyons l'apparition de « poussières » qui créent des micromasquages et détériorent la qualité des réseaux. Nous n'avons pas encore trouvé comment éliminer ces défauts. Ce sera un des verrous à lever en 2015.



Images MEB des « poussières » apparaissant après gravure sèche

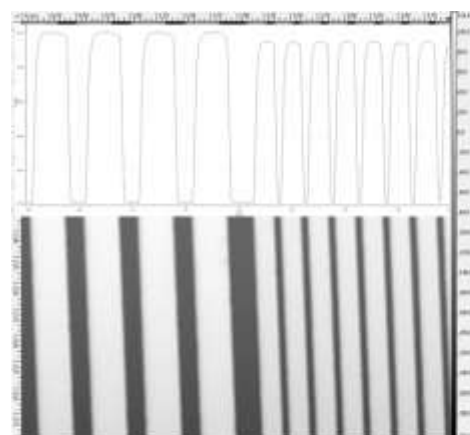
- Réalisation de réseaux de lignes sur petites surfaces

Cette étude est menée dans le cadre de la thèse de Sylvain Augé (équipe Photonique) avec son aide, bien-sûr, pour le développement de ce procédé. Les motifs à réalisés sont des réseaux de lignes de pas 500nm et 250nm avec des taux de remplissage variables.

Nous sommes partis des résultats obtenus sur les réseaux sur grande surface pour faire cette étude.

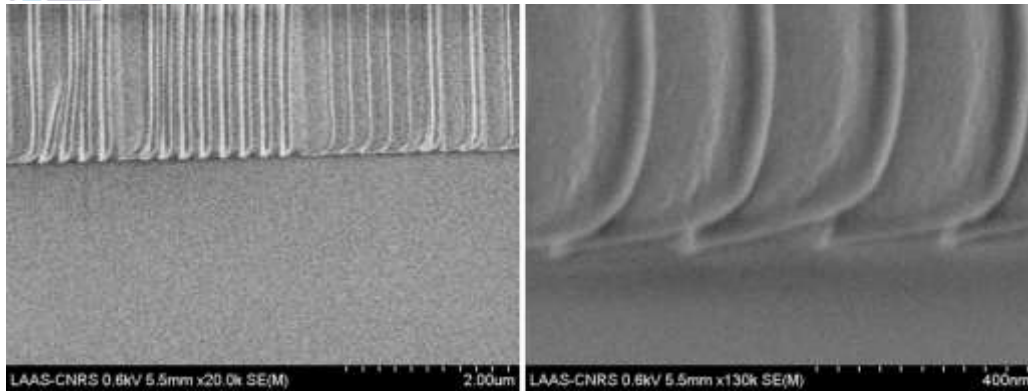
Etant donné les dimensions, le moule, pour cette étude, est réalisé par lithographie électronique et gravure RIE. Plusieurs moules ont été réalisés:

- MF1 : la profondeur gravée est trop importante (247nm pour 180nm visé), utilisation de la recette RIEANO2 sur P1. Avec ce moule profond de 250nm, nous avons des résidus de Zeonor qui restent sur les motifs en Si malgré le traitement FDTS. Nous avons mis au point une procédure de nettoyage des moules en Si lorsque qu'il reste du Zeonor : bain dans xylène pendant plusieurs heures (on le laisse la nuit en général). Avec MF1 nous avons pu obtenir des moules en Zeonor avec parfois de bonnes caractéristiques, mais pas du tout reproductibles. Le démoulage reste une étape trop sensible.



0,46 GC/DBR

Image AFM et section d'un moule fille Zeonor issu de MF1



Images MEB des réseaux dans films Zeonor.

Problème au démoulage, les lignes de polymères sont penchées !

- MF2 : ce moule a beaucoup de défauts du fait des problèmes de vibration durant la lithographie électronique.
- MF3 : nous avons revu la conception du moule en rajoutant une tranchée de $1\mu\text{m}$ autour des réseaux et en gravant un peu moins profond (hauteur des motifs : 185nm).

Nous obtenons beaucoup moins de défauts dans la réplcation du moule mère dans Zeonor et donc beaucoup moins de résidus sur le moule Si après démoulage (un nettoyage 10mn dans xylène est suffisant). Il reste à qualifier la qualité des motifs dans le moule Zeonor (profil, taille).

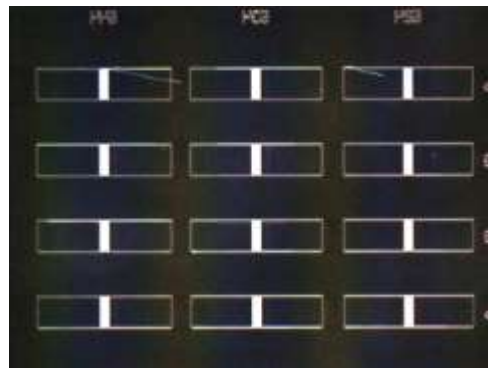
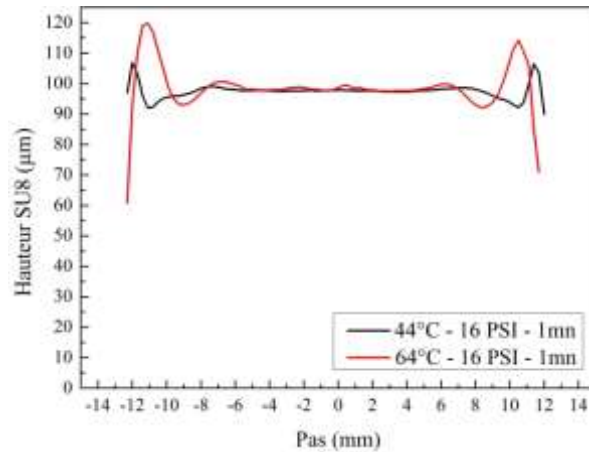


Photo au microscope LEXT des réseaux dans le Zeonor. A ce grandissement, on ne voit pas de défauts d'arrachement, sauf parfois aux abords des tranchées.

Nous avons encore beaucoup de travail de développement sur ce projet. Cela nous permet d'explorer les limites en terme de rapport de forme de la duplication des moules Si dans les films souples Zeonor. Il nous faut aussi vérifier que le traitement FDTs permet de fonctionnaliser des moules avec des hauts rapports de forme à l'échelle sub-lambda.

6.4. Procédés d'impression douce

Nous avons continué à travailler sur ce procédé de report de film sec en utilisant l'équipement de nanoimpression dans le cadre de la thèse de Sami Abada (équipe MICA). Il a pu faire les premiers tests, cette année, sur des films commerciaux. Les résultats sont très encourageants, nous obtenons une surface plane du SU-8 sur petits échantillons. L'utilisation de ces films commerciaux va grandement faciliter le procédé de fabrication des membranes en SU-8, supports des micro-lentilles. Il faut poursuivre cette étude. Un stage DUT est envisagé pour cela au printemps 2015.

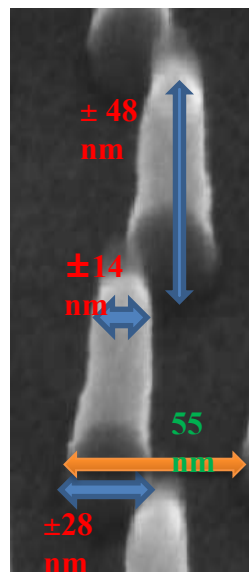
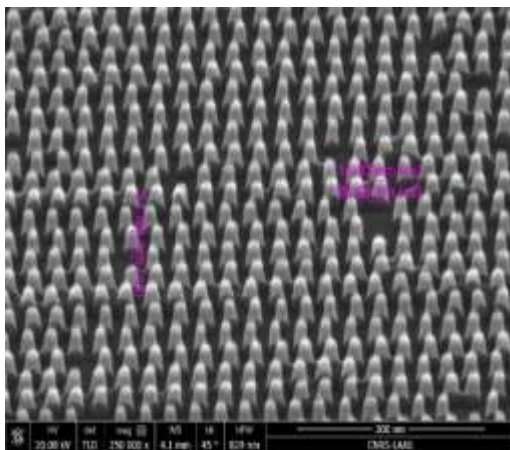


Mesures Tencor du profil de résine SU-8.

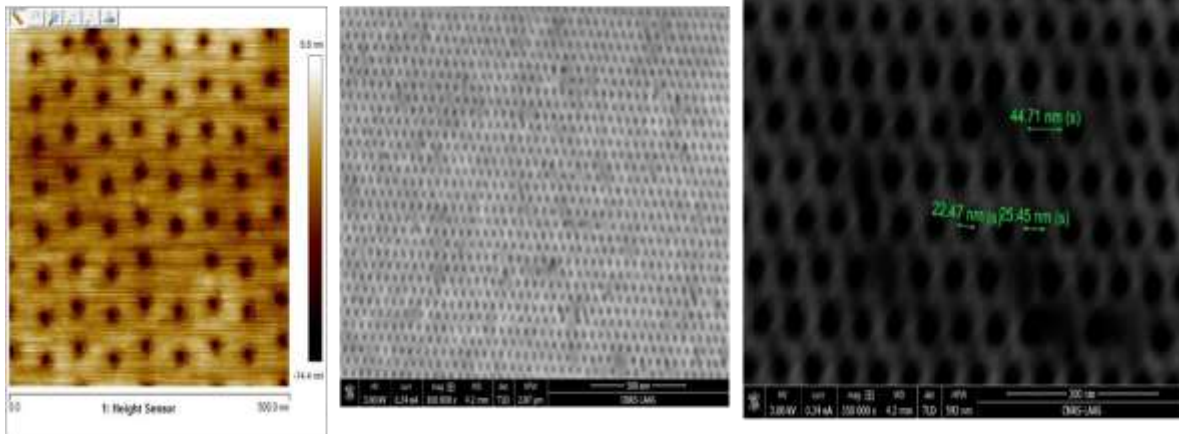
6.5. Nano-structuration directe de polymères fonctionnels

Une étude a été commencée sur la nanostructuration du polymère P3HT dans le cadre d'un projet de l'équipe MICA (Isabelle Séguy). Cette étude a été commencée avec Vincent Ventalon. Le moule a été réalisé par Franck Carcenac par lithographie électronique. Les dimensions sont très petites (cf photos MEB) et les réseaux de plots très denses.

Nous avons utilisé un procédé thermique pour mettre en forme le P3HT. Nous avons optimisés les conditions d'imprint en augmentant progressivement la pression afin de ne pas détériorer le moule au démoulage.



Images MEB du moule en Si



Images AFM et MEB des réseaux de trous imprimés dans le P3HT.

Ces premiers résultats sont très encourageants et nous allons continuer cette étude en 2015 avec un stagiaire MICA (Victor).

6.6. Caractérisations

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

En ce qui concerne les surfaces de verre, de SiO₂ et de résine, nous avons parfois des difficultés à interpréter les images AFM obtenues (en particulier les images de phase). Nous devons faire un effort, en 2015, pour améliorer nos compétences dans ce domaine. Nous devons aussi travailler sur une préparation spécifique de surface si les difficultés d'accroche des pointes AFM perdurent sur ces surfaces.

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

En 2014, le nombre de personnes formées est autour de 5. La formation à l'utilisation de l'équipement Nanonex est très rapide (environ 1h), par contre la formation à la mise en œuvre d'un procédé complet de nanostructuration se poursuit pendant plusieurs mois, pratiquement au quotidien.

-formation théorique

Sur la technique de lithographie par nano-impression (principe, évolution, types de procédés, types d'équipements, applications, ...) délivrée lors des sessions de cours TEAM ou à la demande.

Cette formation concerne une trentaine de personne pour un total d'environ 20h par an.

-partage de la bibliographie

Des alertes sur différents sites bibliographiques permettent de se tenir à jour de l'activité internationale dans ce domaine technologique. Il serait pertinent de trouver un moyen pratique de partager de façon optimisée cette bibliographie. Pour l'instant, j'envoie par e-mail les liens des articles aux personnes qui me semblent les plus intéressées et j'ai créé un dossier au sein de LAAS-nano sur pongo.

8. BILAN

En 2014, 210 nano-impression ont été effectués sur la machine NXR2500 (même chiffre qu'en 2013). On peut estimer le pourcentage de procédés liés à des développements à plus de 70%. En effet, la

technique étant nouvelle et les demandes très hétérogènes, beaucoup de développements sont nécessaires.

9. PROSPECTIVES

9.1. Personnels

En 2015, une dizaine de projets de recherche demandent des développements sur l'équipement Nanonex dans des domaines applicatifs très variés et pour des processus aussi très variés. Il nous semble absolument nécessaire, dans ce contexte, de pérenniser le poste d'Assistant Ingénieur.

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. Nous espérons, grâce à cette nouvelle installation, améliorer la qualité des impressions, en particuliers sur grandes surfaces (4 et 6 pouces), et faciliter la mise en œuvre des procédés pour les utilisateurs.

9.3. Procédés

La lithographie par nano-impression s'inscrit aujourd'hui de plus en plus dans la réalisation de composants ou de nanostructurations nécessitant donc la prise en compte de verrous technologiques au sein d'autres zones (gravure, lithographie optique, caractérisations, ...). Les interactions avec les autres zones sont de plus en plus nombreuses. Différents développements à venir ont déjà été évoqués dans ce qui précède, mais il faut en noter d'autres, issus des besoins exprimés par différentes équipes de recherche :

- développement de moules mixtes (nano-impression + lithographie UV) afin de réaliser simultanément des motifs nano et micro avec des résines UV.
- développement de résines plus résistantes à la gravure et/ou de systèmes bicouches.
- réplication de motifs micro et macro dans films secs (application à la microfluidique).
- compréhension des phénomènes de démouillage

9.4. Collaboration

Suite à des discussions fructueuses avec un chercheur et un ingénieur de la plateforme de l'IEF, nous espérons mettre en place une collaboration portant sur plusieurs points :

- compréhension des phénomènes de démouillage
- meilleur contrôle du démoulage
- fabrication des moules
- utilisation d'un équipement identique et transfert de procédé
- envoi de la résine RA32 pour tests sur des procédés différents (moules en verre, machine EVG).

10. CONCLUSION GENERALE

Cette année a été riche en développements de nouveaux procédés en en résultats. Nous le devons d'une part à l'action structurante de la filière « LAAS-Nano » et d'autre part à l'engagement d'équipes de recherche dans le développement de procédé de nanostructuration, au travers, en particulier, de leurs étudiants en thèse (ceci étant certainement lié à cela).

Depuis deux ans, nous voyons croître le nombre de projets nécessitant la structuration de la matière par nano-impression. Le projet LAAS-NANO a permis de rendre certainement plus visible les activités autour du nouvel équipement Nanonex, de mettre en place des priorités de développements technologiques mais aussi (et surtout, peut-être) de financer un AI en CDD. En effet, la masse critique des permanents est trop faible pour d'une part développer l'ensemble des nouveaux procédés, et d'autre part, pour pérenniser les savoir-faire. La pérennisation du poste d'AI est donc nécessaire si le LAAS souhaite continuer à développer la filière « nano » au sein de la plateforme.

DEPOTS SOUS VIDE

1- EQUIPEMENTS

Equipement	Année d'achat	Valeur d'achat (€)	N° inventaire
EVA 600 Evaporation <ul style="list-style-type: none"> ○ Ti, ○ Au, ○ Cr, ○ Cu ○ Pt ○ Ni 	2010	165000	10008_P
Edwards 2 Evaporation <ul style="list-style-type: none"> ○ divers ○ polymères 	2003	91500	6771C
Edwards 3 Evaporation Al	2004	76200	7412_W
Alcatel 450 Pulvérisation cathodique <ul style="list-style-type: none"> ○ Au, ○ AuGe, ○ AuZn, ○ Ni 	1981	61000	-
Cluster UNIVEX 450C Pulvérisation cathodique <ul style="list-style-type: none"> ○ Al ○ ITO (en développement) ○ Ta ○ Pt ○ Cu ○ W 	2008	900000	8536_W
Varian 3616 Evaporation <ul style="list-style-type: none"> ○ Ti, ○ Au, ○ Cr, ○ Pt 	1996	160000	0859_P
ApSy- E100 Evaporation divers	1973/2010	130000	10089_PE
Plassys Evaporation Metal <ul style="list-style-type: none"> ○ Al ○ Ag Evaporation Organique <ul style="list-style-type: none"> ○ Alq3 ○ NPB 	2013	350000	10760-CV
Ribber	2015	0	11309PP
Hotte traitement chimique	2004		7690_C
Etuve ventilée	2002		6922_CV

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

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

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

Un planning Grr est disponible en ligne pour consultation. Les réservations seront 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 du système de pompage cryogénique.
 - Univex 450C : Maintenance de vanne de transfert de la chambre 6.
 - EVA 600 : changement du système de pompage cryogénique.
 - Edwards poly : changement des joints sur les traversés électrique.
 - Plassys : changement de tourelle du canon à électrons.

5- BUDGET

5.1. 2014

Sommes engagées en 2014.

- Consommables = 24380 €
- Maintenance = 27000 €

5.2. Prévisionnel 2015

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

5.3. Commentaire

Le consommable 2014 est faible par rapport aux années précédentes, cela est dû à un avoir important sur l'or. Pour l'année 2015 cet avoir est épuisé.

La répartition de la maintenance 2015 se fait en trois points :

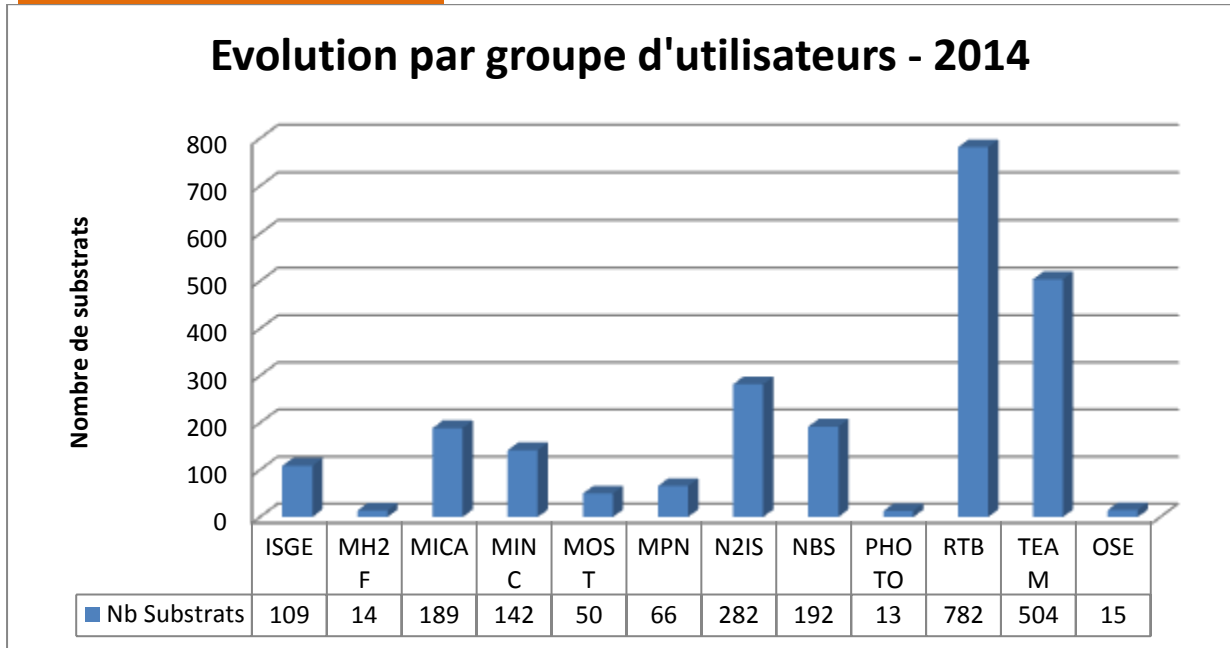
- Mécanique 21%
- Système de pompage 69%
- Electronique 10%

6- FORMATIONS

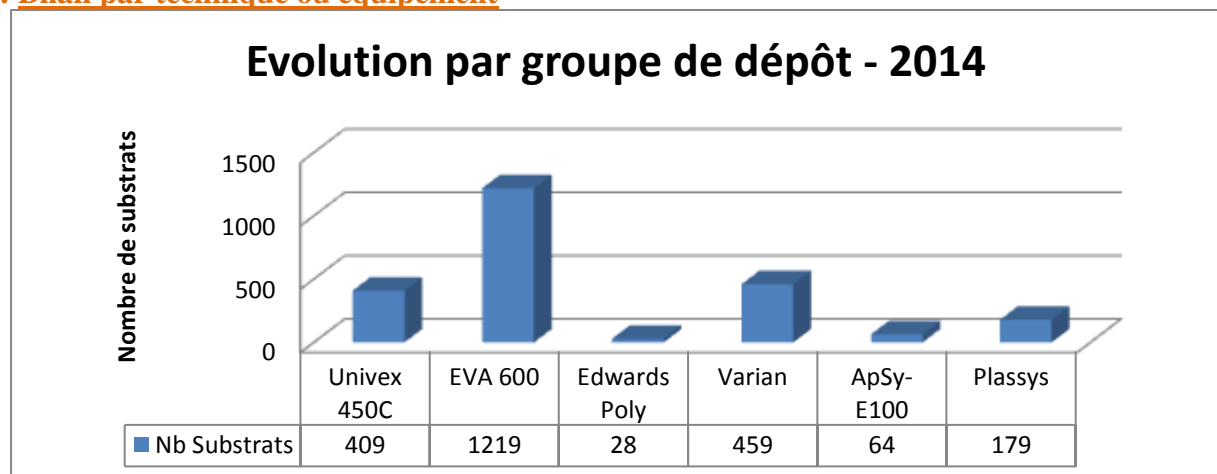
- Protocoles de métallisation (Techniques, matériaux, épaisseurs, résine, lift) pour chaque demande de métallisation. Soit environ 50 heures par an.

7- BILAN

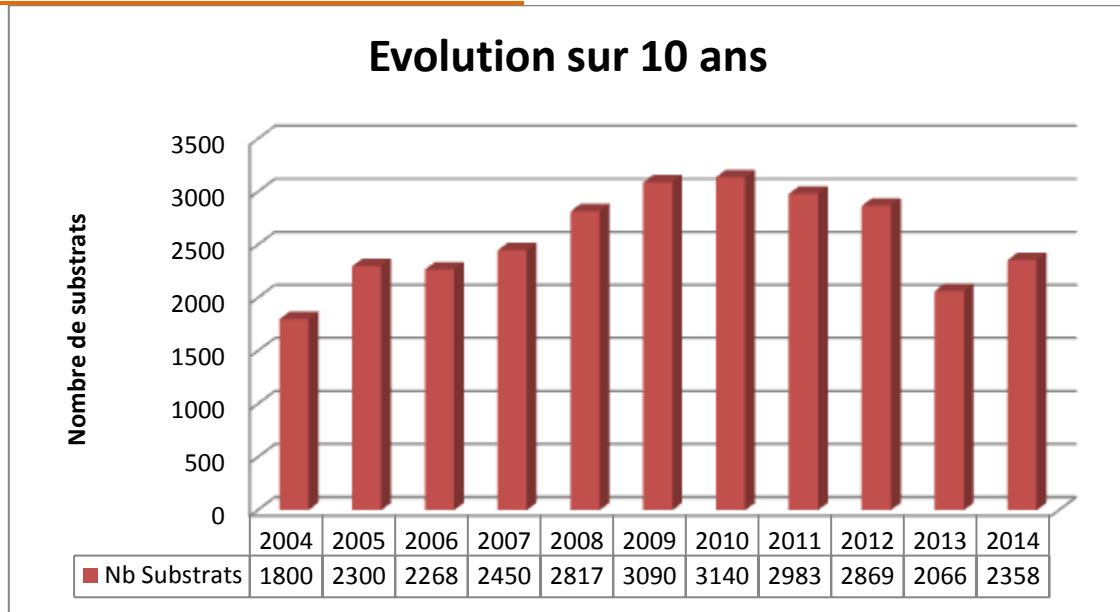
7.1. Bilan par groupes utilisateurs :



7.2. Bilan par technique ou équipement



7.3. Evolution au cours des dernières années



7.4. Analyse :

L'activité enregistre une légère hausse.

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 thermies.

Renatech représente 34% du volume global ce qui est en baisse par rapport à l'an dernier, et s'explique notamment par la diminution de l'activité liée au projet Essilor Renatech.

8- PROSPECTIVE

8.1. Equipements :

- Acquisition d'un bâti PVD avec canon à électrons et canon à ions
 - Ce bâti de dépôt de couches minces est destiné au traitement de substrats jusqu'à 6'' pour déposer les matériaux suivants : Ti, Pt, W, Mo, Ni, Al, Cr. Ce bâti devra effectuer des dépôts les plus anisotropes possibles. Un canon à ions devra permettre des traitements de surface avant dépôt. Les dépôts devront être entièrement automatisés.
- Les dépôts AuGe/Ni/Au étaient réalisés dans l'Alcatel 450 en pulvérisation cathodique, cet équipement d'une trentaine d'années est maintenant hors d'usage et non réparable.
 - La solution est de réaliser ces dépôts en évaporation par effet joule dans l'ApSy. Les premiers essais ne sont pas satisfaisants, il faut continuer le développement.
 - Dans l'attente de la finalisation de ces développements une solution alternative est la réalisation des dépôts par une centrale du réseau Renatech. Cette action est déjà en cours.
 - Une autre hypothèse serait l'achat d'un bâti de pulvérisation dédié. Ce besoin n'avait pas été identifié dans la prospective d'achats bâtie en 2013. S'il est intégré à cette prospective il conviendra de déterminer collectivement à quel rang de priorité, et avec quel financement.
- A noter également la mise en service du Riber dédié à l'étude du dégazage des films.

8.2. Procédés :

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

- Poursuivre l'étude des couches Al/CuO dans l'Univex notamment avec la nouvelle alimentation RF.
- Continuer le développement des films AuGe/Ni/Au dans l'ApSy.
- Développement du dépôt de V_2O_5 dans l'univex.
- Etude du dégazage des couches dans le bâtiment Ribber dédié.

9- CONCLUSION GENERALE

Dans cette zone l'activité de service (ne nécessitant pas de travail de développement) est très forte avec un nombre de dépôts très important.

L'activité de la zone reste constante, cela s'explique par l'évolution de la nature des dépôts. Un exemple significatif est la multiplication des substrats test pour la calibration ou la mise au point des différents dépôts.

L'année 2015 va demander un fort investissement dans la poursuite de la mise au point du bâti permettant le dépôt de matériaux organiques mais également dans la prospection pour l'acquisition d'un nouveau bâti PVD avec canon à électrons et canon à ions.

EJM

1. EQUIPEMENTS

Equipement	Année d'achat	Valeur d'achat (€)	N° inventaire
Bâti Riber 2300	1985	686020	
<ul style="list-style-type: none"> cellules Ga, In, Al, 2xAs₂, CaF₂, Bi cellule plasma hydrogène RHEED 20kV Spectromètre de masse (0-100) Pilotage informatisé du bâti (LAAS) 	1985 2005 2004 1985	30000 51660 26530 6500	- 8047_W - -
Bâti Riber 32P	1994	190686	
<ul style="list-style-type: none"> cellules Ga, In, 2xAl, Be, Si, Bi cellule cracker d'As cellule plasma azote à pompage différentiel RHEED 10 kV Spectromètre de masse (0-200) Réfectométrie dynamique accordable Pyromètre basse température Pilotage informatisé du bâti (LAAS) 	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	-
Bâti Riber MBE412			10190_CE
<ul style="list-style-type: none"> cellules 2xGa, 2xIn, 2xAl, Sb, Si, CBr₄ 2x cellules cracker d'As cellule plasma azote à vanne intégrée RHEED 12 kV + camera + logiciel KSA400 Spectromètre de masse (0-200) BandiT Pyromètre Pilotage informatisé du bâti (Crystal - Riber) Chambre de transfert robotisée (cluster) Chambre de stockage/parking Chambre de dégazage haute température	2011 2011	1285000	
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 :**
 - Remplacement afficheur sur alimentation ACM 1000 du sas d'intro.
 - Test amorçage plasma H.
 - Branchement transformateur pour alimentation vanne pompe cryo.
 - Mise en service de 6 nouveaux moly blocs spécial Si.
 - Remplacement des ventilateurs des alimentations cellules PS, Al, Si.
 - Mise en place by-pass sur onduleur.
 - Intervention ouverture du réacteur : remplacement panneaux cellules et cryo, écran Rheed, pompe ionique, connectique, four et jauge de flux du PSCT, filaments de titane, hublots, recharge des cellules Al,Ga,In, nettoyage du cracker As..
 - Mise en service nouveaux PC.
 - Remplacement batteries onduleur.
 - Mise en service de la commande de la vanne cracker As via PC.
- **BATI 2300 :**
 - **Arrêt des croissances** fin mai 2013.
 - Mise en place by-pass sur onduleur.
 - Remplacement batteries onduleur.
- **BATI 412 :**
 - Remplacement pompe turbo du CBr4.
 - Montage de la cellule H.
 - Maintenance onduleur.
 - Remplacement du vernier de la cellule Sb.
 - Installation ligne H.
 - Test plasma cellule H
 - Remplacement vanne sur cellule H.
 - Remplacement du diffuseur et nettoyage sur cellule H.
 - Remplacement pompe à membrane du sas.
 - Remplacement du micro rupteur du cluster.
 - Intervention ouverture du réacteur : remplacement des 2 cellules Ga ABN150DF par ABN300DF, nettoyage 4 hublots, retrait cellule azote..
 - Mise en service alimentation hublot chauffant.
 - Mise en place cordons d'alimentation du cracker As VAC500

5. BUDGET

5.1. 2014

Les sommes engagées en 2014 portent respectivement sur :

- Consommables : **(28960€)**
 Substrats AsGa : 14573€
 Charge As : 8590€

Azote tanker liquide (EJM) : 5797€

Pour information : azote tanker gazeux (salle blanche) : 30766€

- **Maintenance : (78464€)**

Raccord conique 266€
 Vanne d'équerre 623€
 Ecran support jauge flux 891€
 Porte substrats 4777€
 Vanne tiroir 2671€
 Joints 542€
 Caches hublots 1735€
 Mass Flow 3191€
 Installation eau de ville 1650€
 Réparation Eurotherm 1227€
 Batteries 2x onduleurs 1632€
 Raccord 124€
 Lampe xénon 888€
 Polarisateur 907€
 Band pass filter 411€
 Accessoires optique 2284€

Boîtier A/D, cordons usb, alims... 2087€
 Cordons chauffants 368€
 Upgrade AVP 1200€
 Composant optique 421€
 Matériel optique 1381€
 Composants optique 440€
 Modification Chiller 350€
 Alim hublot chauffant 1405€
 Matériel optique 316€
 Spectromètre HR2000 3206€
 Charges MBE412 24260€
 Monochromateur 6865€
 Hublots chauffants + alims 7860€
 Pièces intervention MBE412 4422€
 Adaptateur pkg 58€

- **Support (2118€)**

Modif ventilation MBE 828€
 Câble capteur H2 200€
 Câblage sécurité gaz 1090€

5.2. Prévisionnel 2015

Les sommes prévisibles pour 2015 sont les suivantes :

- **Consommables : (20493€)**

Substrats GaAs : **7300€**
 1 Plateau MBE412 : **1200€**
 1 Jauge flux MBE412 : **572€**
 1 Filament jauge MBE412 : **130€**

1 Jauge Load MBE412 : **575€**
 1 Charge Sb lingot : **2900€**
 1 Blank dégazage MBE412 : **1000€**
 Pièces, joints... **1000€**

Pour information : azote tanker gazeux (salle blanche) 30875€

- **Maintenance : (49605€)**

- **Pannes diverses... : 7000€**

Tube rayon X : **5000€**
 Déplacement onduleurs MBE412 : **400€**
 Réparation minuterie sublimateur de titane : **200€**
 Maintenance manipulateur MBE2300 : **25000€**

Matériels optique : **1000€**
 1 alimentation jauge de flux + câbles MBE32 : **2063€**
 1x CPU Ethernet MBE 412 : **978€**
 1x Module INPUT MBE 412 : **906€**
 1x Module OUTPUT MBE 412 : **558€**
 2x hublot chauffants 35CF + alims : **6500€**

5.3. Commentaire

- MBE 412 : le bâti sera chargé en début d'année pour 2 ou trois ans. Quelques pièces consommables doivent être remplacées, telles que la jauge de flux et le plateau blank, qui est voilé. Un plateau spécial pour la croissance de nanofils sur substrat structurés sera aussi commandé. Il reste la cellule Sb qui risque de se vider dans l'année. Des modules électroniques seront aussi commandés en prévision d'une panne probable, afin

d'éviter d'immobiliser le bâti le cas échéant. Ces pièces ont été ciblées par le constructeur comme fragiles. Enfin, du petit matériel d'optique afin d'améliorer les outils de contrôle in-situ de la croissance sera sans doute nécessaire.

- MBE32 : L'alimentation de la jauge de flux, vieille de plus de 20 ans, est HS. Il faut la remplacer. Deux hublots chauffants sont nécessaires afin de pouvoir utiliser un outil de mesure de la température de croissance de type BandiT pour le contrôle fin des alliages GaAsBi.
- MBE2300 : Le manipulateur de ce bâti nécessite une maintenance lourde afin d'y incorporer une jauge de flux, nécessaire si on veut y développer de nouveaux matériaux.
- Diffractomètre : le tube, d'une durée de vie de deux ans, devra bientôt être changé.

6. EVOLUTION DES PROCÉDES

L'étude de nouveaux matériaux/procédés continue :

- 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 (MBE32).
- Croissance de nanofils GaAs sur substrats Si (MBE412).

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, QCL, 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'épétaxie par jets moléculaires : Pas de cours cette année

Une postdoc formée sur le MBE32 (P. PRONGJIT) : 15H00

Deux personnes formées sur le diffractomètre X (XRR et GIXRD) : 10H00

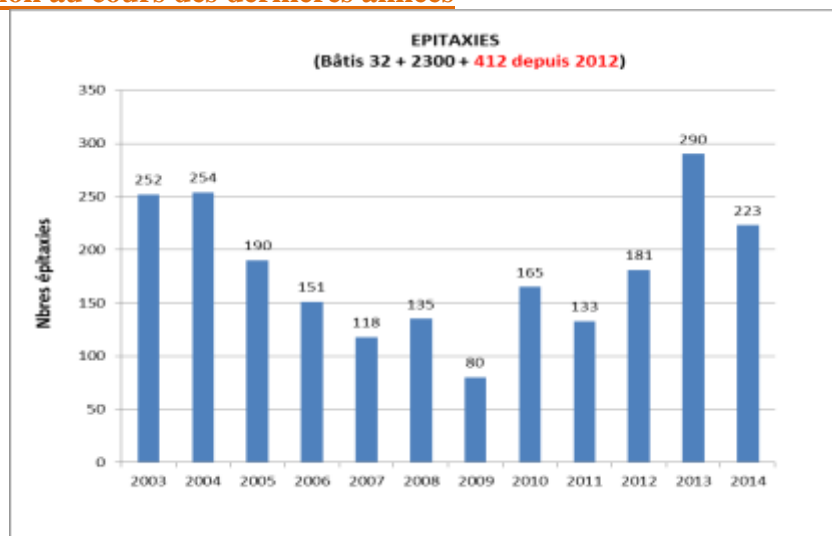
Trois personnes Riber sur les techniques de l'épétaxie : 20H00

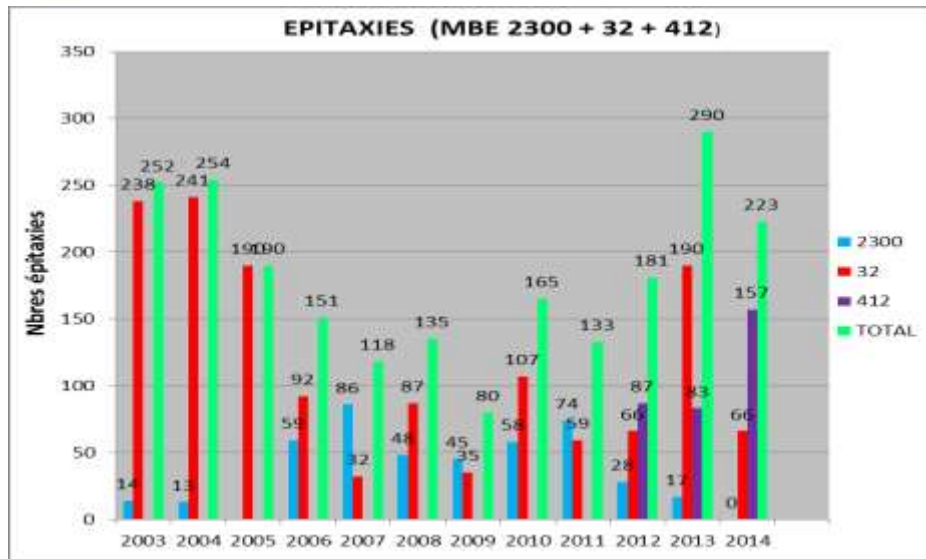
8. BILAN

8.1. Bilan par technique ou équipement

Sur la période, 223 épétaxies ont été réalisées sur les bâtis 32P, et 412. Le MBE2300 est actuellement à l'arrêt.

8.2. Evolution au cours des dernières années





8.3. Analyse :

Cette année, le nombre de procédés réalisés sur le MBE412 a fortement augmenté. Ceci est dû principalement à un nombre élevé de procédés courts de croissances de nanofils III/V sur Si (98 croissances)

Le MBE32 a été entièrement rénové cette année (changement du panneau cryogénique et de la bride cellule, fournis par Riber en compensation des retards de livraisons du MBE412). Ceci a stoppé l'activité sur ce bâti pendant plusieurs mois, mais une activité normale a repris depuis, et les croissances sont concentrées sur l'étude de l'alliage GaAsBi.

Le MBE2300 a subi une panne majeure en 2013 (manipulateur HS). Celui-ci était utilisé exclusivement à la décontamination de surface par plasma d'hydrogène. Ce procédé a été transféré avec succès sur le MBE32P. L'avenir du MBE2300 est en réflexion. Notons qu'il est maintenu sous ultravide en attendant.

Le MBE412 a atteint la fin de sa première campagne, qui a duré un peu plus de deux ans. Les cellules de Ga et la cellule As sont arrivées en fin d'autonomie simultanément. Pour la prochaine campagne, des cellules de Ga d'une capacité deux fois plus grande, et une deuxième cellule d'As sont en cours de montage. Ceci devrait permettre d'augmenter le temps de campagne.

9. PROSPECTIVE

9.1. Equipements :

Bâti 32P

La croissance du GaAsBi est très sensible à la température du substrat. Le BandiT du MBE412 a été utilisé avec succès, mais il faudrait aussi équiper le MBE32 de cet outil.

Un outil de mesure de déformation du substrat pendant la croissance serait aussi très utile pour le contrôle précis des concentrations d'alliage à fort désaccords de paramètres de maille.

MBE412

Nous avons monté un ellipsomètre (mono longueur d'onde) sur la chambre de dégazage afin de suivre la désoxydation in-situ du Si. Il reste à le tester en condition réelle, dès que les procédés reprendront après en début d'année 2015.

Afin de fiabiliser le procédé de croissance, et réduire le nombre de couches de calibrations, un OFM (Optical Flux Monitoring) permettant le suivi du flux de Ga est en cours de réflexion / montage.

Enfin, un FIB UHV va être connecté au cluster du MBE412 fin 2015 (FUI ULTINATOOL).

9.2. Procédés :

Bâti 32P et 2300

La croissance de GaAsBiN sera poursuivie (sur le 32P), ainsi que les épitaxies 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.

10. CONCLUSION GENERALE

L'année 2014 a été marquée par deux événements dans la zone :

- Le changement du panneau cryogénique et de la bride cellules du MBE32. Ces éléments ayant un impact majeur sur la qualité des couches (densité de défauts), leur remplacement va permettre la réalisation d'épitaxies dans de bien meilleures conditions.
- Le démarrage de l'activité nanofils sur le MBE412. Nous n'avons identifié aucune contamination croisée entre les différentes activités sur ce bâti, le niveau de dopage résiduel restant excellent (qges $1E14 \text{ cm}^{-3}$).

L'année 2015 devrait donc se dérouler dans les meilleures conditions pour le MBE32. Le MBE412 a démontré sa grande versatilité et sa qualité pour la réalisation de couches complexes (stabilité, reproductibilité), mais des développements restent à finaliser afin de réduire le nombre nécessaire de couches de calibrations, pour répondre plus efficacement aux demandes qui restent très hétéroclites.

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
Traitement UV 248nm SPECTROLINE	2014	2033	
SPD MEMSSTAR	2013	428399	10745_CV
Sécheur Supercritique TOUSIMIS	2004	76200	7592_W
Sécheur Supercritique SEPAREX SFD 200	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 SFD 200 (Fonctionnalisation par CO₂ supercritique).

2. UTILISATEURS

Jet d'encre, SPD et SFD 200 : MINC, MICA, ISGE, NBS, MPN, N2IS, PHOTO, MH2F
Electroless : N2IS

3. REFERENTS TEAM

- Véronique Conédéra : IR responsable de zone
- Fabien Mesnilgrete : AI
- Rémi Courson : IR CDD (fonctionnalisation)

4. MAINTENANCES

La zone s'est enrichie d'une machine de traitement UV 248nm, machine en libre accès, qui permet de rendre les surfaces hydrophiles sur une durée beaucoup plus importante comparée à un traitement par UV ozone.

La machine de jet d'encre est un prototype qui a subi des adaptations beaucoup plus que des réparations. Nous venons d'apprendre que la société Altatech n'assurerait plus la maintenance sur le Hardware et le Software ce qui pose un réel problème ; actuellement, la machine ne peut pas imprimer en mode « fly » (mode qui permet d'imprimer de grandes surfaces).

Les équipements de fonctionnalisation ont fonctionné correctement durant l'année 2014 avec quelques interventions de dépannage et de mise au point de procédés de la société 31° sur le CO₂ supercritique SFD 200.

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 2014

- Consommables : 5278€
- Support : 2900€

5.2. Prévisionnel 2015

Le budget prévisionnel pour 2015 se chiffre à 21000€ et se décompose comme suit :

- Consommables : 8400€
- Maintenance : 7000€
- Equipement : 5600€

5.3. Commentaire

Dans le chapitre « équipement », la demande porte sur un agitateur à rouleaux (1600€) permettant de maintenir les encres en mouvement (sédimentation évitée) et une alimentation de têtes d'impression (4000€) ce qui permettrait peut-être de régler le problème d'impression en mode « fly ».

6. PROCÉDES

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 SnO₂ synthétisé au LCC (SnO₂ LCC) et de SnO₂commercial (SnO₂ com) réalisés :
 - La suspension avec le SnO₂ 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 SnO₂com est stable et permet des impressions répétées 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
- Dépôt de nano particules Au:ZnO synthétisées au LCC ; les encres sont à base d'éthylène glycol et de diéthylène glycol
- Dépôt de PEDOT encre à base d'eau
- Dépôt de nano particules d'ATO (Antimony Tin Oxyde) en suspension dans l'eau. (précision d'alignement)
- Dépôt de graphène et de nitrure de bore à partir d'encres commerciales
- Dépôt de nano tubes de carbone commercial (NTC_{com}) ou oxydés(NTC_{oxy}) et mis en suspension au LAAS

6.1.2. Les procédés jet d'encre en étude.

- Dépôt de polymère synthétisé au Laas pour la fabrication de lentilles.
- Dépôt de (AuTiO₂) et (ZnO(nano bâtonnets) CuO), les deux synthétisés au LCC
- Dépôt de PEDOT avec une encre stabilisée
- AlCuO
- ZnOAl dopé Bismuth

6.2. Les procédés de dépôts auto catalytiques

Nous continuons l'étude des dépôts auto catalytiques sur divers matériaux dont la résine époxy SU8 et des films souples ; tous les protocoles de dépôt ont été changés afin de résoudre le problème d'adhérence des couches déposées.

6.3. Les procédés de fonctionnalisation de surface

Rappel : l'équipement SPD (Surface Preparation Deposition) permet de rendre les surfaces (silicium, oxyde de silicium, polymère) hydrophobes ou hydrophiles.

Le procédé hydrophobe est optimisé à partir d'un dépôt de FDTS sur du silicium et ses dérivés et à partir d'un dépôt d'une couche d'oxyde (20nm déposée in situ) comme couche d'accroche pour le FDTS sur polymères (Kapton, SU8,...).

Le procédé hydrophile à partir du PEG sera mis en place sur la SPD dès réception du produit car le procédé a été validé dans l'équipement CO₂ supercritique SFD 200 (Supercritical Fluid Deposition).

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 est dispensé depuis 2014.

L'équipement SPD est en libre-service après formation ; cette année, 15 personnes ont été formées, le temps de la formation est de 20 minutes.

L'équipement SFD 200 n'est pas encore en libre-service car les procédés sont à optimiser.

8. BILAN

8.1. Bilan par groupes utilisateurs :

En 2014, 10 projets ont été soutenus dont 9 en jet d'encre :

- Equipe N2IS : dépôt auto catalytique nanocomposite
- Equipe ISGE : micro-supercondensateurs à base de NTC
- Equipe MICA: capteurs de gaz

microlentilles sur composants optiques

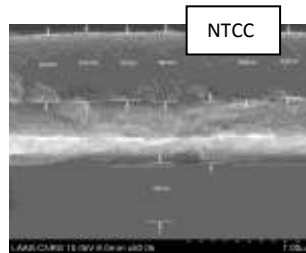
- Equipe NBS : muscle artificiel
- Start-up NANOMADE

- **Equipe N2IS**

Dans le cadre du projet de recherche DIGIDIAG, des tests de dépôt de nickel et de cuivre auto catalytique ont été initiés sur divers films secs et polyimides; de nouveaux protocoles ont été mis en place. La principale difficulté est l'adhérence du film déposé sur une surface à faible rugosité.

- **Equipe ISGE**

Les dépôts de NTC synthétisés dans l'équipe sont concluants pour la fabrication de micro-supercapaciteurs.

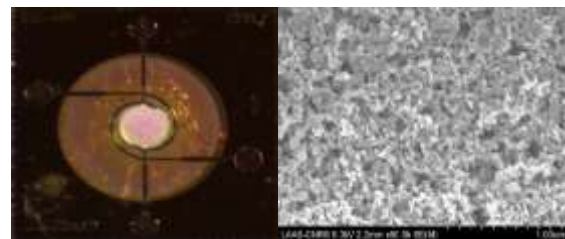
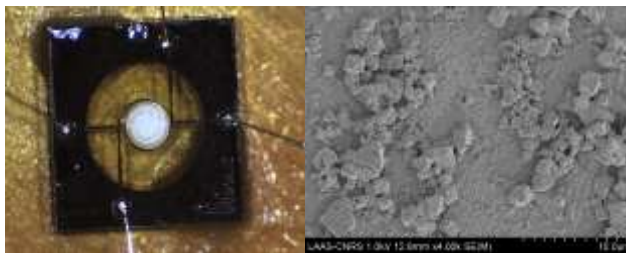


- **Equipe MICA**

Projet capteur de gaz: sont imprimés des nanoparticules de SnO₂ commerciales et synthétisées au LCC ainsi que des nanoparticules de CuO.

SnO₂

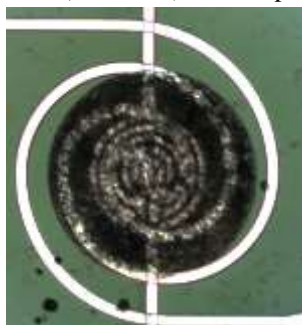
Au:ZnO



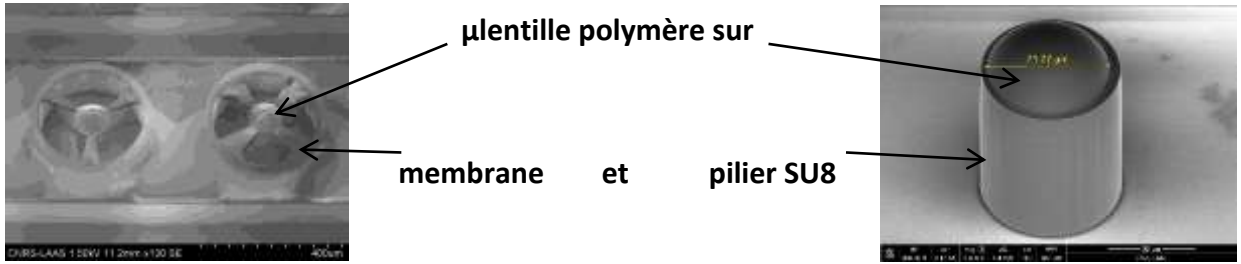
L'étude des particules ZnO_{LCC} isotrope et anisotrope est terminée

ZnO (bâtonnets) anisotrope

ZnO isotrope + 7% DEG

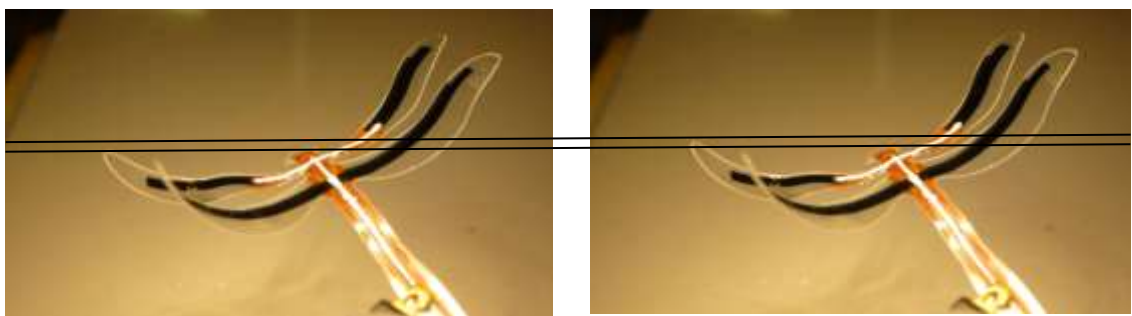


Projet lentille : dépôt d'un polymère formulé par JB.Doucet pour la fabrication de micro lentilles ; les premiers tests démontrent la faisabilité de déposer précisément sur des composants optiques. Par contre l'étude se poursuit dans la formulation du polymère et le traitement de surface car les premiers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



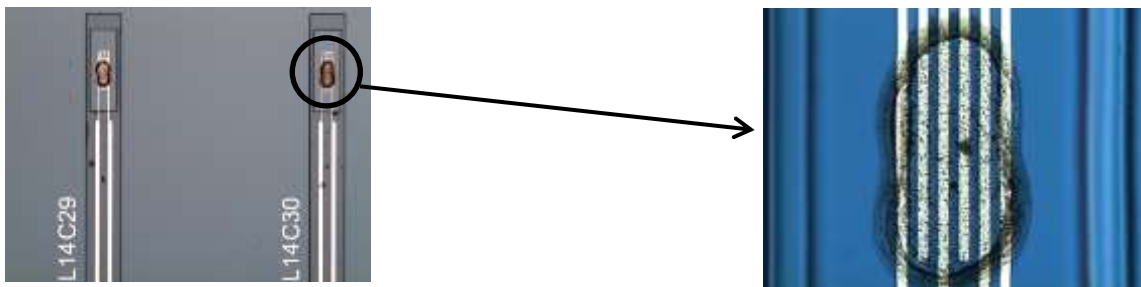
• **Equipe NBS**

L'étude sur l'impression du PEDOT pour la réalisation de muscle artificiel se poursuit ; on étudie différents solvants de dilution pour améliorer la conductivité du PEDOT. Un premier concept « libellule » a été démontré (ailes en PVDF(poly(fluorure de vinylidène)), sur lesquelles a été déposée une couche de PEDOT sur les deux faces



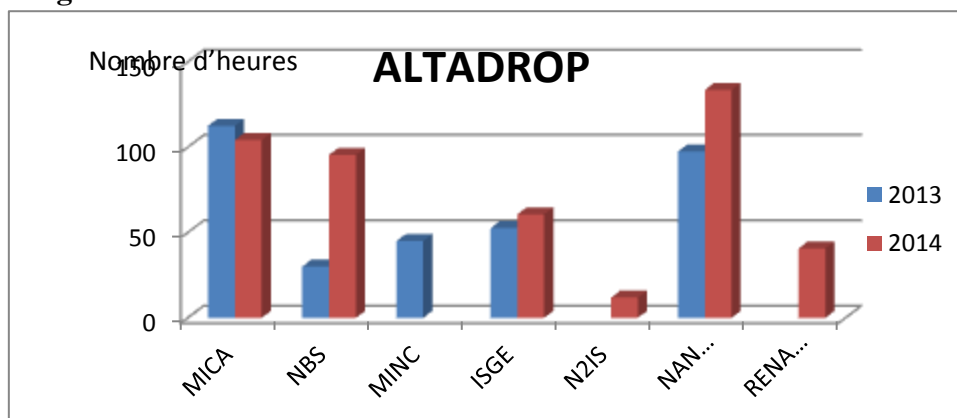
• **Start-up NANOMADE**

Les dépôts de nanoparticules d'ATO (Antimony Tin Oxyde) sont développés et se font entre des électrodes d'or sur polyimide. Les résultats dépendent de la fonctionnalisation de surface du polyimide.

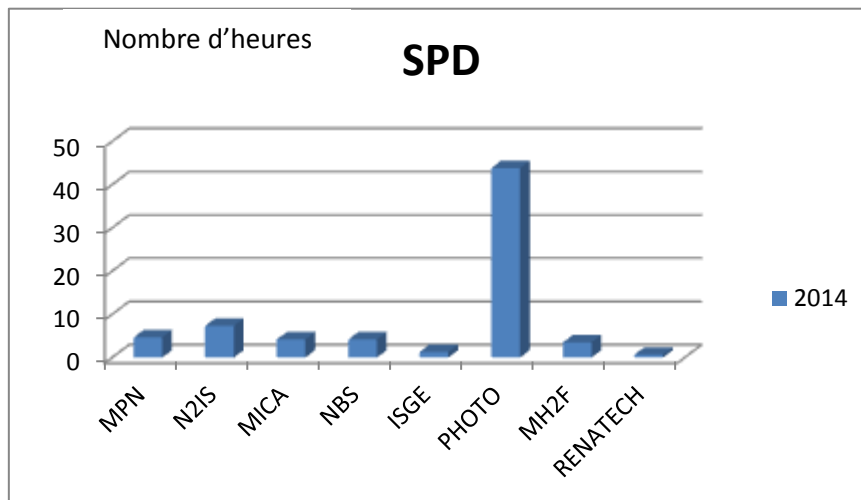


8.2. Nombre d'heures d'occupation des équipements (outil GRR):

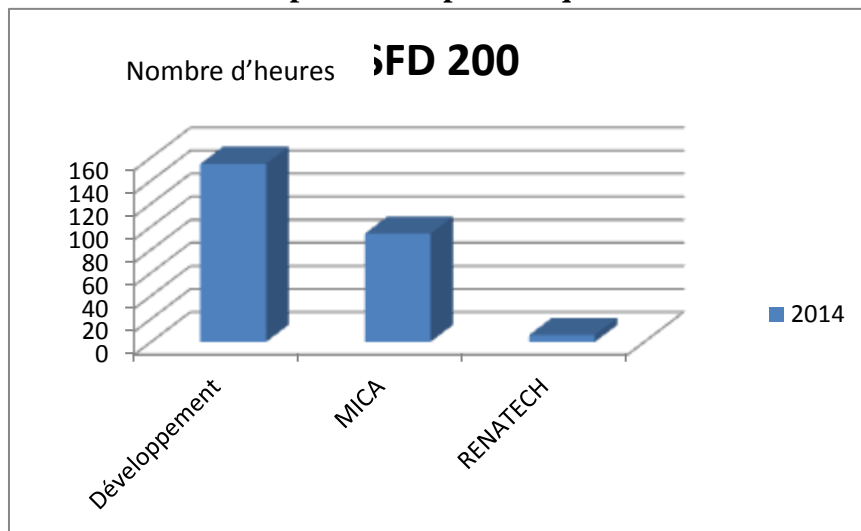
Machine jet d'encre (Altadrop) sans compter le temps passé sur la synthèse des encres et le débouchage des buses.



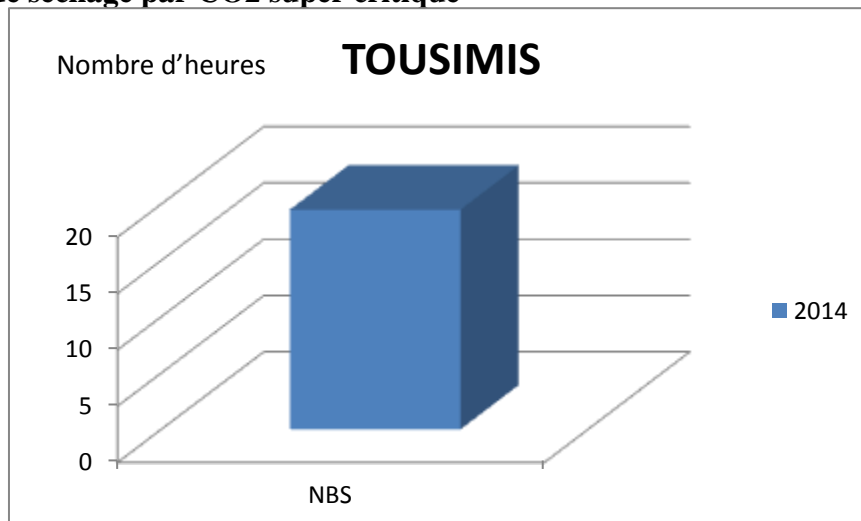
Machine de fonctionnalisation en phase vapeur



Machine de fonctionnalisation par CO₂ super critique



Machine de séchage par CO₂ super critique



8.3. Bilan par technique ou équipement

- Une large variété d'encre est fiabilisée pour le dépôt jet d'encre.
- Concernant les dépôts autocatalytiques, nous avons validé le dépôt de nickel sur des films polymères dont la résine SU8 et il nous reste à confirmer le dépôt de cuivre car nous avons démontré une seule fois un dépôt adhérent et uniforme sur des technologies polymères ; ces dépôts se font après une fonctionnalisation de surface par traitement plasma NH_3/N_2 réalisés dans le bâti ICPECVD.
- 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 n'évolue pas après 12 mois de vieillissement.
 - Un résultat remarquable : le traitement n'est pas altéré soit après 10 minutes à 350°C sous azote ou soit après 8H à 250°C
 - On compte 95 runs effectués dans l'année.
- Un gros développement est mené par Rémi Courson sur la fonctionnalisation de surface avec l'équipement CO_2 supercritique :
 - le procédé pour rendre les surfaces Silicium et Verre hydrophiles à partir du PEG est finalisé
 - une étude est menée sur le GPTMS et l'APTES, comme couches adhérentes pour polymère, dépôt auto catalytique et greffage bio.

9. PROSPECTIVE

9.1. Equipements :

- On vient d'apprendre que la société ALTATECH n'assure plus la maintenance Hardware et Software de la machine de dépôt jet d'encre ; cette machine présente un problème de fonctionnement en mode « fly » et nous espérons que le mode « drop on demand » ne sera pas aussi affecté. 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 retrofit de l'équipement. Il devient urgent d'inscrire une machine de dépôt par jet d'encre parmi les priorités d'investissement des équipements ce qui assurerait d'une part la pérennité de l'activité mais aussi d'avoir la possibilité d'imprimer des encres en multi buses, technologie adaptée pour de grandes surfaces avec un gain de temps.
- Continuer la veille technologique sur de nouvelles machines.

9.2. Procédés :

- 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 $50\mu\text{m}$ et $80\mu\text{m}$ avec une reproductibilité dans les procédés.
 - Mener une étude sur la « jettabilité » d'une encre en fonction de ses propriétés (viscosité, tension de surface) et du diamètre de la buse.
- En dépôts auto catalytiques : L'objectif à long terme 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.
- En traitement de surface :
 - Le nouvel équipement SFD200 de fonctionnalisation avec le CO_2 supercritique offre des possibilités que ne peut pas assurer le SPD par l'utilisation de divers

précurseurs notamment ceux avec un fort poids moléculaire. Ces précurseurs peuvent intéresser les bio-technologies ; un précurseur hydrophile biocompatible, le silane PEG succinimidyl ester, sera testé pour répondre aux fonctions d'hydrophilie et de greffage.

- L'étude est menée avec le soutien de Rémi Courson dont les connaissances en matériaux « précurseurs » sont un atout pour les technologies de fonctionnalisation.

10. CONCLUSION GENERALE

Un point important à soulever est le problème de la maintenance de la machine jet d'encre qui n'est plus du tout assuré par le constructeur ALTATECH ; pour assurer la continuité de la technologie jet d'encre, un nouvel équipement doit être inscrit dans les priorités des investissements du laboratoire.

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 suit particulièrement la fonctionnalisation avec le CO₂ supercritique (SFD 200) comme fluide porteur aidé par Rémi Courson qui est déjà investi dans la technologie SPD. La machine SFD devrait répondre aux besoins de fonctionnalisation des biotechnologies et nous rappelons que la machine jet d'encre permet aussi de déposer des encres chargées en ADN, protéines, cellules, etc... La zone jet d'encre est une zone dont les équipements peuvent être utilisés pour les biotechnologies.

ELECTROCHIMIE

1- EQUIPEMENTS			
Equipement	Année d'achat	Valeur d'achat (€)	N° inventaire
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, NPM, NBS, ISGE, RENATECH, TEAM.

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 est désormais sur l'application GRR.

Le manque de place ne nous permet pas de laisser en service tous les équipements : les bains de RuO₂, anodisation,.... occupent un même emplacement. En fonction des demandes, nous planifions le roulement.

4- MAINTENANCES

4.1. Maintenances

- Fuite Bac KOH
- Capteur de pression N₂ machines RENA

4.2. Incident

- Rena Or :

Suite à une livraison de N₂ non effectuée pour cause d'accès impossible aux tankers, le manque d'N₂ gazeux et le retour de pression trop important ont entraîné la panne de deux capteurs de pression sur 3.

5- BUDGET

5.1. 2014

- Consommables 3 550 €
- Maintenances 570 €

5.2. Prévisionnel 2015

- Consommables 10 000 €
- Maintenance 5 000 €

L'augmentation du prévisionnel est due pour le consommable aux tests de nouveaux bains de cuivre apportant de meilleures performances et pour la maintenance à l'adaptation des machines RENA avec un nouveau système automatique permettant de diminuer la consommation d'additifs.

5.3. Petits équipements

- Camera plus logiciel de mesure pour microscope 1 200 €
- Plasma RIE de Table 10 000 € - 15 000 €

5.4. Support

- Etagères
- Aménagement paillasse chimie
- Poubelle sous aspiration

6- EVOLUTION DES PROCÉDES

Résines Epaises

Les développements de la Résine ultra épaisse BPN ont permis d'adapter 2 procédés à plus faible épaisseur de 50 et 100 µm compatible avec les procédés de gravures profondes et de dépôts électrolytiques.

Ces procédés sont en cours de transfert pour du libre service dans la zone de photolithographie .

Cette résine s'est avérée plus résistante que les résines conventionnelles aux plasmas O₂ et O₂/CF₄ permettant ainsi de graver de fortes épaisseurs de parylène, de polyimide et de silicium. (cf. zone de gravure plasma)

Remplissage de Via :

Une réunion a suivi une nouvelle présentation de la zone vers les différentes équipes. Il en est ressorti un futur besoin en remplissage de vias que cela soit dans des polymères ou des substrats silicium. Les étapes de process ont été redéfinies, le dépôt de la seed layer se fait dorénavant par dépôt de platine ALD, la couche est beaucoup plus conforme dans les hauts rapports de forme et recouvre parfaitement le scalloping lié à la gravure profonde du silicium. Les temps longs de fabrication des modules de test (gravure profonde 300 µm, dépôt Pt ALD, dépôt Cu, découpe,

polissage sur la tranche et caractérisations) entraînent un temps de développement de procédé plus long que pour un dépôt classique.

Protocole :

Les protocoles d'utilisations des appareils des machines RENA ont été finalisés et publiés en rapport interne. Des protocoles d'utilisations des machines de dépôt manuel sont en cours de finalisation en vue de leur publication en rapport interne.

Mesures Chimiques :

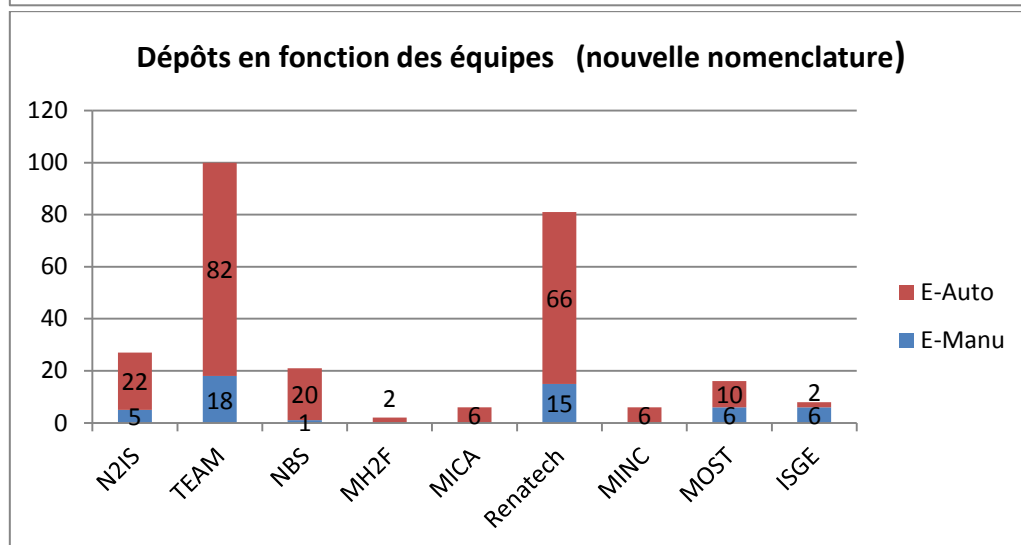
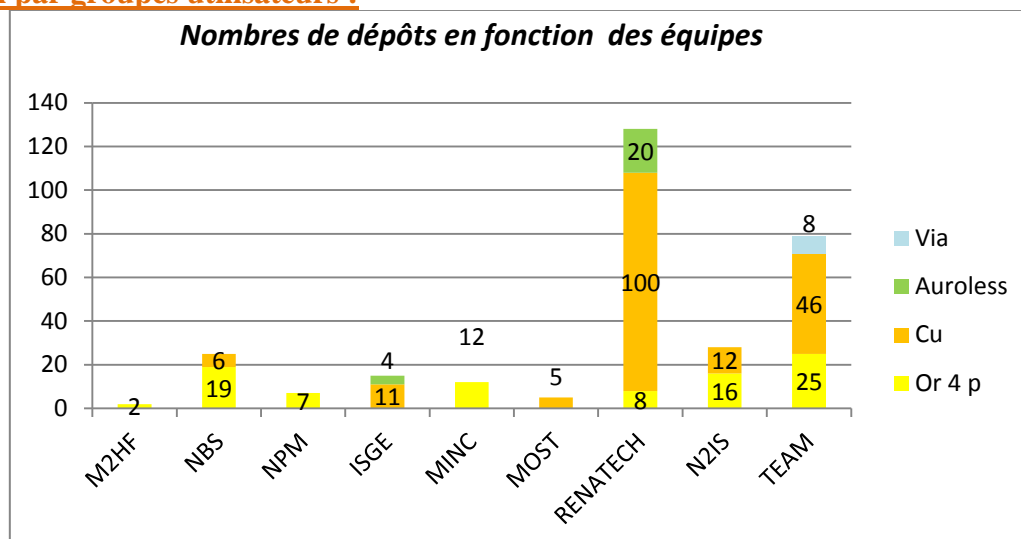
Suite aux différentes présentations de la zone et des possibilités de caractérisations, pour la première année la zone électrochimie a été sollicitée par une équipe pour réaliser différentes mesures de concentrations. Nous avons défini de nouveaux protocoles afin d'obtenir les précisions souhaitées.

7- FORMATIONS

- Formation de 4 personnes sur les équipements KOH-TMAH à raison d'une demi-journée par personne ce qui représente un volume de 2 jours.

8- BILAN

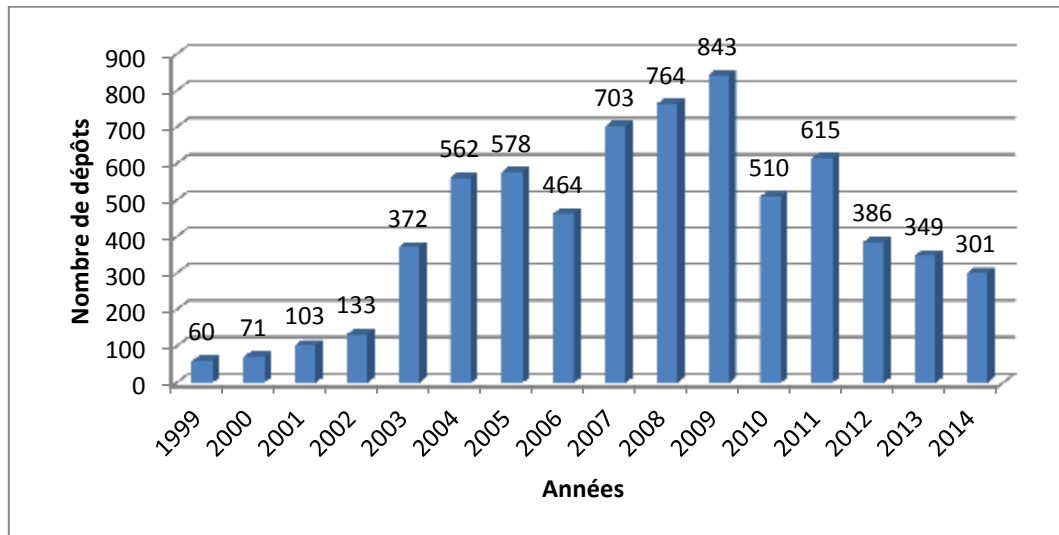
8.1. Bilan par groupes utilisateurs :



Cette année l'électrochimie a été sollicitée par 7 équipes du LAAS comparé à 4 pour l'année 2013 auquel il faut ajouter les demandes Renatech. Team a pris en charge le développement du remplissage de via plus les wafers tests nécessaires pour certifier la qualité des dépôts, ce qui explique qu'il soit le deuxième utilisateur.

Cette année a confirmé encore la forte demande de l'électrochimie dans les projets Renatech. Il y a eu 6 projets demandeur de cette ressource. Les demandes sont restées stables par rapport à 2013, cela représente 42.5 % des dépôts réalisés. Ces demandes devraient être reconduites pour 2015.

8.2. Evolution au cours des dernières années



Cette année nous réalisons les dépôts d'Auroless par lot de 4 ou 8. Ce qui fait que le nombre total de dépôts est un peu moins important que l'année 2013 alors que le nombre de substrat traité est équivalent.

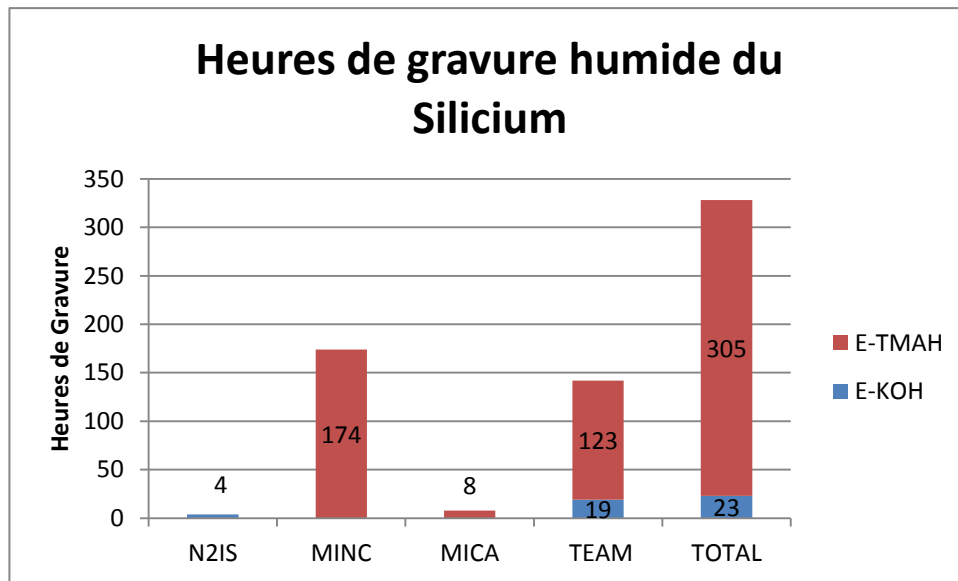
Le savoir-faire du LAAS continue à se faire connaître, via différentes interventions ou par le bouche à oreille, ce qui permet d'avoir toujours une forte demande via les projets Renatech aussi bien pour des laboratoires que pour des entreprises.

L'embauche de Sylviane Baster en CDD a permis de finaliser tous les protocoles d'utilisations des machines automatiques de la zone et d'en débiter de nouveaux. Elle travaille également sur les développements pour le remplissage des vias et permet de dégager du temps pour la poursuite des développements sur les résines ultra épaisses. Son poste a été reconduit pour 2015 nous allons ainsi pouvoir poursuivre tous ces développements.

Cette activité était jusque-là sans équivalent dans les autres centrales du réseau Renatech. Pour la troisième 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 2014 pour dégager du temps pour les développements communs à plusieurs projets, les développements très spécifiques (alumine anodique, silicium poreux, RuO₂...) 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 importante. Ces projets ont représenté 525 h de travail sur paillasse uniquement pour 2 équipes. (ISGE & NBS)

8.3 Bilan Gravure Anisotrope par groupe d'utilisateurs



Le nombre de gravures humides a augmenté par rapport à 2013. 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.

9- PROSPECTIVE

9.1. Procédés :

- Optimisation de la résolution résine ultra épaisse
- Transfert du procédé Cu 3D sur wafer 6 pouces
- Poursuite des travaux pour le remplissage des vias
- Remise au point de l'or sur la machine Rena 6 pouces suite à un arrêt de deux ans

9.2. Equipements :

- Rena Or :
 - 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. Développé avec la société Rena
 - Remise en fonctionnement de la machine Rena vertical pour transférer procédé de cuivre épais.

10- CONCLUSION GENERALE

L'année 2014 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 est toujours aussi importante : 42.5 % de l'activité des dépôts.

Nous avons également été 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 2015.

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"> • Tube d'oxydation propre • Tube d'oxydation Bore • Tube de recuit après bonding 	1986	305000	-
Bâti de fours 4" de diffusion et de recuit Tempress <ul style="list-style-type: none"> • Tube de diffusion Phosphore (En rétrofit) • Tube de recuit Alu (En rétrofit) • Tube de recuit Ge (En rétrofit) 	1987	38100	-
Bâti de fours 4" LPCVD Tempress <ul style="list-style-type: none"> • Tube de dépôt LPCVD Recherche (En rétrofit) • Tube de dépôt LPCVD Si₃N₄ (En rétrofit) • Tube de dépôt LPCVD Si Poly dopé Bore 	1988	53400	-
Bâti de fours 4" de recuit AET <ul style="list-style-type: none"> • Tube de recuit métaux (Libre service) • Tube de recuit Polyimide (Libre service) • Tube de recuit AsGa (Libre service) 	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"> • Tube d'oxydation propre • Tube d'oxydation Bore • Tube d'oxydation Phosphore • Tube de diffusion Phosphore 	2006	520000	7980_W
Bâti de fours 6" avec le système d'abattement de gaz Centrotherm <ul style="list-style-type: none"> • Tube de recuit Alu • Tube de dépôt LPCVD Recherche • Tube de dépôt LPCVD Si₃N₄ • Tube de dépôt LPCVD Si Poly 	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 personnels impliqués dans cette zone de traitement thermique sont: Eric Imbernon, Lucile Mage, Jean Christophe Marrot et Bernard Rousset.

Voici détaillées les missions et l'évolution envisagée 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.

- Bernard Rousset IR

Bernard gère d'une part, la majeure partie des relations avec les équipementiers pour la gestion de la maintenance (Fours Centrotherm, ICPECVD, ALD) et d'autre part, les relations avec le service I2C. Ainsi, 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. Au niveau procédé, il assure du service pour les différentes équipes et travaille en binôme avec Lucile Mage sur les PECVD.

- 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 a aussi développé des procédés très spécifiques pour un important projet Renatech.

Il assure aussi une partie service et contrôle sur les nouveaux bâtis de recuits.

Ses activités, avec ces nouveaux équipements, lui permettent d'acquérir de nouvelles connaissances au niveau des caractéristiques des matériaux. Son implication se poursuit dans la zone, de ce fait, il interviendra sur les fours d'oxydation AET ainsi que sur le four Freescale en finalisation de rétrofit.

- Lucile Mage IR

Elle est à 50% depuis Septembre 2014. Elle assure du service ainsi que du développement sur les deux bâtis PECVD en coordination avec Bernard. Elle met en œuvre des empilements de couches de différents matériaux pour des applications spécifiques en optique en assurant aussi leur caractérisation.

Elle intervient dans un projet ALD Renatech avec Emmanuel Scheid. Elle participe aussi à la maintenance de ces équipements.

4. MAINTENANCES

Réalisées

- **Maintenance curative réalisée sur les fours Centrotherm .**
 - Automate "Cesar"
 - Débitmètre massique
- **Maintenance préventive réalisée sur l'ALD**
- **Maintenance préventive et curative sur l'ICPECVD**
- **Acquisition d'une machine PECVD STS du LETI pour disposer d'un stock de pièces de maintenance coté hardware, pièces qui ne sont plus vendues par STS.**
- **Retrofit (Projets COM2I)**
 - FOX Thermique et Commande terminé
 - Four SEMCO 6" (Freescale) à finaliser

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

A réaliser

- **Maintenance curative sur les four Centrotherm**
 - Changement de débitmètre massique (SiH₄, O₂)
 - Changement du liner sur le four SiPoly
 - Installation d'un onduleur
 - LPCVD tube de dépôt de SiON.
- **Maintenance préventive sur l'ALD**
- **Maintenance préventive sur l'ICPECVD**
- **Jouvence du PECVD STS à prévoir administrativement.**
- **Retrofit (Projets COM2I)**
 - Four Freescale à finaliser
 - Four Rêve
 - LPCVD Tempress Thermique (Demande spécifique de Fuccio pour obtenir des nanofilms de Si par LPCVD)

5. BUDGET

5.1.2014

- Consommables :
 - Débitmètres massiques (T-LPCV) x4 = 8874 €
 - Suscepteur fours RTP (T-RTP) = 4486 €
- Maintenance :
 - Maintenance preventive Scrubber (T-LPCV) = 1500€
 - Jaquettes chauffantes ALD (T-ALD) = 3231 €
 - Réparation automate "CESAR" (T-LPCV) = 250 €
 - Maintenance ICPECVD Oxford (T-PECV) = 16200 €
 - Intervention + pièces détachées ICPECVD (T-PECV) = 4270 €
 - Maintenance ALD par Annealsys (T-ALD) = 10562 €
 - Pièces détachées RTP (T-RTP) = 690
 - Capteur UV Centrotherm (T-LPCV) = 3112 €
 - Réparation porte quartz (T-OXYD) = 433 €
 - Capteur de pression différentiel (T-LPCV) = 860 €
- Support

- Retrofit fours (Reve + Tempress + Freescale) (T-OXYD) = 354 €

5.2. Prévisionnel 2015

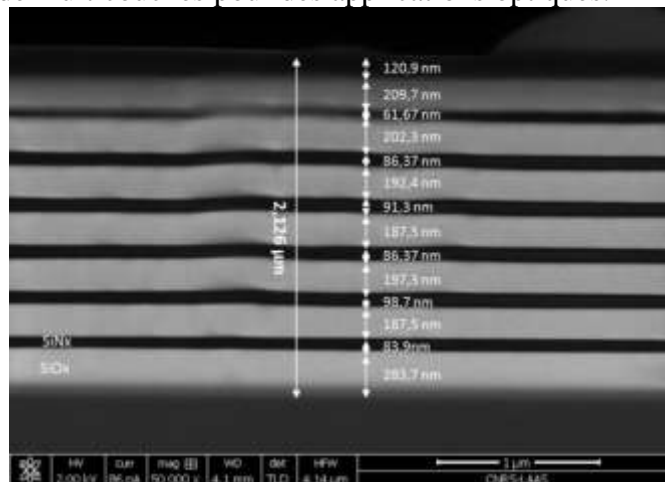
- Consommables :
 - Liner + accessoires tube LPCVD Centrotherm (T-LPCV) = 4500 €
- Maintenance :
 - Débitmètre massique (T-LPCV) = 2200€
 - Automate "CESAR" four LPCVD Centrotherm (T-LPCV) = 4000 €
 - Maintenance préventive ICPECVD Oxford + Centrotherm (T-PECV) = 12366€
 - Maintenance préventive Scrubber Centrotherm (T-LPCV) = 2000€
 - Maintenance ALD par Annealsys (T-ALD) = 23939 €
 - Réparation automate "CESAR" four LPCVD Centrotherm (T-LPCV) = 356 €
- Support
 - Retrofit fours (Reve + Tempress + Freescale) (T-OXYD) = 1000 €

Le budget de la zone reste stable, autour de 50 k€, par rapport à l'année dernière et il n'y a pas d'augmentation prévue pour 2015.

6. EVOLUTION DES PROCÉDES

PECVD Basse Température

Etude et réalisation de multicouches pour des applications optiques.



Empilement en alternance de 15 couches de SiNx et SiOx pour la réalisation d'un miroir de Bragg:

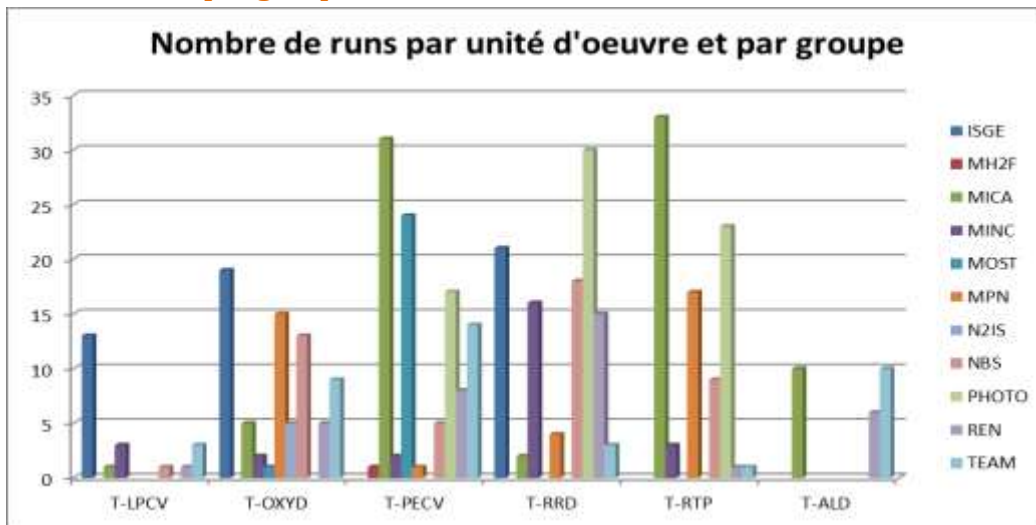
- Réflexion > 0,9
- Miroir décalé en longueur d'ondes: épaisseurs à recentrer
- Reproductibilité des épaisseurs de couches à améliorer

7. FORMATIONS

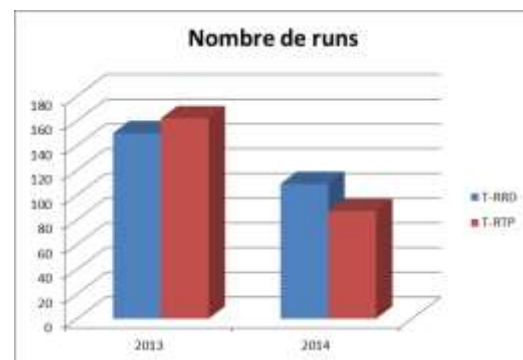
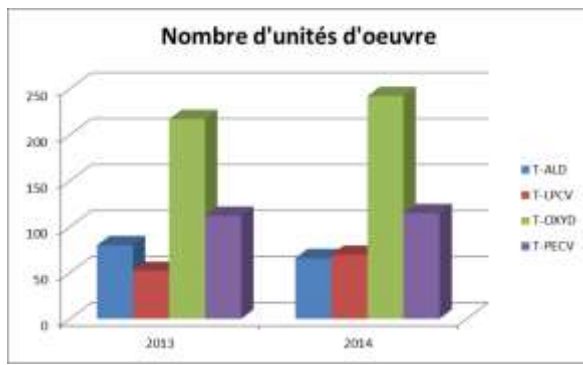
- Une stagiaire Master2
- Cours TEAM , Oxydation, CVD
- Formation des utilisateurs: 2 personnes formées sur l'ICPECVD pour un volume horaire de 3h chacune:

8. BILAN

8.1. Bilan par groupes utilisateurs :



8.2. Evolution au cours des dernières années



8.3. Analyse :

L'activité dans la zone est en baisse par rapport à l'an dernier en nombre de runs effectués mais est relativement stable en termes de nombre d'unités d'œuvres. A titre d'exemple, le nombre de runs sur les fours RTP et sur l'ICPECVD ont diminué alors que le nombre d'unités d'œuvre (minutes pour les fours RTP et épaisseur pour l'ICPECVD) a augmenté.

9. PROSPECTIVES

9.1. Equipements :

- Rétrofit Freescale à finaliser (projet COM2I)
- Rétrofit Rêve (Projet COM2I)
- Rétrofit Partie Thermique sur les LPCVD TEMPRESS (projet COM2I)

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

Eléments remarquables au niveau équipements :

- Le réacteur ICPECVD est resté en panne 3 mois. Problème de détection de la panne et d'approvisionnement des cartes de rechange.
- Le réacteur ALD a subi sa première maintenance préventive.
- Les automates des fours Centrotherm posent toujours des problèmes de maintenance. Un stock est actuellement constitué.
- Le retrofit du four Freescale a pris du retard et devra être continué cette année avec I2C mais sans Jean Louis Rastoul qui est parti à la retraite.
- Une partie 'Reprise en main du four Reve' est à entreprendre avant que Christian Ganibal ne parte à la retraite.

Eléments remarquables au niveau des procédés :

- Tous les procédés des fours AET 4'' ont été transférés avec succès sur les fours Centrotherm 6'', en particulier les oxydations minces humides qui sont des étapes essentielles pour la réalisation des transistors MOS à nanofils de Si. Ce transfert nous donne ainsi plus de flexibilité au niveau de l'affectation des procédés 4'', 6'', MOS ou pas.

Eléments remarquables au niveau personnels :

Lucile Mage est passée à 50%. Jean Louis Rastoul est parti à la retraite en septembre 2014 et Denis Lagrange est intervenu plusieurs fois sur la maintenance des bâtis.

Eléments remarquables au niveau général :

La maintenance de tous les équipements est conséquente et reste une activité importante du personnel de cette zone.

Au niveau 'retour sur investissement', les deux prototypes conçus par le LAAS, les fours REVE (Dépôt de polysilicium fortement dopé Bore) et l'ALOX (four d'oxydation de l'Aluminium) sont toujours d'actualité, à savoir que le REVE intervient dans le projet TOURS 2015 et que 2 copies de l'ALOX ont été installées, une en Chine et une autre dans une Université de Paris.

De plus, la société Annealsys, qui nous a vendu les fours RTP, a des demandes de clients pour des recuits tests en vue d'évaluer leur équipement pour un éventuel futur achat. Ne disposant pas de ces équipements en démonstration dans leur usine, ils nous demandent s'ils peuvent utiliser ceux du LAAS. En échange, ils nous payent sous forme de maintenance effective ou de pièces détachées à raison de 1900€/jour. En 2014, cela a représenté 2,5 jours d'utilisation, soit l'équivalent de 4750 €). En 2015, ils demandent l'utilisation de nos équipements entre 2 et 4 jours.

Par ailleurs, le choix et l'achat de l'équipement de RTP 'As-One' s'avère judicieux étant donné que cet équipement constitue, avec les développements de procédés correspondants, réalisés par Jean Christophe, une brique fondamentale pour un projet conséquent de RENATECH.

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

MICA, 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 IR1 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 primaire MP1

4.2. Réparations

- Réparation de la pompe primaire MP2.
- Réparation de l'alimentation accel/decel

5. BUDGET

5.1.2014

- Consommables
 - Alimentation accel/decel : 1470 €
 - Bouteille de SiF4: 973 €
 - Galden: 1850 €
- Maintenance
 - Pompe chimique + filtre (MP1) : 3700 €
 - Réparation pompe Alcatel (MP2) : 1150 €

5.2. Prévisionnel 2015

- Consommables
 - Galden HT 110 : 1395 €
 - Argon : 220 €
 - Insulators (20): 800 €
 - Bouteille de BF3: 350€
 - Jauges PBR (vide primaire et secondaire) x2: 1300€
- Maintenance
 - Pompe cryogénique: 3600 €
 - Absorbeur : 1000 €

5.3. Commentaire

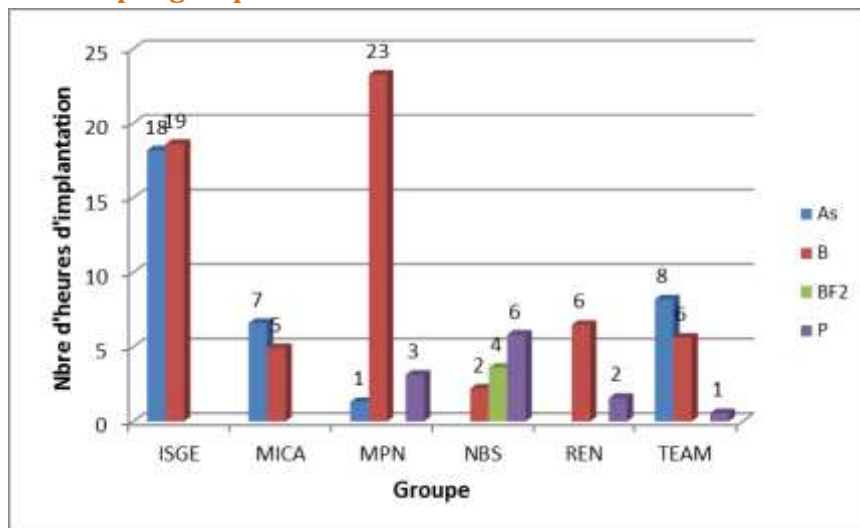
Le budget de la zone est équivalent à celui de l'an dernier. En effet, nous n'avons pas eu de maintenance lourde à effectuer sur l'équipement.

6. FORMATIONS

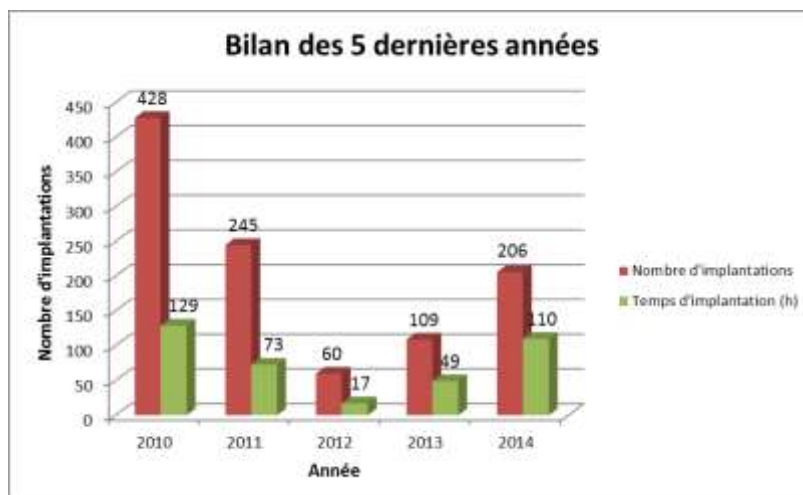
- Cours TEAM sur l'implantation

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 (+88 % par rapport à l'année dernière). En effet, les procédés MOS débutés en 2014 se sont poursuivis cette année et continueront en 2015 notamment avec le projet grand emprunt Tours 2015. 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 :

- Implantation de silicium à partir d'une source gazeuse de SiF₄ sur des plaquettes de 6 pouces.
- 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 GENERALE

Comme l'année dernière l'activité dans la zone a encore augmenté cette année. Cette augmentation devrait se poursuivre en 2015, notamment avec le projet Tours 2015 basé sur la réalisation de dispositifs MOS de puissance et le projet SEGTON qui nécessite des implantations de Silicium sur des plaquettes de 6 pouces.

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.

GRAVURE SECHE PAR PLASMA

1. EQUIPEMENTS

Equipement	Année d'achat	Valeur d'achat (€)	N° inventaire
TEPLA plasma O2 (libre service)	2002	91500	7045_CW
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
Systèmes DFA = OES + laser Horiba + laser intellemetrics	2006	100000	inexistant
RF Zscan	2008	9500	9260_W
AMS4200 (cluster – 2 chambres P1 et P4)	2009	870000	9459_C
Diener plasma oxygène	2010	65000	9760_W

2. UTILISATEURS

Les équipes qui ont effectuées des gravures plasma en 2014 sont :
PHOTONIQUE, MPN, MICA, ISGE, NBS, N2IS, MINC, MOST, MH2F, Renatech, TEAM.

3. REFERENTS TEAM ET ORGANISATION

Référents TEAM :

- Pascal Dubreuil (IR) : responsable de zone.
- Aurélie Lecestre (IR)

Organisation :

L'utilisation des **équipements de délaquage de résine** (plasma Oxygène : Diener et Tepla) est en **libre-service après formation**.

Les équipements de gravure plasma RIE-ICP et DRIE sont à accès restreint.

Les conditions pour pouvoir utiliser un équipement de façon autonome sont:

- Utilisation récurrente d'un procédé optimisé.
- Suivre la formation.
- Présenter de façon régulière les résultats de gravure aux référents de la zone gravure.

La gestion des équipements (maintenances, 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 (filiales 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 Excel est à remplir avant et en retour de résultat pour chaque gravure plasma, ce qui permet d'avoir un suivi des gravures (reproductibilité), de connaître le 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 doctorants concernés sur chaque équipement de la zone. Une fois les procédés mis en place et reproductibles, ils seront utilisés en fonction des demandes COMTEAM, certains peuvent devenir génériques pour les utilisateurs de la salle blanche.

4. MAINTENANCES ET INFRASTRUCTURE

4.1. Maintenances

La maintenance préventive consiste à effectuer :

- Un nettoyage de réacteur par un plasma d'O₂, 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 de la chambre de gravure P1 Alcatel tous les 2 mois en moyenne.
- Un changement de chambre de gravure une fois par an sur les machines Trikon (ICP2 et 3).
- Réglage du faisceau laser DFA sur ICP2 (1fois/an).

4.2. Réparations effectuées en 2014

Alcatel P1/P4 :

- Maintenance préventive (5 jours d'intervention).
- Changement standard de la pompe du sas.

Alcatel P1 :

- Changement du module « Loadlock » pour le sas de chargement.
- Changement du débitmètre pour la circulation d'eau de refroidissement.
- Changement du ruban chauffant pour les lignes de gaz process.
- Maintenance préventive.

Alcatel P4 :

- Changement des moteurs des capacités d'accord d'impédance du plasma.
- Reconditionnement de la pompe sèche support de la pompe Turbo.
- Maintenance préventive.

ICP3 :

- Débitmètres massiques (O₂, CHF₃)
- Vanne papillon de régulation de pression (démonter et remonter).

ICP2 : Remontée d'huile de la pompe du sas.

ICP1 :

- Machine arrêtée car : contrôleur de la pompe Turbo ne fonctionne pas.
- La pompe sèche a été prêtée pour la machine Tepla.

STS :

- machine arrêtée car non pilotable (panne de logiciel obsolète), intervention SAV sans solution.
- Désinstallation de l'équipement (emballée et stockée au sous-sol technique).

Diener : Module 24V changé.

TEPLA : Réparation de la pompe sèche (roulements).

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, P. Marcoul, D. Lagrange
- Informatique : Sysadmin, D. Colin
- Electricité : E. Tasselli

5.1. Budget dépensé en 2014

Consommables : 7 165€

Wafers : 3 380€

Bouteilles de gaz (O2, C4F8) : 1 430€

Pâte thermique pour collage : 30€

Liquide de refroidissement des chillers ICP2,3 (Galden) : 2 325€

Matériels : 2 989€

DFA ICP3 : 2 881€

Outils pour zone gravure : 107.30€

Maintenance générale : 51 819€

G-PLAS = Diener : 172€

G-TRIK = ICP3 : 6 836€ + ICP1 : 356€ + ICP2 : 350€ = 7542€

G-ALCA = Alcatel P1 : 25 237€ + Alcatel P4 : 18 868€ = 44105€

Pompes : 5 270€

Pompes à huile pour sas (ICP3, ICP2, ICP1) : 5 270€

Le chiffre de la maintenance générale s'explique en partie par la maintenance préventive de l'équipement Alcatel (~29 226€), et par les nombreuses pannes en pompage (~13 430€). Les pannes sur les systèmes de pompage s'expliquent par l'utilisation de gaz corrosifs, et le vieillissement du parc de pompage. 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.

5.2. Budget prévisionnel pour 2015

Consommables : 7 600€

- Gaz : 2 000€ (sans compter les gaz des nouveaux équipements)
- Collage : 100€
- Galden : 2 500€
- Wafers : 3 000€

Maintenance préventive/curative : G-TRIK=14 000 €

- ICP2 : Nettoyage chemisage = 500€
- ICP3 : Nettoyage chemisage = 500€ ;
- ICP1 : pré-visite pour diagnostique = 5 000€
Intervention pour mise en route = 8 000€

Support :

- Evaluation du coût de l'installation des 2 équipements de gravure Sentech : **31 680€**
ADF = arrivée des lignes de fluides, armoires de gaz = 26 680€
Honeywell = 2 capteurs de détection des gaz chlorés avec installation logiciel = 5 000€
- Evaluation du coût de l'installation du plasma oxygène TEGAL : **3 300€**
ADF = arrivée des lignes de fluides (O2, N2, CF4, SF6,)
- Panneau électrique pour 4 systèmes de pompage : **5 000€**
- Meubles : **1 600€**
1 meubles à 3 tiroirs = 600€ + 1 table = 1 000€

Pompage : 29 000€

- **Alcatel : Révision pompe sèche P1 = 4 000€ (en priorité)**
- Un enroulement moteur d'une pompe sèche iQDP80 = 1 000€
- Une réparation pompe à huile pour sas de chargement (ICP1,2,3) = 4 000€

- Une pompe ADP122H en spare pour P1,4 (connectique spéciale) = 12 000€
- Une pompe A100L en spare pour P1,4 (connectique spéciale) = 4 000€
- Une pompe pour TEGAL = 4 000€

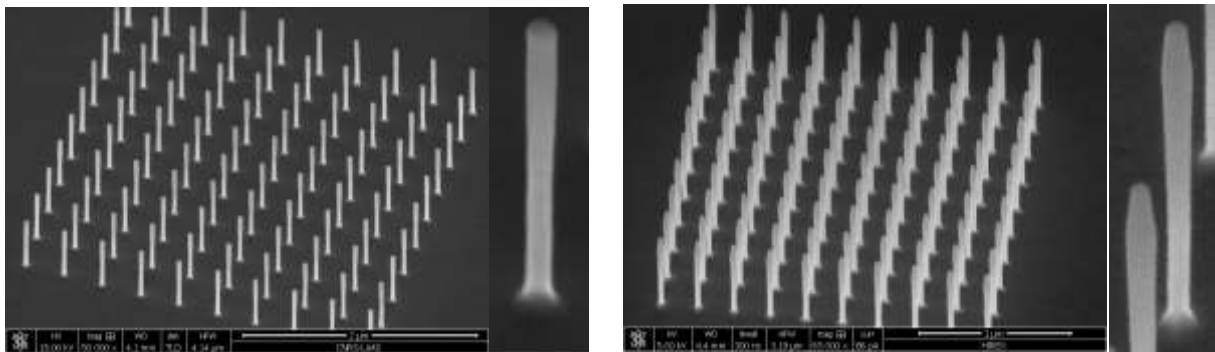
Actuellement, nous avons plusieurs pompes conditionnées pour être utilisées en cas de panne. Ces pompes supplémentaires nécessitent une mise en fonctionnement et une vérification régulière. Pour cela, il faudrait mettre en place un atelier réservé et conçu pour faire fonctionner ces pompes.

6. EVOLUTION DES PROCÉDES

Equipements	Echelles	Développements	Equipes
ICP3	25µm	Parylène-C (1µm et 25µm)	NBS (A. Lecomte)
	100nm	Al ₂ O ₃	MICA (H. Lale)
ICP2	800nm	Nanofils de GaAs sur Si	MPN (G. Larrieu, A. Lecestre)
Alcatel P1	300µm	Vias 15µm de large sur 300µm de profond + gravure poly-Si	ISGE (H. Tahir)
	100µm	Réduction ARDE avec SiO ₂	ISGE (S. Noblecourt, J. Tasselli)
	50µm	BCB	ISGE (S. Noblecourt, J. Tasselli)
	5µm	Piliers Si	MICA (B. Duran)
	300µm	Micro-aiguilles en Si	N2IS (S. Méance)

GRAVURES NANO :

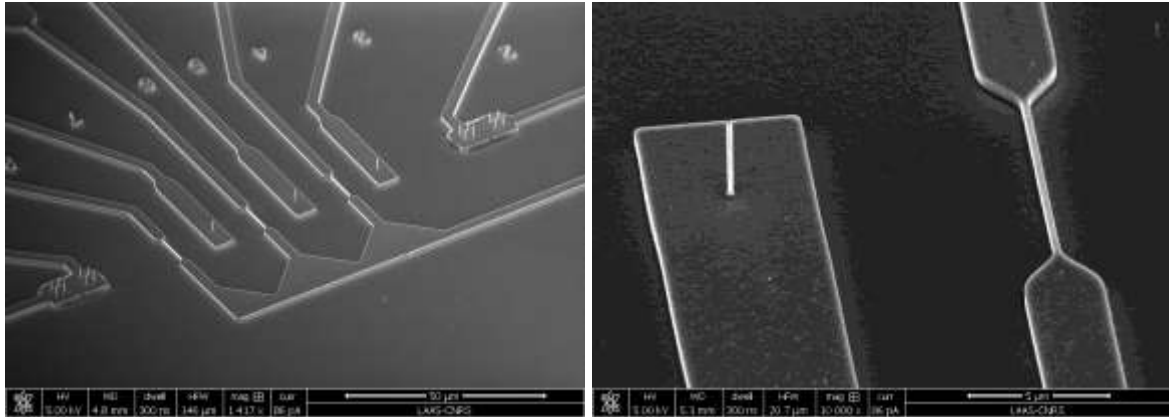
Dans le cadre d'une application microélectronique (équipe : MPN) des nanofils de GaAs sur Si(100) ont été synthétisés par lithographie électronique et gravure plasma (ICP2) à partir de substrats fabriqués au CEA par MOCVD (réseau Renatech). Nous avons optimisé deux recettes de gravure à base de Cl₂/N₂, une en mode ICP et une en mode RIE.



Nanofils de GaAs sur substrat de Si gravé en mode ICP et CCP.

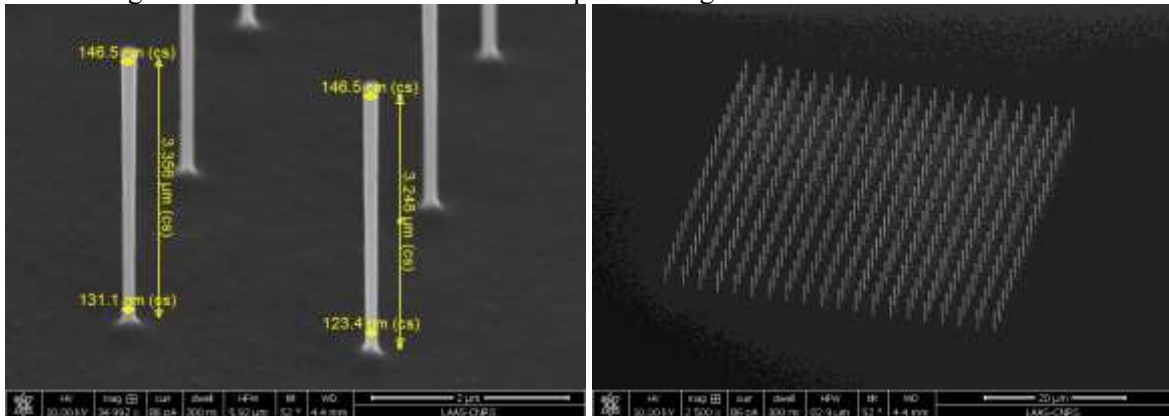
GRAVURES MICRO :

Dans le cadre du projet sur la localisation et stimulation de neurones (MPN : A. Casanova) des piliers Si horizontaux et verticaux ont été définis en utilisant un procédé de gravure continu générique.

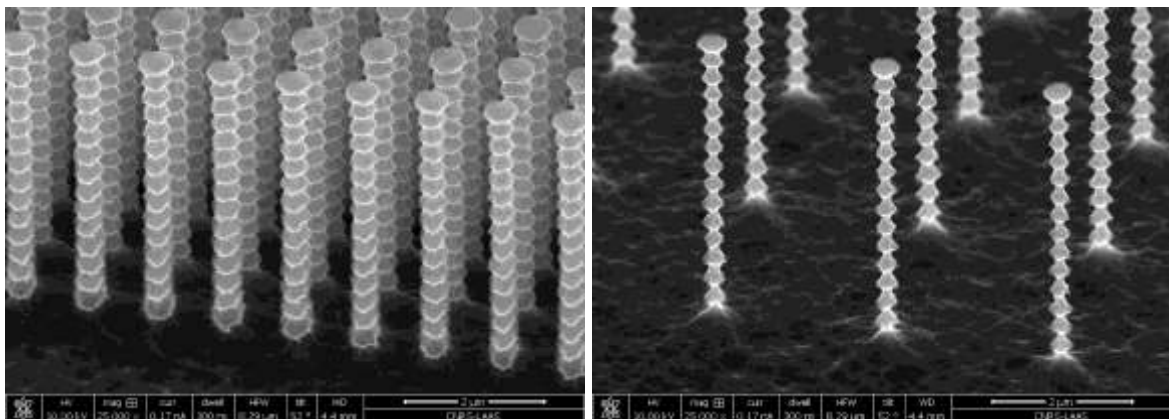


Piliers Si verticaux et horizontaux avec les chemins d'accès définis par 2 litho Stepper et 2 gravures plasma (MPN : A. Casanova)

D'autre part, pour la fabrication de capteurs de gaz, des piliers verticaux ont été définis en utilisant un procédé continu générique et un procédé Bosch générique. Le procédé de gravure Bosch permet d'augmenter la surface de contact entre le pilier et le gaz.



Fabrication de piliers Si par gravure continue (MICA : B. Duran)



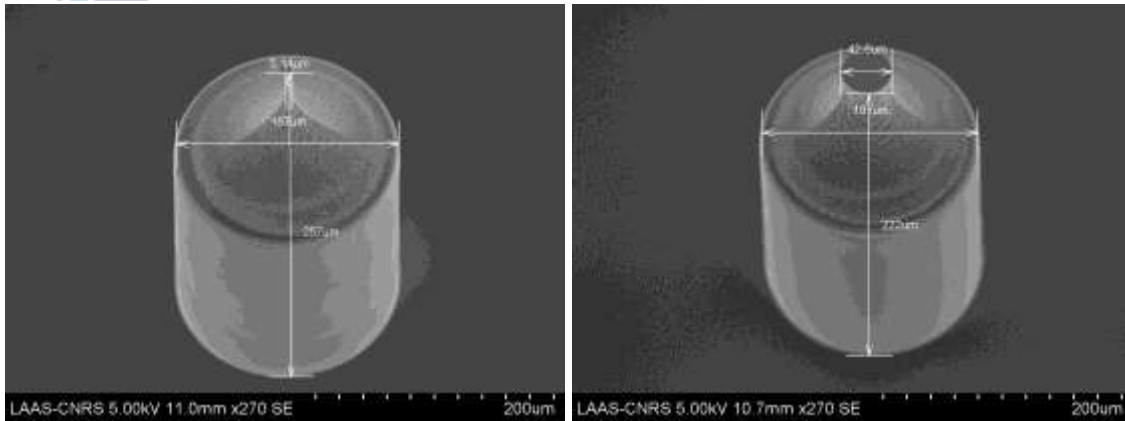
Fabrication de réseaux piliers Si par gravure Bosch (MICA : B. Duran)

Des micro-aiguilles ont été fabriquées pour des études sur des prélèvements de peaux (N2IS : S. Méance).

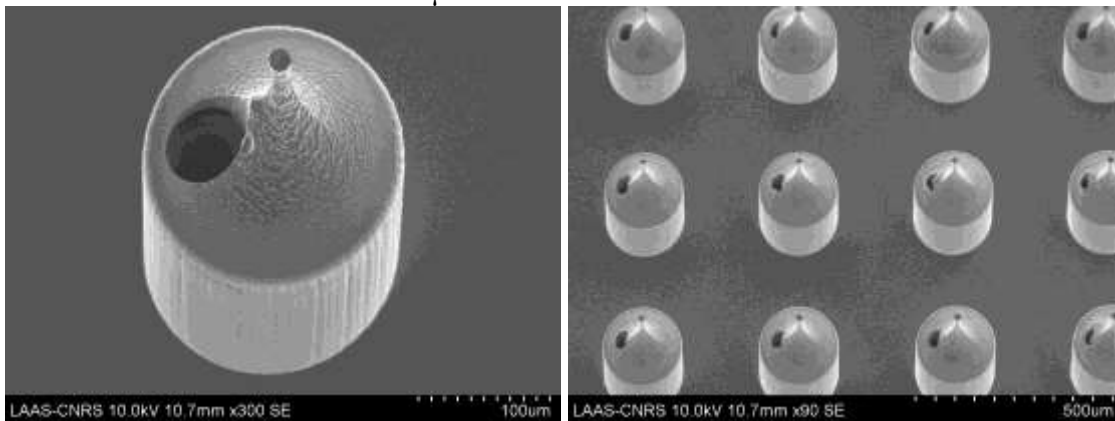
Nous avons effectué la gravure en 2 parties :

- gravure isotrope afin d'obtenir une extrémité pointue de l'aiguille en haut du pilier.
- gravure anisotrope pour obtenir des piliers de la structure de 300µm de haut.

D'autre part, les aiguilles ont été percées par la face arrière, en utilisant une gravure profonde générique.

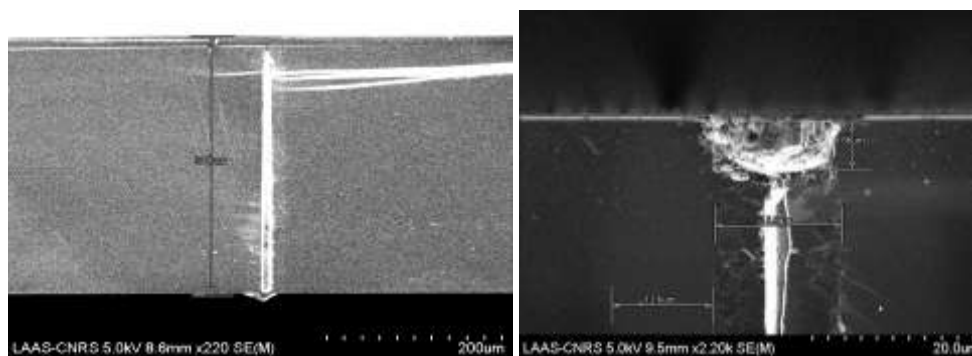


Piliers de 200µm de diamètres avec l'extrémité effilée.



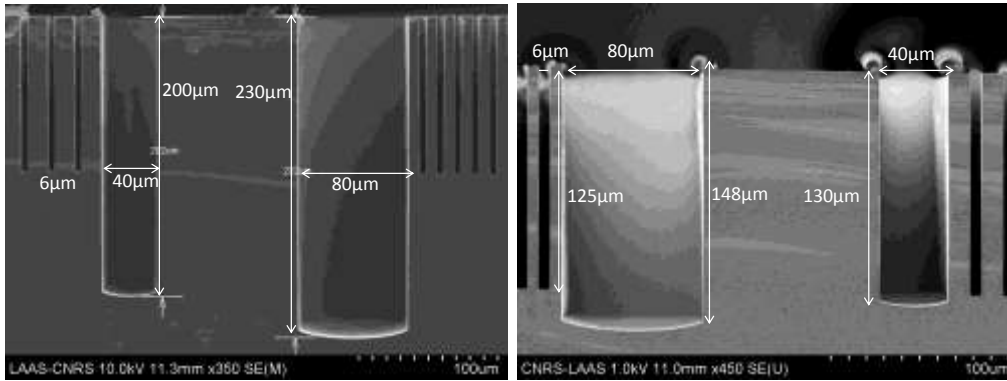
Aiguilles de 200µm de diamètres percées avec un trou de 50µm de diamètre
(N2IS : S. Méance)

Dans le cadre du projet AC switch, des vias de 15µm de large sur 300µm de profondeur, ont été réalisés dans l'Alcatel P1. Ces vias, sont ensuite remplis de poly-Si dopé Bore. La seconde étape de gravure consiste à retirer le poly-Si sur la face avant.



Vias avant et après la gravure du poly-Si sur la face avant.

L'effet intrinsèque ARDE de la gravure Silicium a été réduit en utilisant une couche mince de SiO₂ thermique unique pour les plus larges ouvertures, pour la réalisation de diodes DT-ST (Deep Trench – Super Junction). Nous avons mis au point un procédé qui grave en même temps le silicium et l'oxyde pour obtenir des profondeurs identiques dans des ouvertures très différentes.

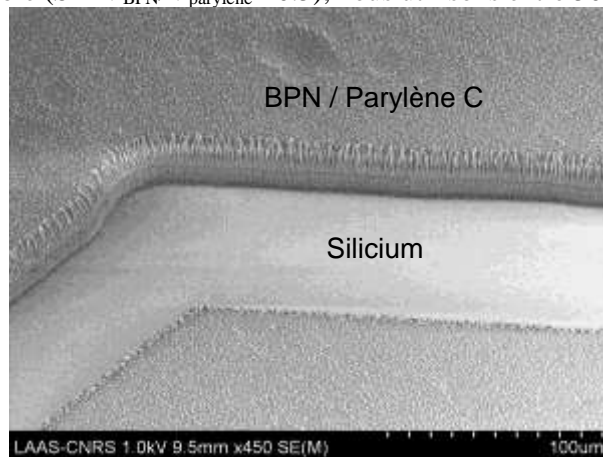


Tranchées de différentes largeurs sans et avec le masque partiel en SiO₂.

GRAVURES DE « NOUVEAUX MATERIAUX » :

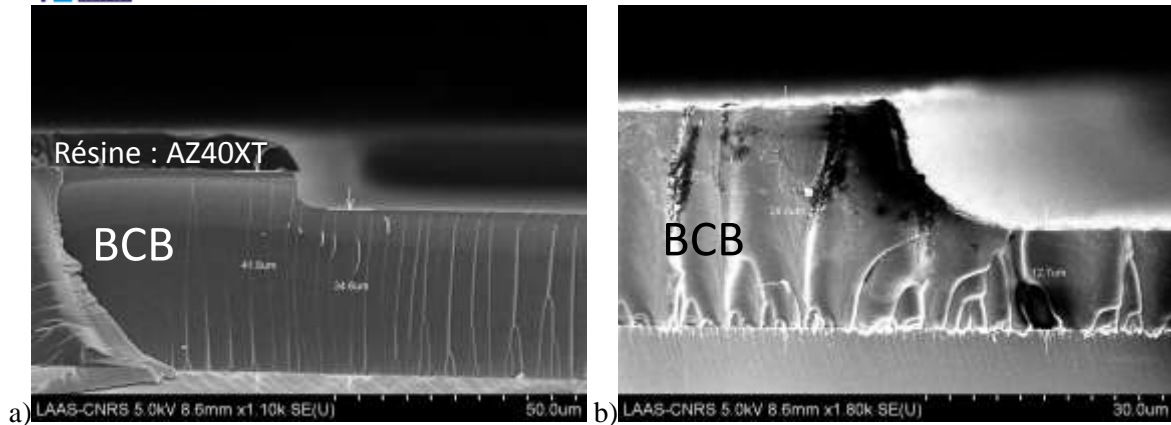
La gravure de parylène C épais (25µm) a été étudiée en utilisant différents masques (résines, métal). Il faut noter que le dépôt de parylène n'adhère sur son substrat hôte qu'en périphérie, ce qui induit la difficulté de l'homogénéité et de la reproductibilité en gravure (pb de thermalisation).

L'utilisation d'un masque métallique (Ni) engendre la formation de résidus dans les ouvertures. Nous avons donc utilisé des résines épaisses. La résine standard (AZ40XT) ne résiste pas suite au mauvais transfert thermique pendant la gravure. Nous avons donc utilisé la résine négative : la BPN (optimisée par D. Bourrier). Ainsi, nous n'avons plus de problème de résidus dans les ouvertures et cette résine supporte bien le budget thermique de la gravure plasma. Cependant, la sélectivité étant assez faible ($S = V_{BPN}/V_{\text{parylène}} = 0.5$), nous utilisons entre 50 et 80µm de résine.



Ouverture dans 25µm de parylène-C après gravure (NBS : A. Lecomte)

Dans le cadre du projet MOS haute tension (ISGE : S. Noblecourt, J. Tasselli), des gravures de BCB ont été étudiées en chimie O₂/SF₆. Des gravures ont tout d'abord été effectuées en RIE-ICP dans l'équipement ICP3. Les vitesses de gravures étant trop faibles pour graver 20 à 50µm de BCB, on utilise actuellement l'équipement DRIE Alcatel P1 avec des puissances plus élevées. Ainsi, la vitesse de gravure est augmentée, ~30µm de BCB gravés en 40min de plasma. Cependant, nous devons effectuer ce genre d'opération par campagne et nettoyer la chambre de gravure après ouverture, pour éviter les contaminations croisées (résidus, dépôts) avec la gravure silicium.



Résultats de gravure du BCB avec un masque en résine AZ40XT

Un système de DFA par réflectométrie laser récupéré sur la STS, est en cours de d'installation sur ICP3 (G. Almuneau). Il sera utilisable pour la détection de fin d'attaque de couches minces (SiOx, SiNx ...) déposés sur Si.

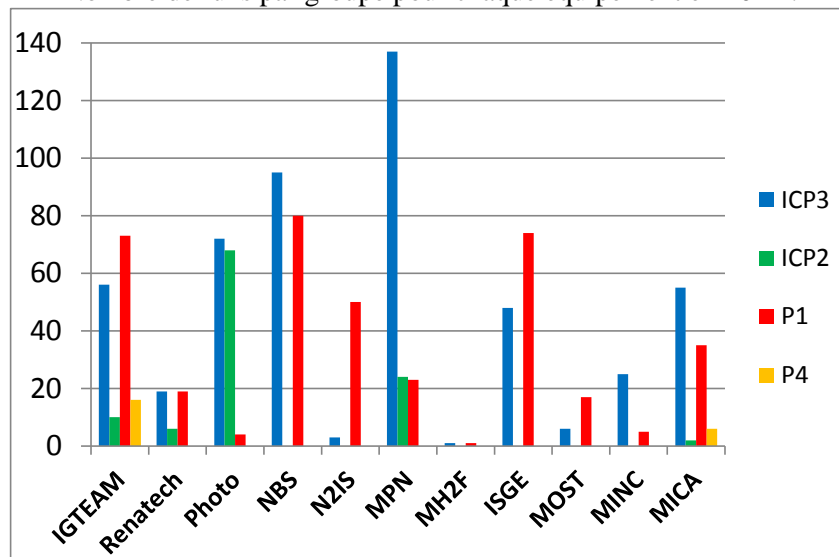
7. FORMATION

- Formation sur l'utilisation TEPLA/DIENER = pour chaque nouvel entrant en salle blanche (inscrit dans la formation avec la chimie/lithographie UV/caractérisation) :
20 formations de 30min = 10h
- Formation sur l'utilisation des machines RIE-ICP et des procédés :
10 formations de 4h = 40h
- Cours technique sur la gravure par plasma :
1fois/an = 4h

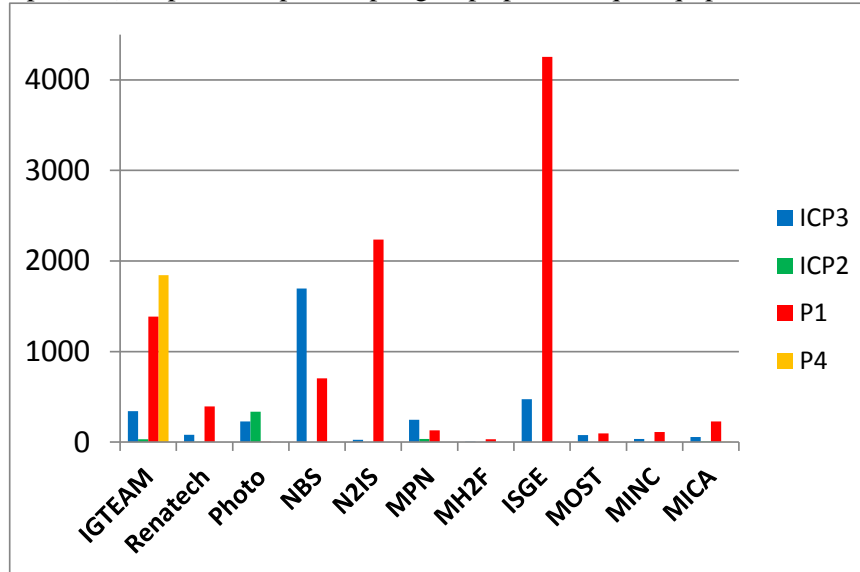
8. BILAN

8.1. Bilan par groupe utilisateur

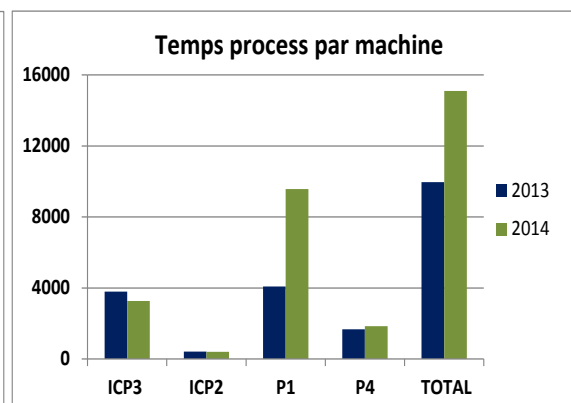
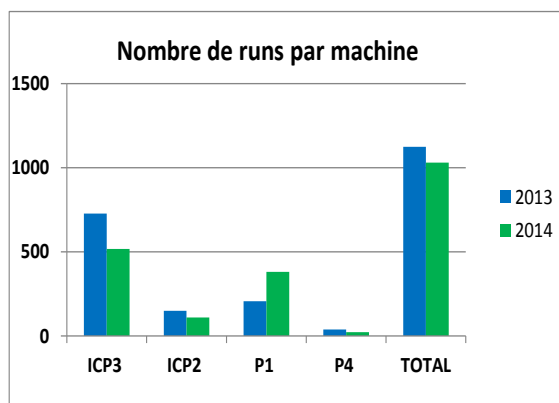
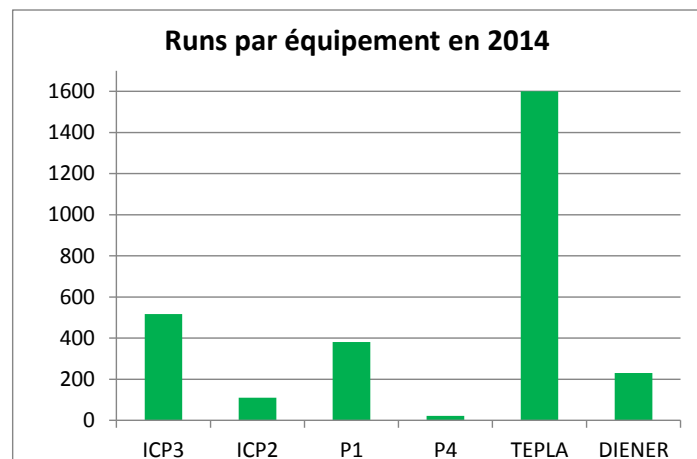
Nombre de runs par groupe pour chaque équipement en 2014 :



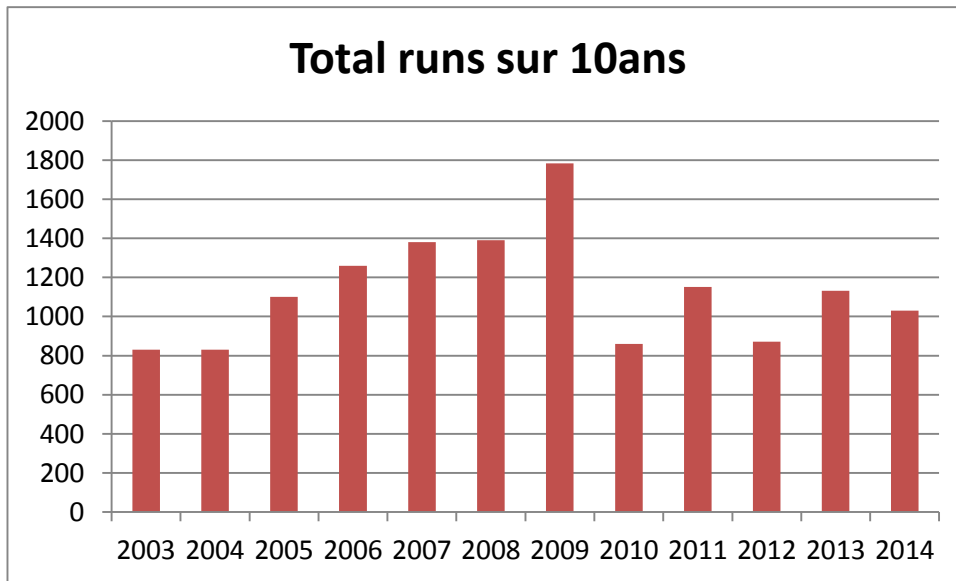
Temps (min) de procédés plasma par groupe pour chaque équipement en 2014 :



Bilan par équipement



8.2. Evolution au cours des dernières années



8.3. Analyse :

L'activité gravure plasma en 2014 a totalisé 1030 runs ICP-RIE (hors Tepla et Diener). Le nombre de procédés de gravure effectués en 2014 a diminué d'environ 10% par rapport à 2013. En temps horaire d'utilisation des procédés, l'activité de gravure plasma a totalisé 250h ICP-RIE (sans comptabiliser les plasmas de nettoyage). Elle a augmenté d'environ 50% par rapport à 2013 (166h).

Dans la zone plasma, c'est l'équipement TEPLA (dédié au nettoyage de wafer avant lithographie UV et après gravure plasma) qui est le plus utilisé avec 1600 runs en 2014. Maintenant, nous formons systématiquement les nouveaux entrants sur l'équipement DIENER (dédié au nettoyage de wafer MOS compatible) afin de réduire le nombre d'utilisation de l'équipement TEPLA. Il est prévu de renforcer le TEPLA courant 2015, avec un deuxième équipement de délaquage, récupéré à Freescale.

Concernant les équipements RIE-ICP, c'est l'équipement ICP3 le plus sollicité avec 50% des runs 2014 en RIE-ICP. Cet équipement permet la gravure de tout type de matériau (SiOx, SiNx, Si, métaux, graphène, parylène, polyimide...) pour la plupart des projets Comteam et Renatech contenant de la gravure plasma. De plus, une ligne de C4F8 a été rajoutée pour mettre au point des procédés de gravure nano du Silicium, afin de rendre plus facilement accessible ICP3 à d'autres utilisateurs et suppléer P1 en cas de surcharge ou panne.

Il faut noter que toutes les groupes de recherche ont utilisé les équipements ICP3 et P1. Si on se focalise sur le temps de procédé plasma, c'est l'équipement P1 qui a été le plus sollicité (avec plus de 9570min). On remarque, de plus, une forte augmentation du temps d'utilisation de l'équipement P1 entre 2013 et 2014. Ceci s'explique en partie par des problèmes de maintenances récurrents en 2013, et par le développement de gravure submicronique du Si.

L'équipement ICP2, restreint à la gravure de matériaux III-V, a été utilisé par 2 équipes de recherche (Photonique et MPN).

Dans le réacteur P4 un procédé générique pour la gravure du verre est en cours de mise au point. Seul l'équipe de recherche MICA a utilisé cet équipement en 2014, ceci s'explique en partie par les pannes récurrentes de l'équipement (moteurs capas + pompe sèche). Cet équipement peut graver également des couches minces de SiNx et SiOx, et du parylène, en cas de panne de l'ICP3.

La machine STS vieillissante ne peut plus fonctionner, elle a été désinstallée et stockée au rez-de-chaussée.

La machine ICP1 n'a pas fonctionné cette année car elle était en cours de reconfiguration en 6 pouces et plusieurs pièces ont dû être rachetées et changées après intervention du SAV. De plus d'autres pannes sont intervenues lors d'un démarrage. Il serait souhaitable de redémarrer cette machine pour 2015.

La part de Renatech représente 4% du volume de plaques traitées en 2014.

La part TEAM qui est de 15% correspond à des mises au point de procédés génériques.

L'appel d'offre pour l'achat de 2 machines (RIE-CCP + RIE-ICP) a été effectué pendant le dernier trimestre 2014. Deux équipementiers ont répondu à l'appel d'offre, et seul Sentech a répondu à nos spécificités techniques. Ces machines seront installées et démarrées au cours du 2eme semestre 2015. Elles répondront aux attentes de gravures nano pour les matériaux III-V, Si en chimies chlorées (nouveaux gaz BCl₃, SiCl₄), pour les nouveaux matériaux (HfO₂, ...) en chimie fluorée. L'autre attente est de « désengorger » l'utilisation intensive de ICP3. De plus, il est convenu que la machine RIE sera en libre-service après formation, et la machine ICP sera en accès restreint après formation.

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.

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 pendant ces périodes.

9. PROSPECTIVE

9.1. Equipements / petits matériels :

- **ICP2 et 3 : OES (Spectrométrie d'émission optique) = 25 000€**
- **Alcatel : 42 000€**
- 4 kits de vannes tiroirs : 4 000€
- 1 chuck électrostatique 4'' : 30 000€
- 1 tube source AlN : plus de fournisseur ...
- 1 alimentation ESC : 2 000€
- Caméras + PCs pour Alcatel P1 et P4 : 6 000€
- **Traitement des gaz : 80 000€**
- Il serait nécessaire de mettre en place un système de retraitement des gaz fluorés et chlorés. D'autant plus, nous allons rajouter deux machines de gravure en chimies chlorée et en fluorée.
- **ICP1 : 11 300€**
- 1 système de refroidissement plus adapté (LaudaT2200) = 9 000 €
- Atténuateur de tension = 2 300€
- Contrôleur de pression (décision après visite audit)
- Porte sas : joint (décision après visite audit)

9.2. Procédés :

Parmi les nombreux procédés à développer, seront abordés en 2015 :

- Gravure nano du Si (SF₆/C₄F₈) dans ICP3 (en cas de panne de P1).
- Procédé de gravure profonde dans P4 de la silice fondue.
- Gravure de nanofils GaAs/Si.
- Gravure du parylène C épais (20µm) dans P4.

10. CONCLUSION GENERALE

L'ouverture vers la gravure plasma de nouveaux matériaux et la formation d'utilisateurs augmente significativement l'activité gravure.

On observe qu'ICP3 est la plus sollicitée car elle est la plus versatile, mais plusieurs pannes sur des organes essentiels montrent son usure progressive.

L'équipementier Sentech a été sélectionné lors de la réponse de l'appel d'offre pour 2 machines de gravure plasma : RIE et RIE-ICP. L'installation de ces 2 équipements devrait se faire pendant le 2^o semestre 2015. Cela engendrera de nouveaux procédés de gravure et des utilisateurs sur des nouveaux matériaux. Cela permettra aussi de soulager ICP3.

Enfin la répartition des matériaux par filières NOMOS et MOS compatible sera renforcée.

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	-
Delvotek	2005	27000	7594
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
Shiple360 (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	Voir Photo
Encolleuse ESSLOR		prêt	
Scribber AsGa	2013		

2. UTILISATEURS

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

3. REFERENTS TEAM ET ORGANISATION

- Samuel Charlot (IE) Co-Responsable
- Monique Dilhan (IR) Responsable
- David Colin (AI)
- Séverine Viviers (CDD AI)

Organisation 2015 :

- Changement de responsable de zone : Charlot Samuel

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 ensuite archivées avec les principaux paramètres de réalisation sur un tableau de sauvegarde.

Certains équipements sont en libre-service pour un nombre de personnes limitées. 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 Viviers est à 90% sur des projets et 10% sur des activités d'intérêt général.

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

- David Colin : Assemblage-Montage
- Samuel Charlot : Assemblage-Intégration
- Séverine Viviers : Wafer bonder-Polissage
- Monique Dilhan : Wafer Bonder-Polissage-Administrateur

4. MAINTENANCES

4.1. Maintenances

- *Sérigraphie* : Une maintenance préventive de la machine a été effectuée. Cela faisait 4 ans qu'une maintenance générale de la machine n'avait pas été faite. La maintenance n'a révélé aucune dérive de l'appareil durant son utilisation.

4.2. Réparations :

- Le transformateur de la machine de découpe a été changé suite au déménagement de l'équipement de la salle blanche vers la nouvelle salle de montage.

4.3. Infrastructure :

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. C'est pourquoi une salle anciennement dédiée à la robotique nous a été cédée et réhabilitée pour accueillir les activités classiques de montage de composants pouvant être polluantes en salle blanche.

Le déménagement des plans de travail, des équipements, des hottes chimie et la finalisation de toutes les connexions (électrique, fluide, extraction ...) ont été réalisés sans soucis majeur en début d'année 2014.



Réhabilitation de la salle robotique



Aménagement de la nouvelle zone de montage

Les moyens concernés par le déménagement ont été :

- La découpe par scie diamantée
- La soudure filaire
- Le report de composants manuel par collage ou eutectique
- Les scriber (Si et AsGa)
- Le polissage
- L'amincissement

La place libérée en salle blanche a permis d'installer :

- Les lamineurs sous lumière filtrante
- Le frigo et congélateurs pour le stockage de produits chimiques
- Une zone pour les activités Essilor

Il est prévu d'aménager par la suite :

- Une paillasse KOH ainsi qu'une paillasse pour les développeurs alcalins
- Une paillasse dédiée aux nettoyages des wafers avant soudure.
- Une paillasse dédiée aux nettoyages de pièces encombrantes
- Un bac ultrasons de grande contenance

5. BUDGET

5.1. 2014

- Consommables : 8700€
- Maintenance : 4000€

5.2. Prévisionnel 2015

- Consommables : 18000€
- Maintenance : 15000€

Le renouvellement des stocks de consommables se fait à l'année ou tous les 2 ans suivant les produits à commander (cela dépend du montant ou de la quantité minimum de commande donnée par le fournisseur). Ceci explique les différences de cout par année.

En ce qui concerne les maintenances, elles sont programmées suivant l'état général des équipements (préventif) ou de la nécessité à les réparer (curatif). Suivant l'équipement, le cout de la maintenance varie. Cette année, nous devons effectuer une maintenance curative de l'aligneur du wafer bonder.

6. EVOLUTION DES PROCÉDES

- **Rédaction d'un rapport sur la découpe partielle de substrat**

Découpe partielle en profondeur d'un substrat sans altération ou mise en contact de la face opposée.

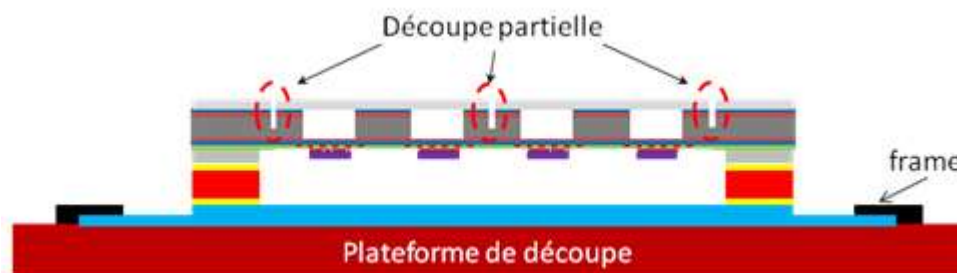
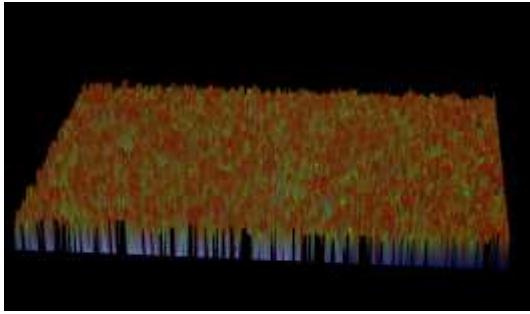


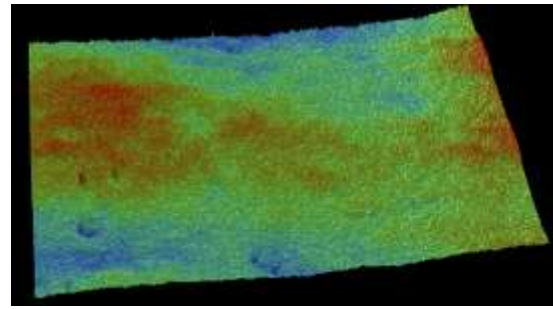
Schéma de principe de la découpe partielle

- **Rédaction d'un rapport sur l'amincissement et le polissage du silicium**

Amincissement du silicium de 525µm à 100µm d'épaisseur sans contrainte puis polissage optique de celui-ci.



Etat de surface après amincissement
Ra : 3000A



Etat de surface après polissage
Ra : 10A

- Rédaction en cours d'un rapport sur la thermocompression Au/Au par wafer bonding

7. FORMATIONS

Les formations sont de deux types : théoriques (cours TEAM + Licence Pro) et pratiques sur les équipements et procédés :

Formations dispensées

- Cours sur les technologies d'assemblage dispensés par M Dilhan/S Charlot (2h/ 2fois)
- Utilisation de la micro soudeuse 4526 (3 personnes, 4H/personne)
- Utilisation des machines de report de puces (1 personne, 4H/personne)
- Utilisation de la FC150 (2 personnes, 1 journée/personne)
- Utilisation du wafer bonder AML (3 personnes, 2H/personne)

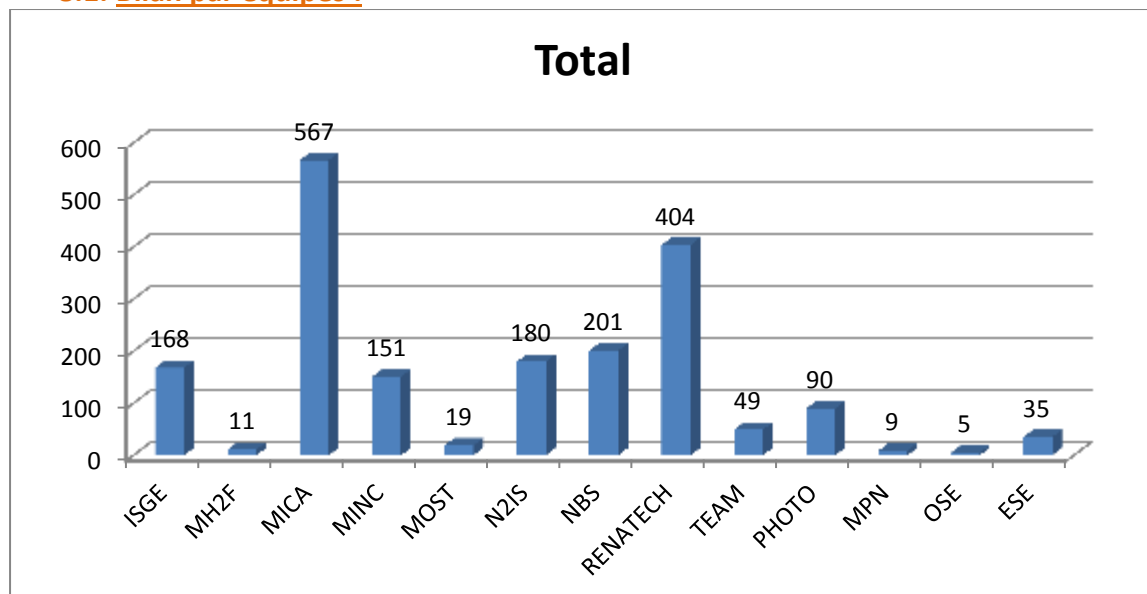
Cela représente un total de 9 personnes et 36 heures.

Formations reçues :

- Habilitation électrique (2 personnes/ 2 jours)
- Habilitation laser (1 personne/1 jour)

8. BILAN

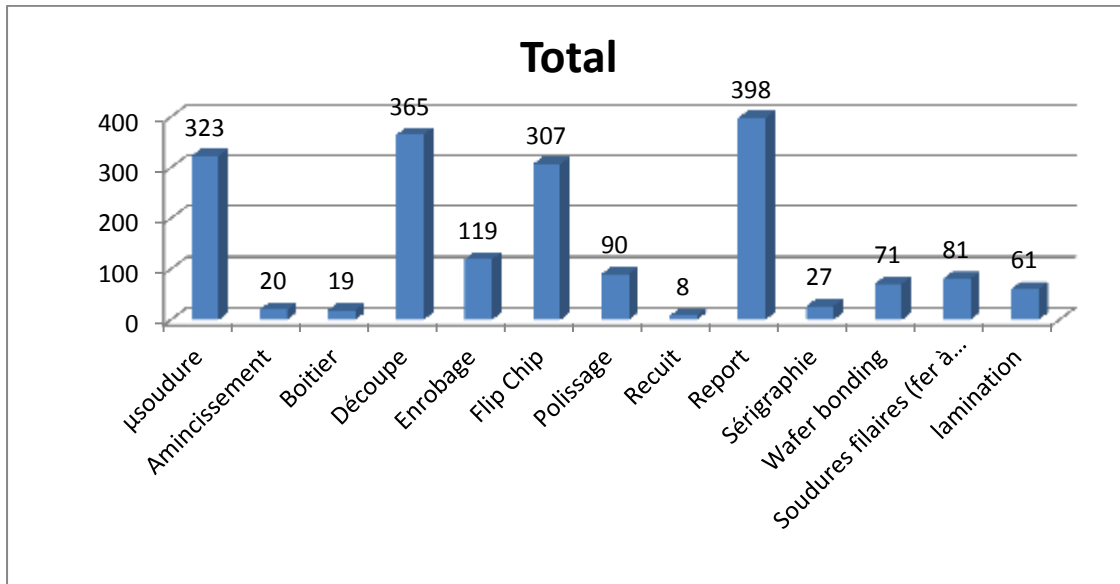
8.1. Bilan par équipes :



L'équipe Mica se démarque des autres équipes dans le volume des opérations d'assemblage. Ceci est dû aux montages de petites séries de composants comme les capteurs de gaz ou les capteurs PH. Cependant on peut noter que les opérations d'assemblage des différentes équipes ainsi que

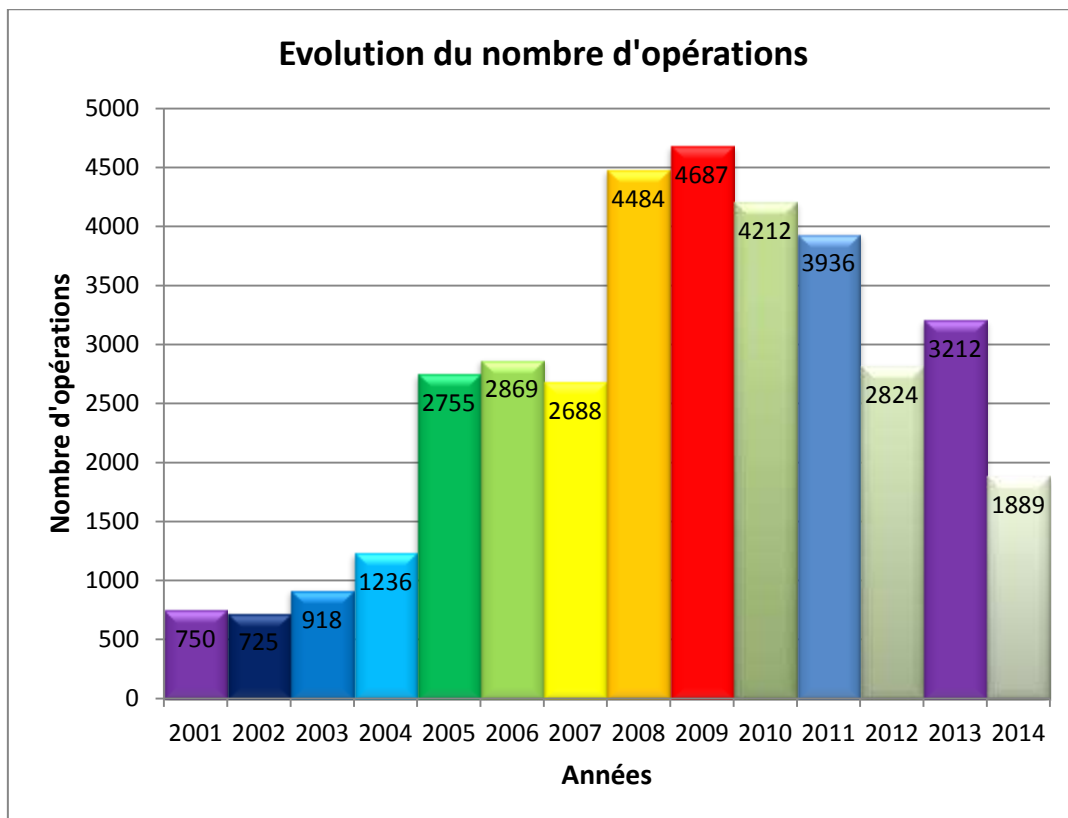
Renatech ont baissé entre 40 et 60% par rapport à 2013. Seules les équipes NBS et MINC ont maintenu leurs activités.

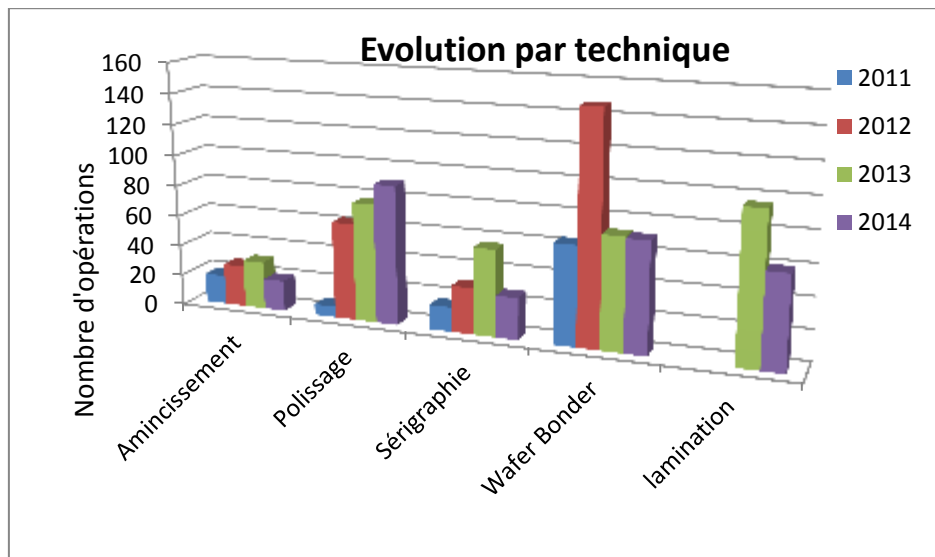
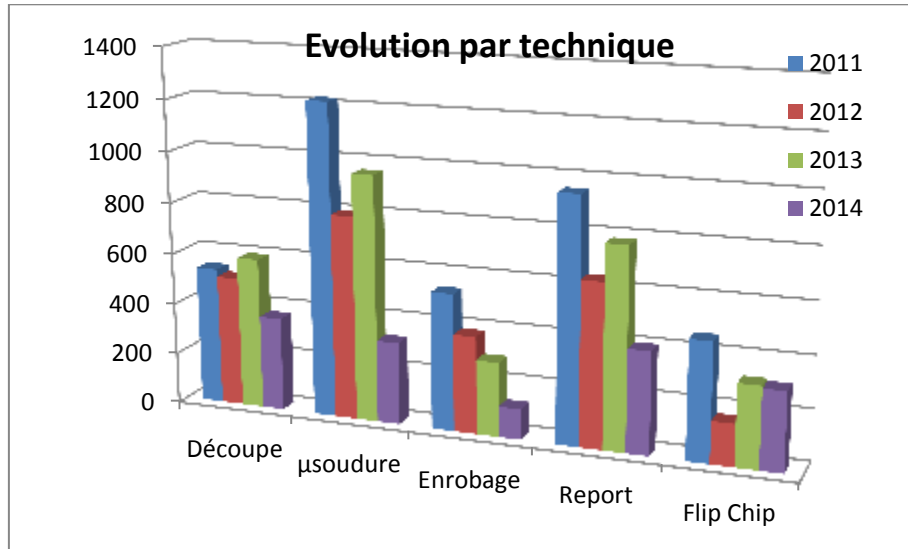
8.2. Bilan par procédés



La baisse généralisée des opérations d'assemblage des équipes se traduit par la baisse des activités classiques de découpe, report, μsoudures et enrobage de 50% par rapport à 2013. Néanmoins, ces opérations restent dominantes dans l'activité générale de l'assemblage.

8.3. Evolution au cours des dernières années





8.4. Analyse :

Le nombre total d'opérations est de 1889 soit une baisse de 40% par rapport à l'an passé. Le volume de l'activité RENATECH est passé de 700 opérations en 2013 à 400 cette année soit une baisse similaire de 42%. Le volume de l'activité interne reste identique pour certains groupes mais chute de 60% pour d'autres. L'activité d'assemblage diminue linéairement depuis maintenant 5 ans de suite (exception 2013 due à Renatech Essilor).

Toutes les opérations d'assemblage classique sont en baisse (μsoudure (-66%), découpe (-38%), enrobage (-59%), report (-49%). Seules les opérations spécifiques comme le wafer bonding et le flip chip se maintiennent. Le polissage augmente avec les développements de certains matériaux comme le cuivre ou le verre. A noter par ailleurs que cette activité est essentiellement développée par Séverine Vivies qui est en CDD jusqu'à la fin de l'année.

9. PROSPECTIVE

9.1. Equipements :

- Flip chip : La nécessité d'investir dans la technique de flip chip est évidente : utilisation constante 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.

- Remise en service de la polisseuse CDP
- Equipement de Pull&Shear pour valider les soudures (filare, anodique, eutectique...)

9.2. Procédés :

- Mise au point de procédé de polissage pour d'autres matériaux que le silicium comme le cuivre, le verre, le polyimide...
- 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
- Rédaction d'un protocole de soudure filare

10. CONCLUSION GENERALE

L'activité de la zone Assemblage suit une baisse linéaire amorcée depuis 4 ans (sauf en 2013 qui était essentiellement liée à l'activité RENATECH et en particulier au projet ESSILOR).

On remarque en effet une forte baisse de la demande en interne dans toutes les opérations classiques de montages de composants. En ce qui concerne les techniques complémentaires d'assemblage, les demandes ont été constantes cette année. L'augmentation d'activité relevée l'année précédente était peut être due à une anticipation liée au déménagement des équipements de la zone d'assemblage qui a eu lieu en début d'année 2014.

Les développements prévus cette année concernent le développement de technologies comme l'amincissement et le polissage d'autres matériaux que le silicium, la reprise de contact des substrats souple, le poli sciage pour l'observation des puces sur la tranche. A noter que l'activité de polissage est essentiellement développée par Séverine Vivies qui est en CDD jusqu'à la fin de l'année.

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.

Prospectives « Substrats souples »

Un séminaire technique sur la réalisation de substrat flexible a été organisé au LAAS en décembre 2014.

Un bilan des matériaux utilisés ainsi que des différentes technologies disponibles au Laboratoire a été recensé. Deux présentations sur la réalisation de dispositifs souples ont aussi été présentées. Toutes les présentations sont disponibles sur l'intranet du service :

<https://www.laas.fr/intranet/49-32342-Rapports-Protocoles-et-Seminaires-techniques.php>

Une réunion sur les futures perspectives liées à cette thématique sera bientôt proposée.

CARACTERISATION

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		-
Digidrop	2004		7036_EL
MEB Hitachi S4800 + EDX	2005	450000	8046_W
Ellipsomètre multi λ	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 et digidrop
- 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 et Réparations

- Tencor : maintenance préventive par Scientec
- Ellipsometre : changement de la lampe et réglage complet de l'ellipsomètre par Horiba Jobin-Yvon
- AFM : maintenance préventive de l'ICON et du Dimension par Bruker, changement système de pompe sur le dimension

- MEB S-4800: changement du ressort de maintien des cavaliers
- Hélios : Changement de la source LMIS, d'une jauge de vide et d'un octopôle (nécessitant le démontage complet de la colonne)
- Changement disques durs Tencor P15, digidrop et S-4800
- Réparation pompe automatique du digidrop

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. Infrastructure

- Mise en place du TXRF (eau, électricité, vide et relance machine)

5. BUDGET

5.1. 2014

- Tencor : maintenance préventive 2780 €
- TXRF : Etalon 4200€
- Ellipsomètre : 954 € lampe + 2461€ intervention
- MEB : changement ressort S-4800 : 862€
- AFM :
 - Commande de pointes de pointes 1057€
 - Contrat Maintenance AFM ICON 9850€

Cela représente un total de 2011€ en consommables et de 20143€ en maintenances.

A noter que le coût des maintenances reste stable mais qu'il y a une forte diminution (-80%) des consommables car il n'y a pas eu l'achat prévu des consommables pour le FIB cette année et peu de pointes nano utilisées en AFM.

5.2. Prévisionnel 2014

1. Consommable:
 - Achat pointes AFM : 6000€
 - Suppresseur et extracteur FIB et source LIMS : 5500€
 - Achat de pointes (résistivimètre) : 3000€
 - Lampe ellipsomètre: 800€
 - Filament W (TXRF): 1250€
2. Maintenance:
 - Tencor P15 et P16 : 2780€
 - LEXT : 2600€
 - AFM : 9850€ + 500€
 - TXRF: 2500€
 - FIB => en attente réponse
3. Support:
 - Table pour PECS: 800€
 - Table antivibratoire : 800€
 - Maintenance Pompage MEB

4. Petits équipements:
 - informatique : 300€
 - remplacement GIS Palladium par GIS Carbon

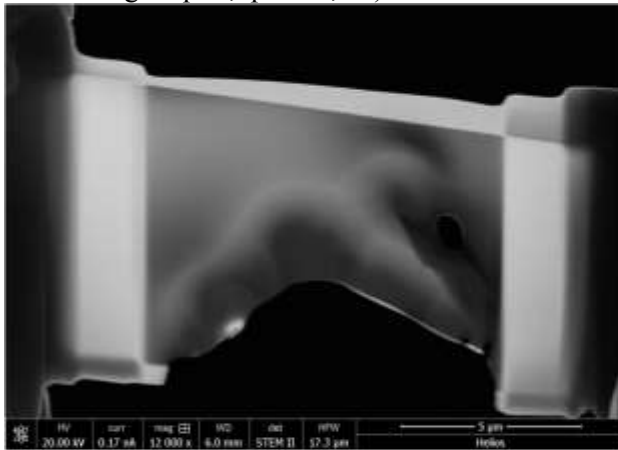
Prévisionnel si pas de panne majeure: 35280€

Pannes susceptibles : - pointe FEG S-4800 : 10000€

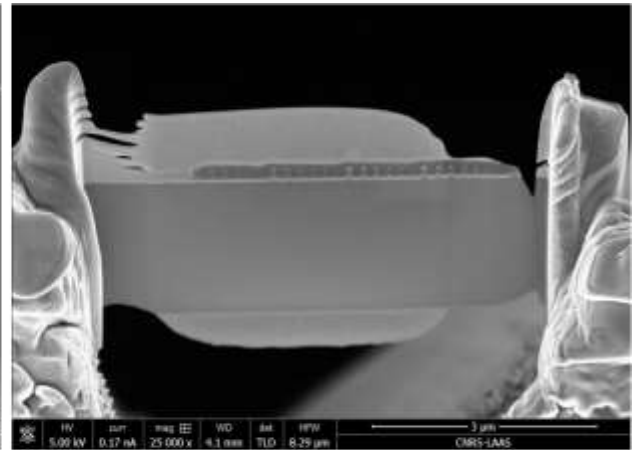
- Tencor P15 : 5000€

6. EVOLUTION DES PROCÉDES

- Fabrication de lame TEM (FIB) mieux contrôlé sur matériaux très divers (Si, III-V, organiques, pierres, ...).



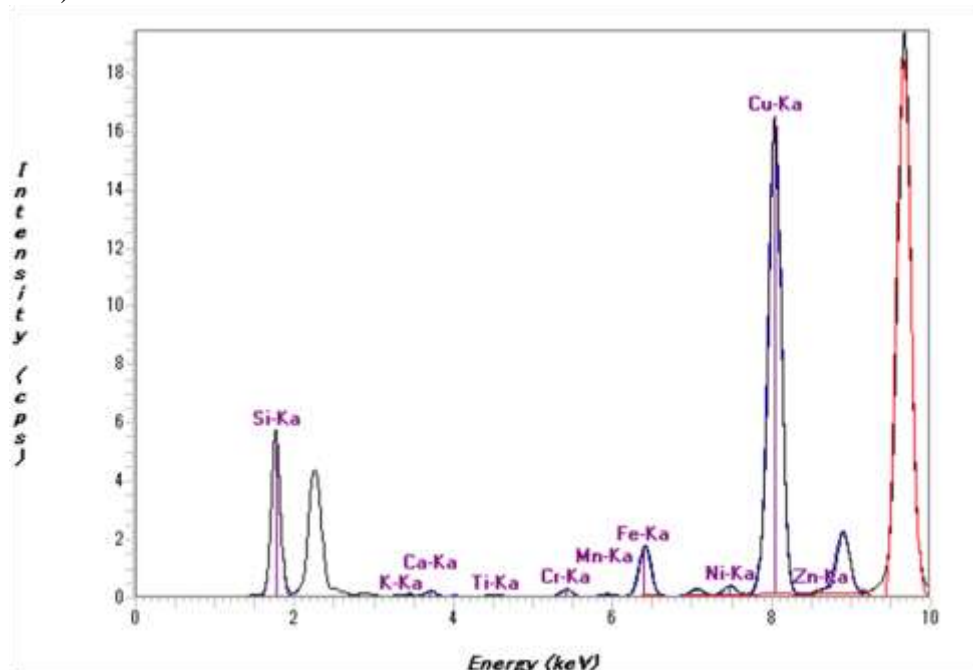
Lame TEM sur Apatite (STEM HAADF)



Lame TEM sur nanofils Si (SEM)

- Mesure de contamination avec le TXRF :

Le TXRF est un appareil de mesure des espèces chimiques élémentaires très précis. Il permet l'analyse du Sodium à l'Uranium mais avec des précisions variant en fonction du matériau (de l'ordre de 10^{10} at/cm²).



Contaminations métalliques sur plaque Si implantée et recuite

7. FORMATIONS

Toute personne travaillant en salle blanche passe au travers de formation d'entrée en salle blanche avec notamment une formation de base à la caractérisation en générale et au profilomètre mécanique (Tencor). Cela représente environ 55 formations pour 2014. Pour le microscope interférométrique (WYKO), les 4 pointes, les ellipsomètres et le digidrop, il n'y a pas de décompte précis mais cela représente autour de 150h formations personnalisées en 2014.

- 9 personnes ont été formées sur les AFM (4h en moyenne),
- 23 sur les MEB (3h en moyenne)
- 4 sur le LEXT (2h en moyenne)

8. BILAN

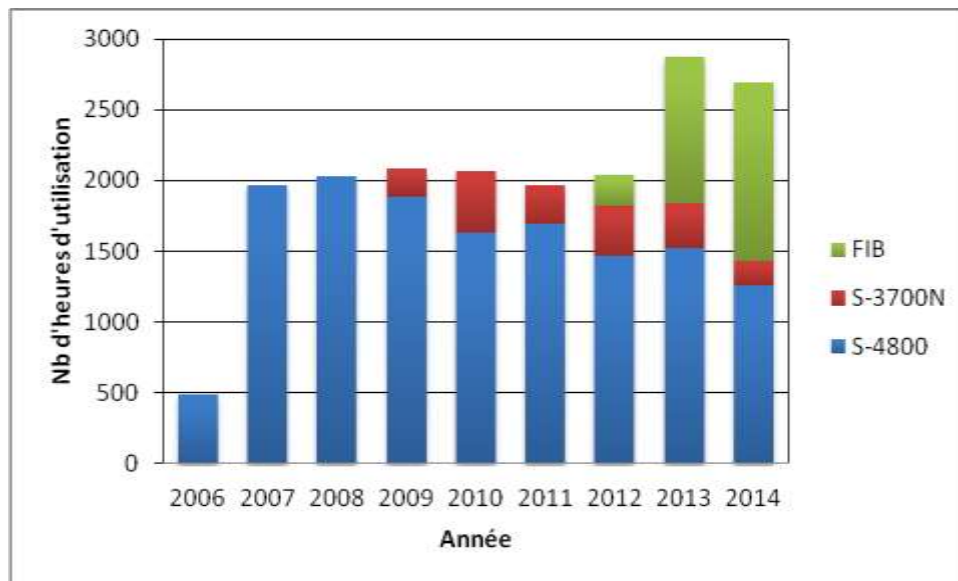
Les deux profilomètres mécaniques sont utilisés à environ 35% de leurs capacités par l'ensemble des groupes de recherche, il y a cependant de fortes demandes à des périodes précises. Le Tencor P15 présente de plus en plus de problème (mécanique et logiciel), l'upgrade nécessaire sur cette machine ne peut être faite par le constructeur.

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

Les microscopes sont sollicités par période (20%).

Les ellipsomètres sont de plus en plus utilisés notamment pour qualifier les couches de dépôt CVD et ALD (15%).

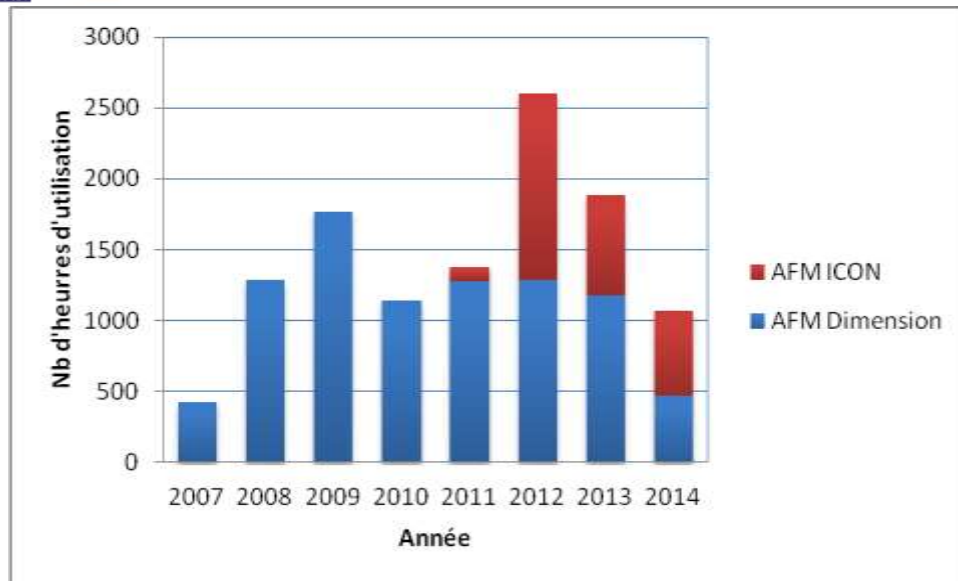
Pour les AFM, les MEB, le FIB et le LEXT, les réservations se font en ligne aux travers du système de réservation GRR, ce qui nous permet d'obtenir un ordre de grandeur d'utilisation (à 10% près).



Utilisation des machines de microscopie électronique et ionique

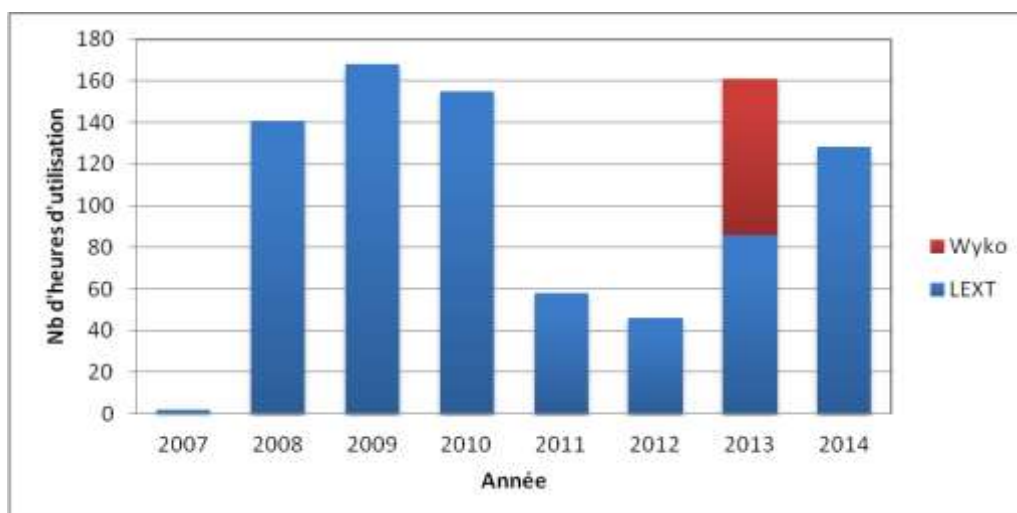
On observe une diminution de l'observation par microscopie électronique mais le S-4800 reste ponctuellement saturé. L'arrivée du FIB a permis de développer les aspects de caractérisations de composants après fabrication.

Les Hitachi sont robustes ce qui permet de n'avoir que peu de maintenance actuellement.



Utilisation des machines de microscopie à champ proche

Beaucoup de gros utilisateurs ont terminé leurs thèse ce qui a amené une forte diminution de l'utilisation des AFM.



Utilisation des profilomètres optiques

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 260h pour 2014.

Temps utilisation hors maintenance et développement TEAM :

C-ELLI : 91h

C-MEB : 1160h

C-AFM: 689h

C-FIB: 814h

9. PROSPECTIVE

- Utilisation du TXRF pour la mesure de contamination des différents réacteurs.
- Mise en place de didacticiel de formation en 2 temps (théorie puis pratique).
- Mettre tous les ordinateurs possibles accessibles en intranet.

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. La demande en caractérisation a globalement baissé car la présence en salle blanche a également diminué même si on observe des zones temporelles de saturation.

Toutefois ces équipements nécessitent un fort investissement pour la formation, le suivi des utilisateurs et le suivi des machines avec leurs vieillissements. La présence d'un responsable de zone pérenne est une nécessité absolue.

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 <ul style="list-style-type: none"> • 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	7872W

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 jusqu'à 8h/semaine au LAAS en fonction de la charge de travail à l'Université. Depuis le 4 novembre 2014 ce chiffre peut aller jusqu'à 16H/semaine. En 2014 Nathalie LAUBER a ainsi pu faire bénéficier le LAAS de 6 semaines de travail équivalent temps plein.

4. MAINTENANCES

- Filtres de soufflettes, soufflettes, douchettes, témoins lumineux, robinets, joints, raccords
- Le contrôleur de la tournette RC8 a été réparé pour un coût de 784 €. La tournette a fonctionné deux semaines avant que le contrôleur ne retombe en panne suggérant une anomalie électrique à l'origine des pannes du contrôleur. Depuis, certaines pièces ont été prélevées sur l'équipement pour réparer d'autres pannes sur d'autres équipements extérieurs à la zone chimie. Les pièces manquantes devraient être remises en place début 2015 ce qui permettra de reprendre l'établissement du diagnostic de la panne électronique du départ. Une fois les pièces remises en place, l'aspect panne électronique pourrait être analysé par François Haro début mars.

5. BUDGET

5.1. 2014

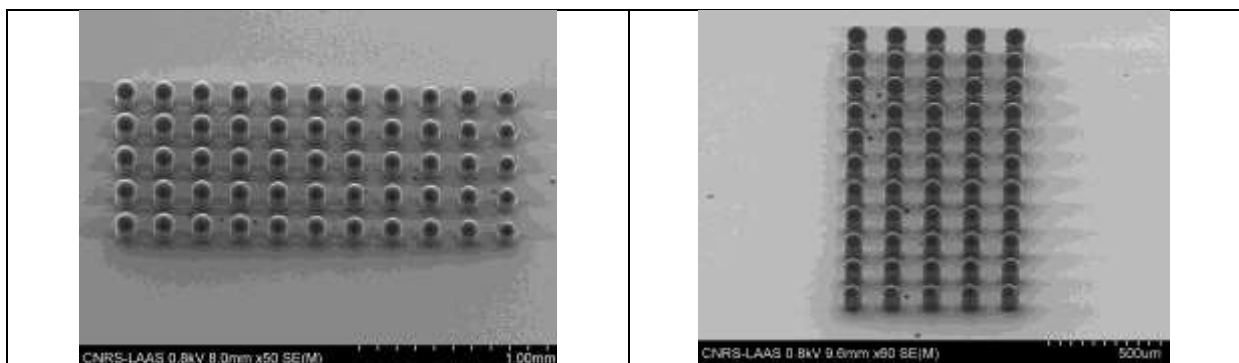
- Consommables :
 - Achats produits chimiques : 23210,61 €
 - Retraitement déchets chimiques : 2822,10 €
- Maintenance (pièces détachées –réparations) : 784 €

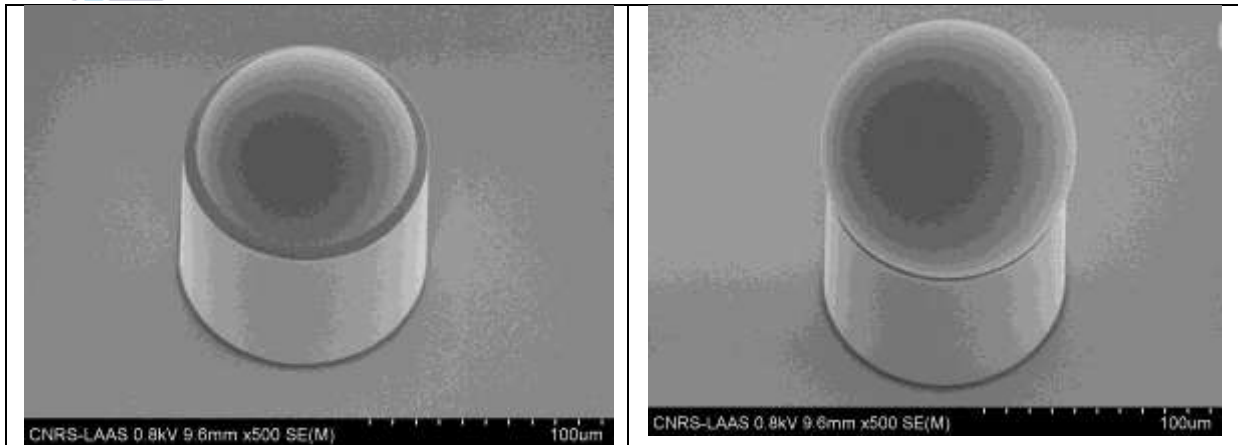
5.2. Prévisionnel 2014 hors refonte zone chimie

- Consommables (produits chimiques et retraitement déchets) 26000 €
- Maintenance 5000 € (réparations pannes, maintenances Semitool, changement lampe UVox et réparation contrôleur tournette RC8)

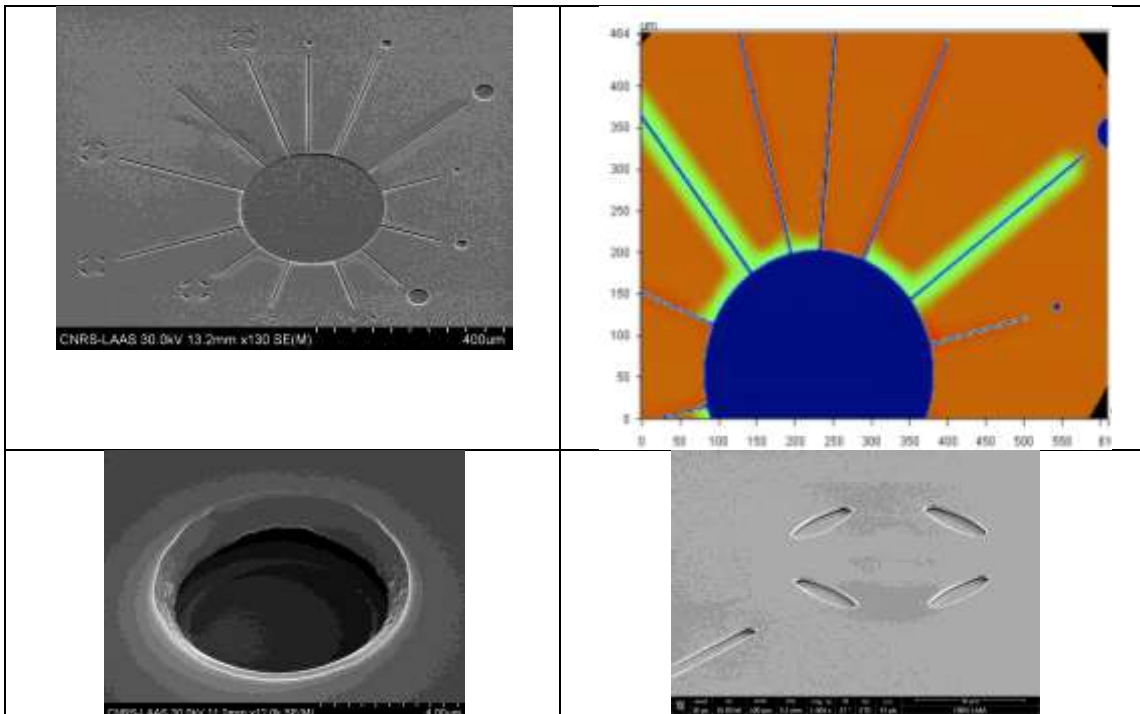
6. EVOLUTION DES PROCÉDES

- Procédés spécifiques :
 - Formulation d'encres fluides compatibles avec la machine jet d'encre du LAAS pour formation matrice microlentilles par inkjet ; Gravure d'InGaAs sur InP pour la réalisation de membranes pour VCSEL accordables à cristaux liquides.



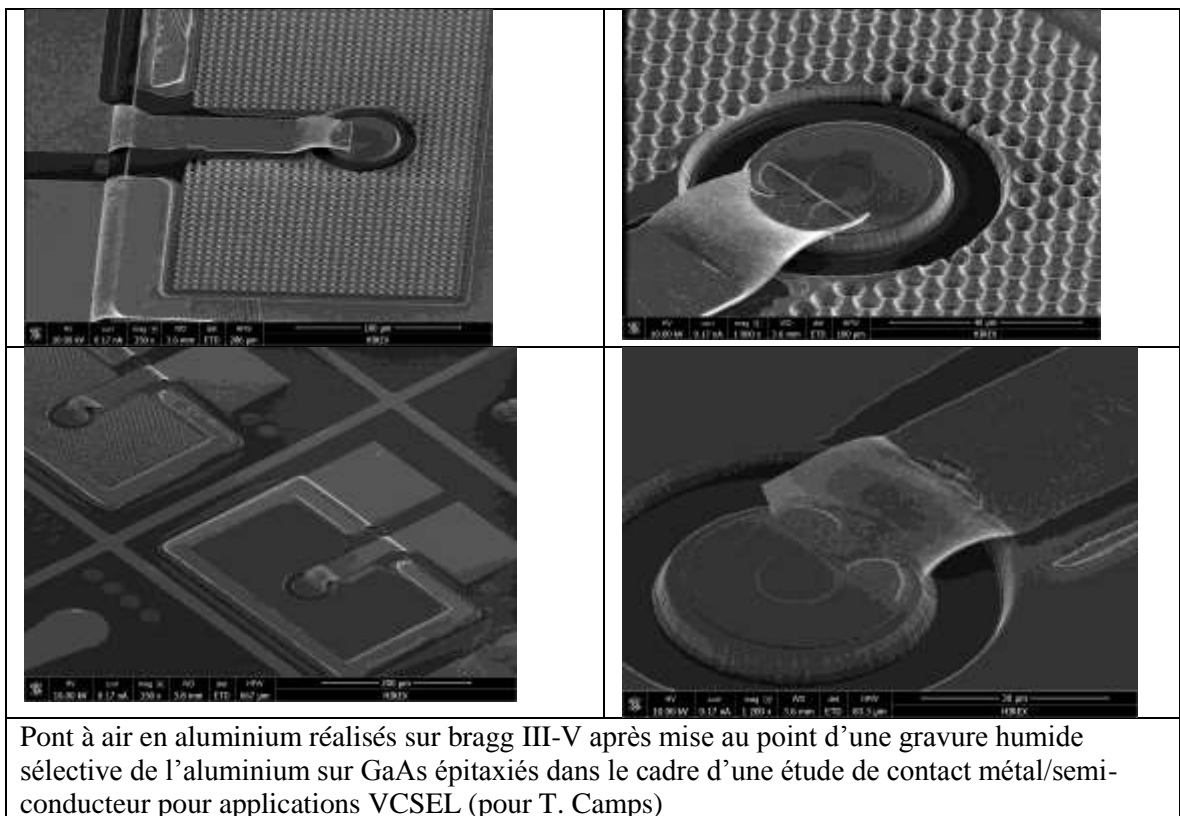
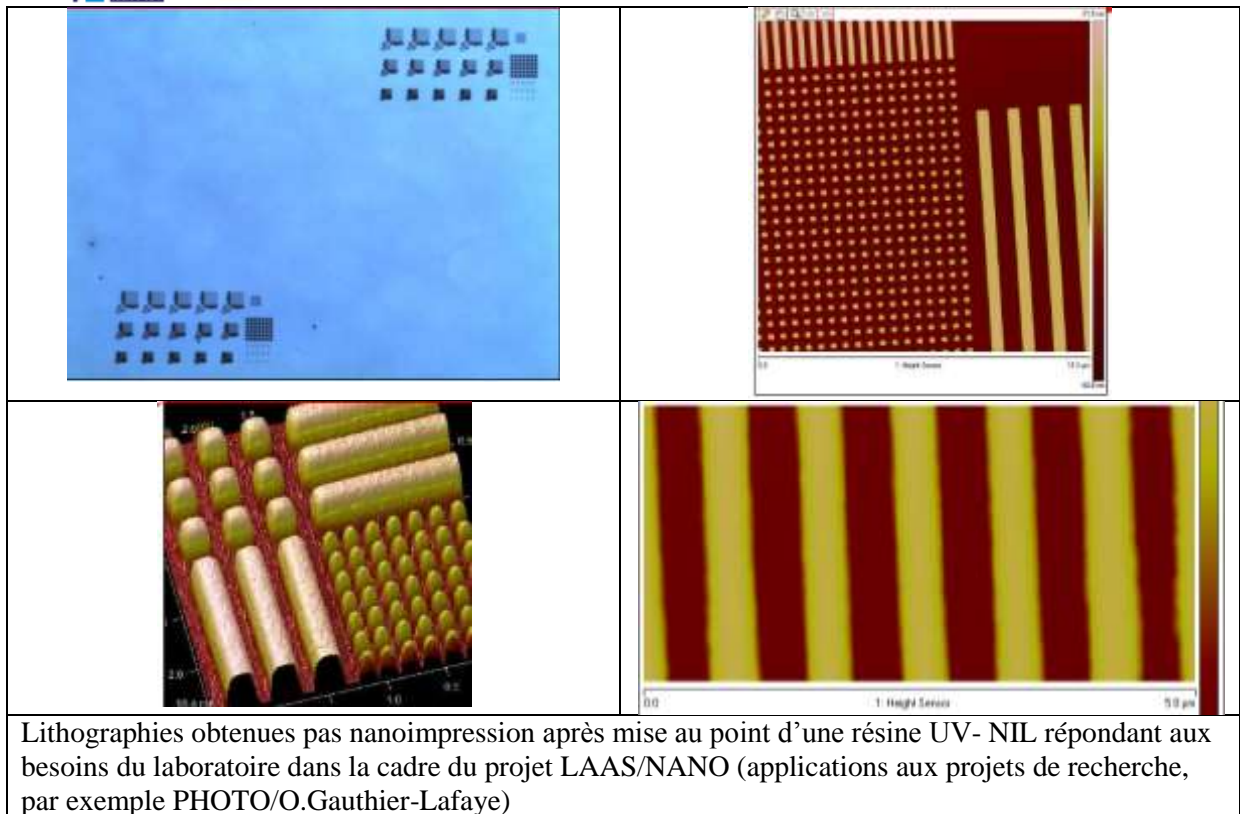


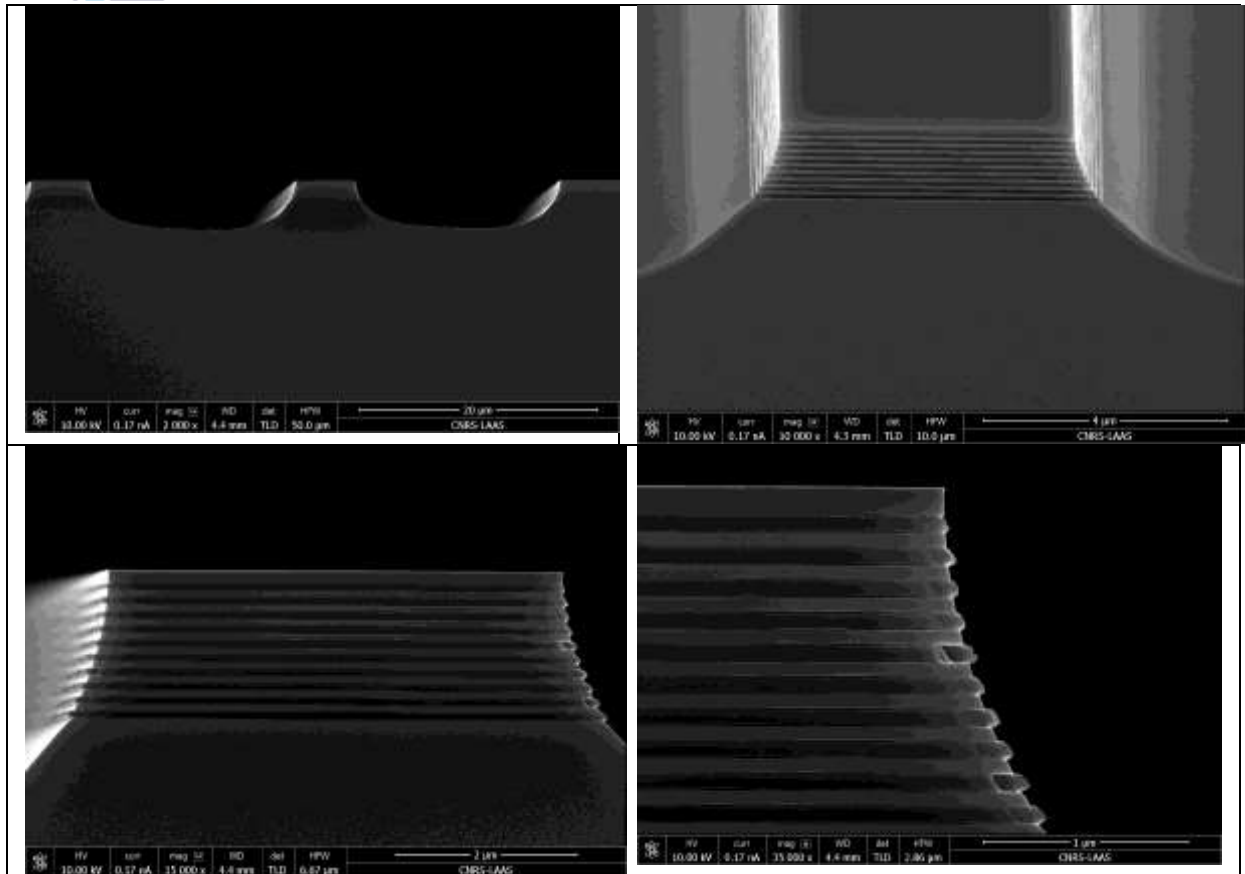
Microlentilles obtenues après mise au point de formulations d'encre polymérisables compatibles avec l'équipement inkjet du laboratoire pour la réalisation de microlentilles polymère à focal contrôlée sur matrices de micropiliers (pour MICA /V.Bardinal)



Premiers essais de réalisation de membrane obtenus après mise au point d'une solution de gravure humide sélective InGaAs/InP (pour MICA V.Bardinal/T. Camps)

- Procédés génériques :
 - Optimisation résines de nanoimpression ; mise au point d'une gravure humide sélective de l'aluminium sur GaAs pour réalisation de ponts à air ; mise au point d'une gravure non sélective de multicouches GaAs/GaAlAs exempte de chrome VI pour réalisation de mésas.

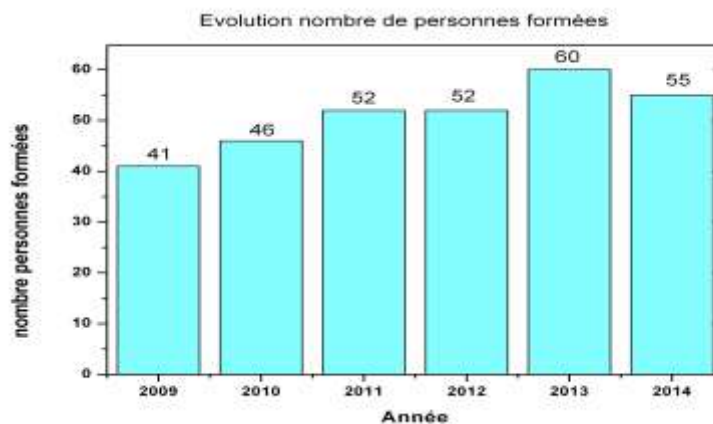




Multicouche gravé après premiers essais de mise au point d'une solution de gravure humide non sélective de GaAs/GaAlAs exempte de chrome hexavalent en vue de diminuer la toxicité de la solution existante (pour PHOTO/G. Almuneau)

7. FORMATIONS

- 55 personnes (stagiaires, doctorants, chercheurs et ITA permanents et extérieurs) informées des risques chimiques existants, des moyens en place pour prévenir les incidents, de ce qu'il faut faire si un incident survient et du mode de fonctionnement de la zone chimie en 26 demi-journées. Désormais les formations sont scindées en deux demi-journées : une demi-journée sur l'aspect sécurité (en principe les lundis après midi) et une demie journée sur l'aspect utilisation de la zone chimie (en principe les mardi matin). Cela se fait au prix d'un temps de formation plus long mais qui doit permettre une meilleure assimilation des notions abordées.

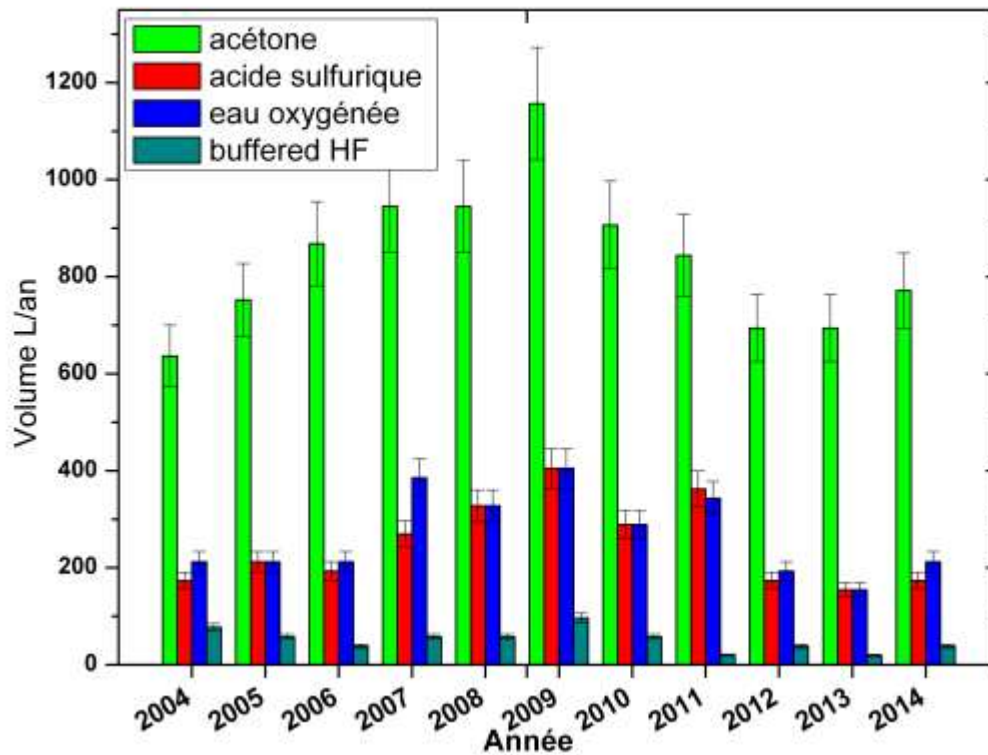


- 2 personnes formée au nettoyage RCA
- 1 cours team assuré (prévention risque chimique salle blanche)

8. BILAN

8.1. Evolution au cours des dernières années

Evolution de la consommation en produits chimiques courants 2004-2014



8.2. Analyse :

Le niveau de consommation en produits chimiques courants en 2014 est en légère augmentation par rapport à 2013.

Globalement sur plusieurs années on note une stabilisation de l'activité. Ce qui correspond à l'activité constatée dans d'autres zones de la salle blanche.

9. PROSPECTIVE

9.1. Hottes de chimie

Dans l'état actuel des choses, deux fournisseurs nous ont proposé un chiffrage pour les postes de chimie dont nous avons identifié le besoin. Au total ces postes sont au nombre de 16 plus un système de collecte centralisée des solvants usés. La première offre (Société Minaservices) concerne 15 de ces postes pour un montant de 597 k€, la seconde (Société Superior Automation) les 16 postes + le système de collecte de solvants pour un total 812 k€ (avec 1 € = 1,1456\$). Pour les 15 postes communs aux deux propositions, la proposition de Superior Automation correspond à un montant de 720 k€. Le surcoût de cette proposition par rapport à la première peut s'expliquer notamment par un choix de matériaux plus nobles chez le second fournisseur (en règle générale acier inoxydable plutôt que polypropylène pour les postes solvants).

Eléments de comparaison des propositions concernant l'acquisition des postes de chimie						
Poste	Minaservices (M)		Superior Automation (SA)		Comparaison prix et qualité prestation	
	caractéristiques	prix	caractéristiques	prix	prix SA/M %	prestation SA/M 0 = similaire 1 supérieur 2 très supérieur
Nanolitho solvant	flux laminaire polypro	53 000 €	inox	43 890 €	● 83	1
Nettoyage wafer bonding	polypropylène	106 000 €	polypropylène	87 740 €	● 83	0
Electroless	polypropylène	75 000 €	polypropylène	92 454 €	● 123	0
Sorbonne acide MOS	polypropylène	12 000 €	sorbonne polypro	22 805 €	● 190	1
Poste solvants propres MEMS	polypropylène/inox	18 000 €	inox	38 338 €	● 213	1
Nanolitho acide	pp + accessoires	18 000 €	polypropylène	22 333 €	● 124	0
Nettoyage sérigraphie	pp + accessoires	14 000 €	polypropylène	25 738 €	● 184	0
Stockage EJM	mélaminé	8 000 €	polypropylène	18 261 €	● 228	1
Piranha MOS	pp + accessoires	34 000 €	polypropylène	39 608 €	● 116	0
MEMS solvants et PDMS	pp + accessoires	16 000 €	inox	36 514 €	● 228	2
K+/Na+	polypropylène	16 000 €	polypropylène	34 253 €	● 214	0
Lithographie laser	pp + accessoires	32 000 €	polypropylène	52 505 €	● 164	0
sorbonne solvants MOS	sorbonne solvants pp	12 000 €	inox	29 618 €	● 247	1
lift off MOS		18 000 €	inox	43 981 €	● 244	1
piranha collectif /gravure MEMS	pp + accessoires	165 000 €	polypropylène	132 411 €	● 80	0

Le second point à noter est que le coût des petits postes est plus important chez Superior Automation alors que c'est celui des gros postes qui est plus important chez Minaservices. Ainsi les 4 principaux postes totalisent les 2/3 du budget global chez minaservices quand ils n'en représentent que la moitié chez Superior Automation.

Ainsi il pourrait être intéressant de répartir les postes chez les deux fournisseurs.

Il ne faut cependant pas perdre de vue que les frais d'expédition seront supérieurs pour Superior Automation (Etats-Unis) que pour Minaservices (France) et que l'évolution de la parité €/\\$ est de moins en moins favorable au produits de la zone \$.

Enfin après avoir consulté différents fournisseurs, il apparaît préférable de faire traiter les petits aménagements tels que la cabine de sonication par des plasturgistes locaux plutôt que par ces entreprises très spécialisées.

9.2. 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)
- Restructuration de l'ancien poste de nettoyage RCA 4 pouces
- Poursuite du référencement des produits chimiques dans l'outil de gestion RICH et améliorations de cet outil.
- Extension de la zone chimie dans la zone de lithographie laser pour y intégrer la technologie mos
- Installation des centrifugeuses Semitool provenant de Freescale
- Installation de nouveaux mobiliers pour le stockage de petit matériel et de nouveaux produits chimiques.

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).

9.3. 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. Plusieurs tests prometteurs ont été effectués, notamment par Nathalie Lauber. Ces tests concluent à une bonne efficacité du DMSO mais il reste à conclure sur les cas des dimensions les plus critiques ce qui n'a pu être finalisé en 2014 suite à la réorientation des activités de Nathalie Lauber vers la rédaction de procédures standard pour l'évacuation des déchets chimiques.

10. CONCLUSION GENERALE

Plusieurs points très positifs sont à souligner pour l'année 2014.

- La présence de Nathalie Lauber dans la zone a permis d'avancer sur plusieurs problèmes : étiquetages plus clair dans la zone chimie, intégration progressive des produits chimiques sur l'outil RICH, test des pinces polymères proposées à l'utilisation en zone chimie, test d'utilisation du DMSO en remplacement de la NMP pour les lifts off exigeants. La finalisation de ces tests a du être différée suite à une réorientation de l'activité de Nathalie Lauber vers la mise en place d'une procédure standard d'évacuation des déchets chimiques. Cette activité nouvelle pour elle dans un contexte différent de celui qu'elle a connu jusqu'à présent lui demande beaucoup d'investissement personnel. Le fait que son temps de présence au laboratoire puisse être augmenté jusqu'à 16H00 hebdomadaire depuis novembre 2014 va lui permettre d'avancer de manière plus efficace en changeant moins souvent d'activité. Il reste cependant compliqué de passer d'un laboratoire à l'autre et dans un souci d'efficacité il serait préférable d'augmenter encore ce temps de présence au LAAS. Cela lui permettrait d'utiliser plus complètement les connaissances de nos domaines dans l'acquisition desquelles elle s'est beaucoup investie. Outre la mise en place des procédures standards d'évacuation des déchets chimiques et la finalisation du référencement sur RICH des produits chimiques, Nathalie finalisera donc le travail sur le DMSO en 2015. Nous nous attellerons ensuite à la rédaction des procédures de gravure humides isotropes ce qui permettra à Nathalie d'approfondir ces connaissances de nos techniques.
- En zone chimie les « heures soleils » sont un succès, elles permettent de gagner en confort sécurité et propreté de l'espace de travail tout en étant l'occasion de rappeler des modes de fonctionnement et de les ajuster en fonction du retour des intervenants.
- La mise en place de pinces métalliques dédiées à chaque opération chimique a été effectuée. Ce mode de fonctionnement vise à éviter qu'une pince passant de d'opération chimique en opération chimique ne véhicule des contaminations. Pour le moment cette solution semble donner satisfaction, les utilisateurs qui craignent de voir leurs substrats contaminés par l'utilisation de pinces passant de substrat en substrat gardant la possibilité de garder une pince métallique personnelle spécifique à leurs applications .

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
- V. Luque T
- 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

- V. Luque -et C. 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. 2014

- Consommables : 19198€

Eau DI	5 868,76
Huile pompes à vide	4000 € €
Gaz	9006,48€
Petit matériel et consommable divers	4050 €

- Maintenance et travaux infrastructure : **17 524,75 €**

_réparation compresseur pour STEPPER	799,26 €
Capteur Gaz	1 290€
Eclairage salle Assemblage	2 774,68 €
fourniture soufflettes , douchettes)	3416€
Déménagement machines	1 400€

- Support (installations de nouvelles machines) : 91164 €

OLED	900 €
Séparex CO2 2013	1820 €
MVD	185 €
Ultratech (step 1500)	2350 €
TXRF (Freescale)	5060 €

5.2. Prévisionnel 2015

- Consommables : 39600€
 - Maintenance et travaux infrastructure :12 000 € + nouv salle Assemblage 54 300 €
- Support (installations de nouvelles machines) : 71000€

5.3. Commentaire

Globalement le montant devrait être proche de 2013 du fait de l'installation de nombreuses machines et du projet de la nouvelle salle d'assemblage.

6. 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.

7. PROSPECTIVE

- Principales actions d'installation à mener dans l'année
 - Finalisation de l'installation des équipements Freescale.
 - RIE
 - DRIE
 - PVD Nano
 -
 - PARYLENE
 - Réaménagement du SAS
 - Ré-aménagement général des postes de chimie

8. 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 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 qu'elles sont identifiées et les solutions élaborées.

De la même façon l'activité de soutien apportée par V. Luque et C. Fourcade est essentielle au bon fonctionnement de la structure. Nous veillerons à poursuivre la mise en place de nouvelles procédures d'accès à la salle blanche afin d'optimiser ces actions très consommatrices en temps.

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.