



**HAL**  
open science

## Un bilan des activités 2017 de la plateforme de micro et nanotechnologies du LAAS-CNRS

Hugues Granier, Alexandre Arnoult, David Bourrier, Laurent Bouscayrol, Pierre-François Calmon, Franck Carcenac, Samuel Charlot, David Colin, Véronique Conédéra, Rémi Courson, et al.

► **To cite this version:**

Hugues Granier, Alexandre Arnoult, David Bourrier, Laurent Bouscayrol, Pierre-François Calmon, et al.. Un bilan des activités 2017 de la plateforme de micro et nanotechnologies du LAAS-CNRS. 2018. hal-01767583

**HAL Id: hal-01767583**

**<https://laas.hal.science/hal-01767583v1>**

Submitted on 16 Apr 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.

2017

# Bilan des activités de la plateforme de micro et nano technologies du LAAS-CNRS



Service TEAM

LAAS-CNRS

Mars 2018

## Table des matières

<b>PREAMBULE</b> .....	<b>0</b>
<b>CONSIDERATIONS GENERALES</b> .....	<b>3</b>
<b>SOUTIEN</b> .....	<b>10</b>
<b>SUPPORT</b> .....	<b>13</b>
<b>LITHOGRAPHIE LASER</b> .....	<b>16</b>
<b>NANOLITHOGRAPHIES</b> .....	<b>25</b>
<b>PHOTOLITHOGRAPHIE</b> .....	<b>32</b>
<b>EPITAXIE PAR JETS MOLECULAIRES</b> .....	<b>42</b>
<b>TRAITEMENTS THERMIQUES ET IMPLANTATION IONIQUE</b> .....	<b>50</b>
<b>CHIMIE</b> .....	<b>56</b>
<b>L'ELECTROCHIMIE</b> .....	<b>65</b>
<b>PVD</b> .....	<b>74</b>
<b>GRAVURE PLASMA</b> .....	<b>80</b>
<b>JET D'ENCRE ET TRAITEMENT DE SURFACE</b> .....	<b>89</b>
<b>CARACTERISATION</b> .....	<b>95</b>
<b>ASSEMBLAGE</b> .....	<b>100</b>
<b>CELLULE PRÉVENTION DES RISQUES EN SALLE BLANCHE</b> .....	<b>107</b>
<b>CELLULE EQUIPEMENTS</b> .....	<b>109</b>
<b>CELLULE RENATECH</b> .....	<b>111</b>
<b>CELLULE FORMATION</b> .....	<b>115</b>
<b>ANNEXE 1 : ORGANIGRAMME SERVICE TEAM (AU 1<sup>ER</sup> AVRIL 2017)</b> .....	<b>117</b>
<b>ANNEXE 2 : VISION DES PROJETS INTERNES SOLLICITANT LA PLATEFORME</b> .....	<b>118</b>
<b>ANNEXE 3 : PRESENTATION LORS DE LA COMTEAM DU 29 MARS 2018</b> .....	<b>123</b>
<b>ANNEXE 4 : COMPTE RENDU DE LA REUNION DU 29/03/2018</b> .....	<b>136</b>

## PREAMBULE



La plateforme de micro et nanotechnologies du LAAS fait partie du réseau

Elle offre aux domaines sensibles aux contaminations environnementales une concentration particulière maîtrisée, une régulation de la température, de l'humidité, et de la lumière pour certaines opérations sensibles aux rayonnements ultraviolets au sein de la salle de 1600 m<sup>2</sup> en classes 100 et 10 000. Les équipements permettent l'élaboration, la mise en forme, le traitement de matériaux pour le prototypage de composants microélectroniques, optoélectroniques, micro et nano systèmes.

La gestion et le développement de l'infrastructure, des équipements et procédés ; le soutien aux projets de recherche sont assurés par le service TEAM.

Ces moyens humains et technologiques assurent le soutien des actions de recherche internes au LAAS, mais aussi l'accueil de demandes externes dans le cadre du réseau Renatech.

Annuellement l'activité du service est examinée par une commission (ComTEAM), présidée par le Directeur du laboratoire.

Ce document réalisé annuellement fait le bilan des activités 2017 et se projette sur des actions à conduire en 2018 dans les différentes zones gérées par le service TEAM.

Les projet  et  cités dans ce document sont cofinancés par la Région Occitanie et les fonds Européens Feder.



PROJET COFINANCÉ PAR LE FONDS EUROPÉEN DE DÉVELOPPEMENT RÉGIONAL

Les équipements DILASE 750 et Dilase 3D ont été financés dans le cadre de l'équipex



## CONSIDERATIONS GENERALES

### EQUIPEMENTS

#### Nouveaux équipements

##### Origine des crédits

L'année 2017 à vue la concrétisation ou la mise en route de diverses procédures d'achats.

Ces achats sont le fruit :

- D'une procédure de concertation menée entre tous les acteurs impliqués dans la plateforme
- De l'obtention de financements multiples :
  - Abondement RTB qui se situe depuis 3 ans au niveau 320-330 k€ et qui est renouvelé pour les conventions 2017 et 2018
  - Projets Thermie et MultiFAB soutenu par le Région Occitanie sur des fonds Feder
  - Projets soutenus par les organismes financeurs ou des contrats directs

##### Achats finalisés en 2017 1245.4 k€

Equipements	Montant (k€)	Financements (k€)
PVD Nano	316.4	RTB
Hottes de chimie	158.7	RTB : 108.7 MINC 50
PVD « Thermies »	335	Région FEDER Thermie
Spin coater+plaque recuit	53	Région FEDER Thermie
Software GenySys	29	Région FEDER Thermie
Analyseur DSC	84.84	Région FEDER Thermie
Profilomètre P17+	76.43	Région FEDER Thermie
Spectrophotomètre	15	MICA : 6 MNBT : 6 RTB : 3
Traitement des gaz chlorés	37.33	RTB
Option traxx et periodix Ebeam	100	RTB
Laser semiconducteur DLW	39.7	RTB

##### Achats en cours de finalisation 886.33 k€

Equipements	Montant (k€)	Financements (k€)	Mise en service
Aligneur MA6Gen4	179.4	Région FEDER Thermie	Avril
Hottes préparation masques	19	Région FEDER MultiFAB	1 <sup>er</sup> trimestre
Stéréolithographie HR	120	Région FEDER MultiFAB	1 <sup>er</sup> semestre
Jet d'encre multibuses	300	Région FEDER MultiFAB	1 <sup>er</sup> semestre
Retrofit PECVD	93.48	RTB	1 <sup>er</sup> semestre
Hotte multi nettoyage	104.45	RTB	1 <sup>er</sup> semestre
Travaux infrastructure CVC	70	RTB	2018-2019

#### Prospective

##### Cellule équipements

Au sein du service TEAM nous avons créé une cellule équipement qui est en charge d'alimenter les réflexions collectives sur ce sujet, puis de conduire les procédures d'achat. Une synthèse de ses travaux est disponible au chapitre « cellule équipements ».

##### En cours

- Actuellement la prospective la plus active concerne la jouvence de la machine ICP1. Elle sera acquise sur des fonds RTB.
- Suivra la jouvence sur un bâti de sputtering pour les contacts III-V également sur des fonds RTB.

### A moyen / long terme

- Des projets de filières technologiques sur le modèle des projets Thermies et MultiFAB sont en gestation. Leurs contours ne sont pas encore très clairs et portent sur
  - Les capteurs chimiques
  - L'assemblage / intégration

Les réflexions se poursuivent avec l'objectif de présenter les prémices d'au moins un projet avant l'été 2018.

- Dans le cadre du réseau Renatech il a été demandé de proposer une prospective ambitieuse sur les 5 prochaines années pour étayer le projet Renatech+ notamment. Cette prospective doit associer jouvence d'équipements existants et nouvelles techniques ;

## PERSONNEL

### Organisation

Le service TEAM (Techniques et Equipements Appliqués aux Micro et nanotechnologies) comprend 3 niveaux de responsabilités.

- La direction du service : un responsable et 4 adjoints en charge de coordonner les activités sur les équipements, la sécurité, la formation, l'accueil des demandes exogènes.
- Les responsables de zones techniques qui assurent les gestions techniques, financières et humaines liées à un parc d'équipements,
- Les coordinateurs de projets qui sont les interlocuteurs privilégiés des chercheurs dans la réalisation des projets,

Chaque membre du service exerce son expertise dans une zone spécifique. Il assure la gestion, le développement, la prospective des équipements et procédés ; la formation et l'encadrement des utilisateurs. Cette activité leur permet d'avoir une vision globale de l'ensemble des projets soutenus.

En outre les personnels sont impliqués dans des projets scientifiques, au titre de coordinateur technique et/ou de réalisateur. Cette activité leur permet d'apporter un soutien adapté sur une problématique liée à leur expertise. Cette double compétence (dans les zones et sur les projets) permet d'étendre le champ de leur compétence et d'éviter le cloisonnement.

Enfin les personnels sont amenés à intervenir dans des zones hors de leur responsabilité pour mettre en œuvre des compétences spécifiques dans un souci d'intérêt général. L'annexe 2 résume l'ensemble de ces contributions.

L'organigramme au 1<sup>er</sup> septembre 2016 est fourni en annexe.

### Analyse

Nous présentons ici divers éléments qui alimentent la réflexion pour les besoins en personnels dans les années à venir

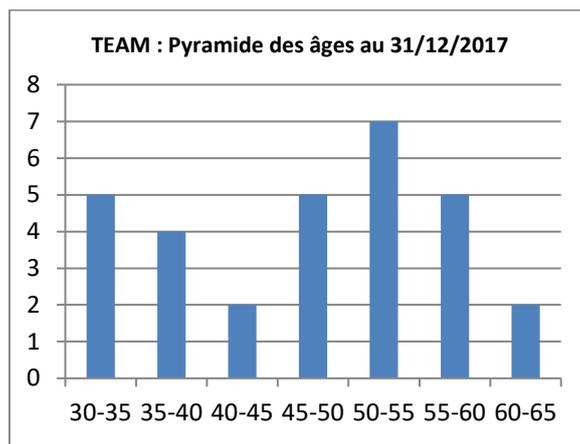
#### Permanents/ non permanents

Le service compte 33 personnes au 1<sup>er</sup> février 2018 (-5 vs 2017) parmi lesquels

- 27 (-1) permanents dont 25 (-1) CNRS, 1 UPS et 1 INPT
- 0 personnels en « détachement » (-1 CNRS et -1 UPS en ARTT)
- 7 contractuels (-1) dont 4 (-1) sur des fonctions pérennes et 3 sur des projets spécifiques.

#### Pyramide des âges

Nous ne prenons en compte que les personnels permanents et en détachements



Les points marquants sont

- Le départ de 3 personnes en 2017 équivalent à 2.5 ETPT, dont une mutation interne au laboratoire
- Deux départs certains en 2018 sur des compétences liées à l'élaboration de matériaux
- Deux départs vers 2021-2023 sur des compétences liées à la gestion de l'infrastructure

Ces départs vont s'ajouter à celui de M. Benoit en 2015 qui n'a pas été remplacé.

### Besoins

Ces besoins sont exprimés après analyse

- De la pyramide des âges, de celle des départs prévisibles, et des départs non remplacés
- Des nouvelles compétences à déployer pour répondre aux évolutions scientifiques, techniques et administratives.
- Des compétences déjà nécessaires et pourvues par du personnel CDD

Pour chaque poste nous ne présentons que les arguments spécifiques venant en complément de ceux plus généraux liés aux missions que doit assurer le service au sein du laboratoire et aussi de l'ouverture de la plateforme Renatech

### **EJM (AI Bap B 3F26)**

- Départ Guy Lacoste (IEHC) mi 2018
- Assurer la continuité de l'activité dans une zone avec des équipements très complexes et le développement de nombreuses thématiques de recherches.
- Présence d'un CDD depuis 1ans renouvelé en 2017.
- NOEMI infructueux fin 2017 / début 2018.

### **Chimie des polymères (IR Bap B 1F26)**

- Départ de B. Rousset (IRHC) mi 2018
- Les compétences de B. Rousset dans les matériaux « classiques » ont été transférées vers d'autres membres du service et au vu des développements des années passées et de la prospective il est essentiel d'en développer vers les « nouveaux » matériaux polymères.
- Présence d'un CDD jusqu'en 2015 mais qu'il n'a pas été possible de continuer à financer sur ressources propres.
- De plus la zone chimie repose sur une seule personne du fait du départ d'une AI UPS en ARTT à 50%
- Il convient donc à la fois pour gérer l'activité et surtout développer de nouvelles compétences de recruter un IR.

### **Electrochimie (AI Bap B 3F26)**

- Départ de M. Benoit (AI) en 2015
- Très nombreux développements technologiques (création d'une start up, collaborations avec des équipementiers, expertise au niveau du réseau Renatech...)
- Continuité de l'activité en zone électrochimie aujourd'hui avec un seul personnel permanent

- En zone électrochimie la présence d'un CDD pendant 5 ans n'a pu être renouvelée en 2018. La situation est critique.

### Nano répliquions (AI Bap B 3F26)

- Titulaire de la fonction doit être réaffecté hors de la salle blanche (raison médicale)
- Développement des compétences du laboratoire en nano répliquions.
- Présence d'une CDD depuis 5 ans sur cette activité

### Lithographie laser (IR Bap B 1F26)

- Développement des compétences du fait
  - Des nombreuses nouvelles techniques mises en place dans cette zone (lithographie bi photon, 3D, bio impression HR)
  - Des développements de procédés liés à l'équipex LEAF
- Départ d'une apprentie ingénieur à la mi 2017, et fin du soutien d'un ingénieur de la société Kloe présent dans le cadre d'une collaboration LAAS / KLOE

Enfin un profil qui a priori n'est pas affecté au sein du service TEAM mais qui est aussi primordiale pour le fonctionnement de la salle blanche.

### Assistant en gestion administrative (AI Bap J 3X21)

- Mutation interne de C. Fourcade (TCE) vers le service IST-EDI
- Assistance à la gestion financière (facturation auditable, commandes), contractuelle (collaborations Renatech) et administrative du service TEAM et de la plateforme
- Fonctions assurées par des CDD successifs depuis de nombreuses années.

## BUDGET

Ce tableau rassemble l'ensemble des informations des zones.

Une ligne supplémentaire apparait celle des fluides généraux qui concernent l'électricité, l'eau et le gaz nécessaires au fonctionnement de la plateforme.

Enfin les lignes 2018 ne sont que des prévisionnels tels que présentés lors de la demande FEI 2018 faite en juillet 2017.

	fourniture		consommables		maintenance		support et sécurité	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
<b>Assemblage</b>		13 450,00	6 507,00	5 500,00	17 345,00	11 910,00	5 260,00	0,00
<b>Caractérisation</b>		3 500,00	8 527,00	7 300,00	47 514,00	71 366,00	685,00	3 500,00
<b>EJM</b>		21 000,00	71 500,00	15 000,00	59 044,00	15 340,00	6 003,00	0,00
<b>Electrochimie</b>		0,00	6 006,00	8 100,00	2 254,00	2 000,00	0,00	5 000,00
<b>Fours et II</b>		4 500,00	2 739,00	3 450,00	56 668,00	65 004,00	0,00	9 800,00
<b>Gravure plasma</b>		0,00	6 212,00	3 900,00	22 182,00	54 000,00	37 330,00	16 200,00
<b>Jet d'encre</b>		1 000,00	2 080,00	800,00	2 465,00	0,00	1 588,00	3 000,00
<b>Lithographie laser</b>		17 040,00	23 920,00	21 000,00	51 239,00	107 500,00	9 175,00	5 000,00
<b>Nanolithographie</b>		2 000,00	6 460,00	8 500,00	9 541,00	22 500,00	3 623,00	2 500,00
<b>Photolithographie</b>		36 200,00	32 382,00	40 930,00	45 744,00	97 972,00	2 052,00	6 000,00
<b>Frais généraux</b>	25 000,00	25 000,00	73 208,00	56 000,00	31 656,00	23 009,00	154 597,00	145 647,00

<b>Chimie</b>		0,00	29 466,00	44 311,00	2 979,00	24 155,00	7 832,00	19 500,00
<b>Fluides généraux</b>			519 668,33	454 709,79				
<b>PVD</b>	59 400,00	20 000,00	3 248,40	7 500,00	11 034,97	30 000,00	11 946,67	3 000,00
<b>Fournitures</b>	179 361,95							
<b>TOTAUX</b>	179 361,95	143 690,00	791 923,73	677 000,79	359 665,97	524 756,00	228 145,00	219 147,00

- Globalement il n'y pas d'évolution majeure.
- Tout au plus peut-on s'attendre à une baisse des dépenses en 2018 du fait de la fermeture de 2 mois et demi.
- L'impact des travaux d'économies d'énergie ne seront pleinement visibles qu'une fois toutes les actions sur l'infrastructure terminées. C'est-à-dire lors de l'exécution du budget 2020.

## FORMATIONS

### Organisation

Toute personne qui demande l'accès à la plateforme pour y travailler doit obligatoirement suivre des formations dispensées par le service TEAM. Ce n'est qu'après avoir suivi les premières formations que le badge d'accès sera activé et que la personne pourra travailler en autonomie.

#### La formation générale obligatoire

- La présentation générale de la plateforme et du service TEAM
- La présentation et l'analyse des procédures de travail en salle blanche
- Une présentation en situation de la plateforme (environnement, sécurité,)
- Dispensée 1 fois /mois entre septembre et juin.

#### Les formations techniques obligatoires

- Elles permettent de se familiariser avec les procédures de travail des zones en libre-service après formation.
- Elles se déroulent tous les 15 jours :
- **Formation en chimie :**
  - " Le risque chimique en salle blanche"
  - La zone chimie: fonctionnement et utilisation pratique"
- **Formation photolithographie :**
  - Fonctionnement de la zone et des consignes de sécurité.
  - Réalisation d'un procédé de photolithographie.
- **Formation plasma O2 :** Présentation et utilisation de 2 équipements de plasma O2.
- **Formation à la caractérisation :**
  - Vue d'ensemble sur les appareils, pour imager et mesurer les composants.
  - formation pratique sur profilomètre mécanique.

#### Les formations techniques non obligatoires

- Selon la nature et l'ampleur des travaux qui sont conduits en salle blanche un utilisateur peut être formé sur la plupart des techniques disponibles en salle blanche

#### Les formations théoriques :

Ces formations théoriques ont pour objectif de donner les éléments nécessaires à la compréhension de tous les aspects mis en jeu lors de la réalisation des composants en salle blanche. Leur déroulement est en plusieurs phases :

- **Phase 1 obligatoire:** module sur une demi-journée au cours de laquelle sera faite une présentation transversale (interzone) des technologies disponibles au sein de la plateforme. A l'issue de cette phase chacun devrait avoir une idée générale des techniques et procédés disponibles, et plus particulièrement de ceux qui les intéresseront pour la réalisation de leurs projets.

- **Phase 2 obligatoire** : modules de 1H30 où sont détaillés les aspects théoriques, procédés et équipements concernant des techniques particulières.
  1. Règles et outils pour la fabrication des masques optiques
  2. Lithographie optique
  3. Caractérisation
- **Phase 3 (optionnelle)** : 17 modules de 1H-1H30 où sont détaillés les aspects théoriques, procédés et équipements concernant les autres techniques disponibles en salle blanche

## Bilan

Type	Intitulé	Durée (h)	Nombre de sessions/an	Durée totale/an(h)	Nombre total de participants /an
<b>Formations donnant le droit d'accès en salle</b>	<b>Formation générale</b>	2	9	18	64
	<b>Formations pratiques obligatoires</b>	10	19	190	64
<b>Formations théoriques</b>	Présentation transversale des activités	2	1	2	64
	Obligatoires	4	1	4	61
	Optionnelles		15	21	237
<b>Formations pratiques</b>	Selon le besoin		248	504	481
<b>TOTAUX</b>			284	739	971

Ces actions de formation représentent un effort très important mais qui est essentiel pour la réussite des nouveaux utilisateurs de la salle blanche.

Nous avons mis en place une cellule formation dont l'objectif est d'améliorer encore la situation, de proposer de nouvelles voies pour valoriser tout ce travail vers d'autres publics.

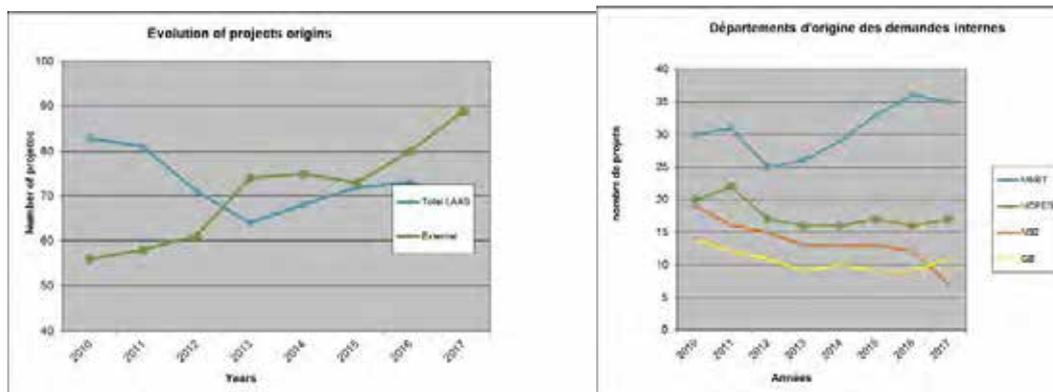
Une dernière piste de valorisation est l'édition d'un Cv pour chaque utilisateur qui quitte la salle blanche sur lequel apparaissent des éléments sur les compétences acquises.

## PROJETS SOUTENUS

### Renatech

L'ensemble des demandes exogènes sont gérées par la cellule Renatech du service TEAM. (cf. chapitre Cellule Renatech)

### Origine des demandes



La liste des projets internes est rassemblée en annexe 2.

- On note une reprise du nombre total des demandes traitées autour de 160/an (+10 en un an). Le nombre des projets internes étant début 2017 de 70.
- Ces projets sont très divers dans le volume d'activité qu'ils génèrent. De manière générale les projets internes sont plus conséquents que les demandes externes
- Au niveau des départements

- MNBT reste le plus gros demandeur avec toutefois une stabilisation de la demande.
- La baisse au niveau de NS2 ne fait que traduire le résultat des reconfigurations d'équipes au sein des départements.
- On note également une certaine dynamique dans le renouvellement des projets puisque 13 ont été clôturés et 10 nouveaux ouverts.

## DIVERS

### Domaines de savoir-faire technologiques

Les travaux conduits collectivement lors des ComTEAM précédentes ont permis la mise en place de quatre groupes de travail chargés d'animer des réflexions et lancer des actions autour de quatre domaines de savoir-faire technologiques identifiés au sein de la salle blanche

- Micro nano électronique
- Microsystèmes
- Optique/Photonique
- Bioélectronique, biosystèmes, biophysique ;

Chacun de ces groupes diffuse ces travaux à l'ensemble du laboratoire

### MyFab LIMS (Laboratory Information Management System)

- Une action a été conduite en 2017 au niveau du réseau Renatech pour le déploiement dans d'autres centrales (IEMN, FEMTO, C2N). Le LAAS étant le premier utilisateur joue un rôle de coordinateur dans cette action.
- Les versions futures de l'application devraient porter sur des modules
  - Procédés (sorte de cahier de laboratoire numérique)
  - Déclaration des demandes de projets (lien à faire avec l'application LIMS- RENATECH)
  - Fourniture (gestion des stocks)
- Une action forte doit porter dans les prochains mois et années sur une intégration forte entre les diverses applications disponibles ; à savoir MyFab, Renatech projet, diverses applications d'intérêt collectif développées dans les diverses centrales (Rich pour la gestion des produits chimiques au LAAS, demande de fabrication de masques à FEMTO, badgeage pour réservations machines à l'IEMN). Il est convenu dans le réseau que le LAAS doit fédérer les divers acteurs autour de cette action (Renatech et Chalmers). Trois volets sont prévus
  - Mise en place d'API pour permettre les échanges entre les bases de données existantes et MyFab pour éviter les multiples saisies des mêmes informations
  - Recensement des diverses applications « maisons » dans les centrales Renatech pour décider de la pertinence de
    - Les intégrer directement dans MyFab ou
    - De les relier via une API
  - Relancer nos partenaires suédois pour la mise en place effective de la communauté des utilisateurs de MyFab. Communauté qui décide des évolutions majeures de l'outil.

### Facturation auditable

2017 devait être l'occasion de valider de nouveaux tarifs avec notamment le passage à l'heure comme unique unité d'œuvre. Cette action aurait aussi permis de facturer via MyFab.

Les nouveaux tarifs n'ont pu être validés du fait d'une incompréhension dans les lignes budgétaires à utiliser et leur approvisionnement. Une réunion de travail entre le laboratoire et la DR14 ont permis de définir clairement les fonctionnements adaptés. Ils ont été mis en place en 2018.

Pour son fonctionnement la salle blanche se voit octroyer la ligne TGIR du FEI plus une partie des sommes encaissées au titre de la facturation interne ou externe. Ainsi toutes les dépenses se font sur des fonds dédiés à la salle blanche. De nouveaux tarifs devraient pouvoir être validés en 2020. Pas avant car les frais de maintenance pouvant être pris sur 3 ans il faut ce laps de temps pour que toutes les informations fournies soient conformes aux attendus de la facturation auditable.

Notons toutefois que 2017 a vu la validation de l'éligibilité de cette tarification par les financeurs principaux (ANE, Europe, Région, secteur privé).

## SOUTIEN

### ORGANISATION

#### Personnel

- Granier Hugues (IRHC) : responsable de zone
- Monique Dilhan (IRHC)
- Luque Vinciane (TCN)
- Caroline Uhlmann Malé : assistante administrative du service

#### Gestion des activités

Les activités apportent un soutien administratif et logistique à l'ensemble des acteurs impliqués dans la salle blanche. Elles visent à assurer la plus grande fluidité possible dans diverses procédures mises en place à la fois en interne par la plateforme ou par les tutelles.

La tendance est au développement de nouveaux outils numériques pour faciliter cette gestion, tout en gardant la volonté d'un contact direct avec tous les intervenants. Ces développements coexistent parfois avec les anciennes façons de procéder, ce qui peut entraîner de la complexité. L'effort sera donc maintenant porté dans le déploiement définitif des nouvelles solutions pour simplifier les actions conduites.

### BUDGET

Nous présentons le budget lié aux frais généraux de la salle blanche. Incluant donc à la fois les zones soutien et support.

Le montant de la ligne support et sécurité comprend divers contrats nécessaires à la salle blanche

- Licence MyFab lims
- Ménage salle blanche
- Tenues salle blanche
- Capteurs sécurité gaz
- Portes automatiques
- Réseau air sec

#### 2017

2017	Fourniture	Consommables	Maintenances	Support et sécurité
Montants En K€	25	73.208	31.656	154.597

#### 2018

2018	Fourniture	Consommables	Maintenances	Support et sécurité
Montants En K€	25	56	23	145.647

Les baisses prévues sont liées à la fermeture pendant 2.5 mois pour cause de travaux sur la CVC.

### ACTIVITES

#### Gestion des nouveaux arrivants (V. Luque)

64 personnes

Il s'agit d'accueillir toutes les personnes qui entrent en salle blanche pour qu'elles disposent de toutes les informations et de tous les moyens qui leur sont nécessaires pour pouvoir travailler.

Toute la procédure est maintenant dématérialisée et disponible sur le nouvel intranet du service

<https://www.laas.fr/plateformes/centrale-micro-nano/fr/acc%C3%A9der-%C3%A0-la-centrale-de-technologies>.

De plus nous avons édité un livret d'accueil sur le modèle du livret du laboratoire. Ce livret est distribué par le service du personnel à tout nouvel arrivant du laboratoire qui va travailler en salle blanche.

A l'issue de ces formations la responsabilité personnelle des nouveaux arrivants peut être engagée car ils ont reçu toutes les informations sur les procédures à suivre.

### **Consommables du stock de la salle blanche (V. Luque)**

**200 références**

Le stock des consommables représente près de 200 références. Il faut constamment veiller à ce que celui-ci soit à jour et anticiper les demandes en période de forte affluence (ex : Surchausses), tenir compte des délais fournisseur. Cette année, un catalogue numérique permet au demandeur d'envoyer sa demande de fournitures par mail. Ensuite, ses articles sont mis à disposition dans le SAS de la salle blanche.

Cette procédure n'est pas encore assez utilisée.

### **Tenues salle blanche (V. Luque)**

**490 tenues**

Les tenues de salle blanche sont nettoyées par une société extérieure. Il convient de préparer chaque semaine le lot des tenues à décontaminer, de vérifier l'état de celles-ci et si besoin, de les faire réparer.

Tous les 3 ans, un appel d'offre est réalisé pour le contrat de nettoyage des tenues.

Le SAS est approvisionné chaque jour en gants, surchausses, charlottes et essuyeurs.

L'état de propreté du SAS est également vérifié quotidiennement.

### **Fiches de process (M. Dilhan)**

**124 fiches**

Les fiches de process sont un élément essentiel de la procédure de facturation. De plus elles constituent une sorte de cahier de laboratoire simplifié qui doit permettre le cas échéant de retracer l'origine d'un problème, ou de formaliser un processus réalisé avec succès

La séquence de gestion des fiches de process est la suivante :

- réception par e-mail de la demande de fiche faite à l'adresse <https://www.laas.fr/formulaires/ficheprocede>.
- Attribution d'un numéro chronologique par équipe
- Création de la fiche dans le répertoire partagé \\PONGO\Fiches\_Process\_Numeriques : remplissage de la partie administrative après avoir vérifié l'exactitude des renseignements fournis, et enfin e-mail pour informer les personnes que la fiche est accessible.

### **Facturation auditable (M. Dilhan)**

**71 factures internes et 47 factures externes**

La facturation auditable permet la justification financière des financements obtenus par les chercheurs. Elle est maintenant pleinement dans les règlements des organismes financeurs. Même les appels européens l'acceptent depuis 2017.

La séquence de gestion de la facturation au niveau de la zone soutien est la suivante :

- Chaque étape ou opération réalisée en salle blanche est codifiée, ces étapes et codes sont reportés sur la fiche process
- La facturation intervient soit
  - À la demande du responsable du projet
  - Soit à la demande du service TEAM :
- Nous récupérons la fiche sur \\PONGO\Fiches\_Process\_Numeriques, après s'être assuré qu'elle corresponde bien à la fiche qu'utilise la personne et la stockons pour justification ultérieure.
- Nous reportons toutes les informations de la fiche dans un fichier Excel comportant une macro qui permet d'éditer le courrier facturation.
- Ce courrier est envoyé au responsable d'équipe pour validation. A réception de son accord, ou sans accord après 8 jours, la facturation est éditée et amenée au service gestion financière.
- Toutes ces étapes sont enregistrées sur un tableau de suivi.
- Une facturation implique des contacts avec le possesseur de la fiche, son responsable, le coordinateur TEAM, les responsables de zones en salle et enfin le service gestion

Pour 2017 les sommes en facturation interne ont été de 354 k€ et de 297 k€ pour la facturation externe (hors salaires et environnement des salaires de personnes hébergées)

Les nouveaux tarifs n'ont pu être validés fin 2017 du fait d'une incompréhension dans les lignes budgétaires à utiliser et leur approvisionnement. Une réunion de travail entre le laboratoire et la DR14 ont permis de définir clairement les fonctionnements adaptés. Ils ont été mis en place en 2018.

Pour son fonctionnement la salle blanche se voit octroyer la ligne TGIR du FEI plus une partie des sommes encaissées au titre de la facturation interne ou externe. Ainsi toutes les dépenses se font sur des fonds dédiés à la salle blanche. L'expertise du service gestion est extrêmement précieuse dans l'ensemble de ce processus

### **Demandes d'achats (C. Uhlmann)**

**339 demandes**

C. Uhlmann gère toutes les pré-saisies de demandes d'achat. Depuis le début 2018 elle peut après accord de la gestion valider ces demandes d'achat

Cela permet à la fois de désengorger le service gestion sur ces actions, aux membres du service TEAM d'avoir un suivi « personnalisé » des commandes ; et assure une bien meilleure fluidité du processus

De plus cette pré-saisie est un élément de la procédure de facturation auditable car elle permet de préparer un nouvel audit des tarifs, et de suivre d'éventuelles dérives de ces tarifs au cours du temps.

Les membres du service peuvent ensuite solliciter C. Uhlmann pour connaître la situation administrative de leur demande d'achat.

Enfin une nouvelle évolution importante est en cours de mise en place. Le suivi des non conformités de paiement.

### **Communication du service (V. Luque)**

Un site intranet dédié au service TEAM est alimenté et mis à jour régulièrement. Ceci permet aux nouveaux arrivants de pouvoir suivre la procédure d'accueil de A à Z et facilite leurs démarches tout au long de leur séjour. On y retrouve notamment toutes les procédures d'accès à la plateforme, des informations essentielles sur le service TEAM ainsi que des rapports techniques.

### **Heures soleil (C. Uhlmann, V. Luque)**

Sous ce nom se cache l'organisation du nettoyage /approvisionnement collectif effectué tous les vendredis à 15h30 en salle blanche.

La séquence est la suivante :

- Planification trimestrielle de la liste des intervenants
- Diffusion hebdomadaire d'un message de rappel aux personnes concernées
- Mise en place des procédures écrites à l'entrée de la salle blanche.
- Gestion des éventuelles absences des personnes sollicitées.

## **SYNTHESE**

L'activité de soutien est essentielle au bon fonctionnement de la structure.

Les personnes impliquées permettent d'assurer la continuité des opérations quotidiennes et déchargent d'autant leurs collègues.

La mise en place des procédures de formation, de facturation, de gestion des stocks sont absolument nécessaires du fait de l'ampleur du nombre de personnes entrant en salle blanche et du volume d'activité.

La nouvelle organisation envisagée par la direction (mise en place d'assistants aux responsables de services en lieu et place des secrétaires) nous apparaît comme une bonne solution à priori car elle permettra de mieux répartir l'ensemble des tâches à assumer.

Début 2017 C. Fourcade a quitté le service. Nous avons travaillé à répartir au sein du service les diverses fonctions qu'elle assurait. Cette solution n'est possible que par l'apport très important de Caroline Uhlmann, assistante de gestion administrative contractuelle, qui non seulement a fait sienne la très grande majorité des procédures développées mais est moteur dans nombre des évolutions liées aux flux financiers (commandes et leurs justifications). Il est donc d'une importance primordiale de pérenniser ce poste dans les meilleurs délais.

## SUPPORT

### EQUIPEMENTS ET INFRASTRUCTURE

<b>Traitement d'air :</b>	<b>5 centrales d'air neuf équipées de deux humidificateurs 4 extracteurs 126 FFU avec système de pilotage</b>
<b>Production eau déionisée :</b>	Prétraitement : adoucisseur, charbon actif, osmoseur Traitement : résine lit mélangé, "UV", filtration 0,22µm Régulation T° de la boucle eau DI Pompe de circulation
<b>Centrale eau de refroidissement : Réseau général</b>	Pompe de circulation 16M3/h -- 3Bars Echangeur eau glacée T° entrée 8°C sortie 15°C Filtration 3µm Régulation automatique 18°C – 22°C
<b>Centrale eau de refroidissement : Réseau dédié à la zone "four"</b>	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
<b>Réseau gaz purs :</b>	Une trentaine de gaz différents : Hydrogène, azote hydrogéné, argon, oxygène, ammoniac, silane, disilane, dichlorosilane, hélium..... etc. Centrales Gaz
<b>Système sécurité gaz :</b>	Capteur : zone four gaz dangereux, MBE seuil O2 Scrubber PC commande
<b>Centrale vide :</b>	une pompe en service + une pompe en réserve pour intervention maintenance
<b>Contrôle qualité :</b>	Appareil de mesure particulaire Anémomètre à fils chaud
<b>Traitement rejets liquides</b>	Station traitement des effluents liquides. (neutralisation)
<b>Station traitement Air Sec</b>	Unité de filtration air sec installation générale. Sous station production air sec "Stepper "
<b>Sécurité</b>	Douches de sécurité, gestion stock gaz
<b>Azote liquide</b>	Tanker azote liquide et tanker azote gazeux

### Maintenances significatives

#### 2017

- Maintenances préventives et curatives de tous les réseaux de l'infrastructure.

#### 2018

- Maintenances préventives et curatives de tous les réseaux de l'infrastructure.
- A priori, sauf panne, pas de maintenance de grande envergure autre que les maintenances « classiques » qui nécessitent des fermetures de quelques heures de la salle blanche.

### Evolutions significatives

#### Installation Machines :

- PVD Thermie
- PVD nano
- Hottes de chimie
- Spectrophotomètre
- Profilomètre
- Analyseur DSC

## Infrastructure

Nous travaillons avec le service « affaires immobilières et logistique » de la Délégation Régionale sur la réalisation de travaux permettant

- La rénovation du système de pilotage pour assurer la pérennité du fonctionnement de la salle blanche.
- L'optimisation énergétique tout en maintenant identique le niveau de sécurité pour les utilisateurs, les infrastructures et équipements ; et aussi la qualité de l'environnement.

Pour cela les travaux porteront sur 4 aspects

- Rénovation du système de traitement d'air
- Installation d'un système centralisé de supervision (type GTC)
- Installations d'équipements de récupération d'énergie
- Installations de registres de modulation des extractions

Les travaux vont se dérouler en deux phases en 2018 et 2019, mais l'année 2017 a vu le choix de l'entreprise et les premières réunions préparatoires au chantier (plus de 600 k€ de travaux)

## Prospectives

### Photolithographie

- Installation de l'aligneur MA6 Gen 4.
- Enlèvement du stepper Ultratech non utilisé
- Déplacement du spray coater depuis la zone de jet d'encre
- Déplacement de la MJB 3 AsGa vers la zone nanolithographies
- Réaménagement des hottes pour amélioration des flux d'air.

### Lithographie laser

- En salle Jet d'encre
  - Installation de la stéréo lithographie 3D Haute Résolution
  - Déplacement depuis la salle lithographie laser de la stéréo lithographie 3D
  - Déplacement depuis la salle lithographie laser du nanoscribe

### Chimie

- Hottes de chimie : Poursuite des travaux d'amélioration des casquettes sur les anciennes hottes de chimie
- Remplacement de la hotte RCA 4'' par une hotte nettoyages multi bains

### Jet d'encre

- Installation de la machine multi buses

### Caractérisation

- Enlèvement de l'équipement TXRF non utilisé

### Fours

- Installation du bâti PECVD rénové
- Déplacement du four AlOx

## Sécurité

- Etude pratique et déploiement des actions qui seront préparées en accord avec la cellule sécurité.

## Infrastructure

Préparation et suivi du chantier de rénovation du système de traitement. Ce chantier entrainera 10 semaines de fermeture de mi-août 2018 à novembre 2018 et de nouveau de mi-août 2019 à octobre 2019.

## ORGANISATION

### Personnel

- Granier Hugues (IRHC) : responsable de zone
- Do Conto Thierry (AI)
- Maiorano Antoine (AI)
- Bouscayrol Laurent (AI)

### Gestion des activités

Les activités apportent un support logistique et technique dans la gestion de l'infrastructure. Il s'agit de gérer tous les intervenants externes nécessaires au fonctionnement des réseaux divers et des organes de sécurité. Une part importante de l'activité porte également sur la préparation de l'installation des équipements. Quand une machine arrive tout doit être prêt pour son démarrage immédiat. Enfin la zone assure le suivi d'un certain nombre de contrats avec les prestataires extérieurs (ménage, capteurs de sécurité, air sec, portes automatiques, location bouteilles et achat gaz process)

- Les sollicitations sont multiples à la fois dans leur envergure, leur nombre et leur origine. Un outil informatique de suivi des demandes similaire à celui utilisé par sysadmin a été mis en place en 2016. Il peut être utilisé par le personnel du service TEAM pour enregistrer une demande d'intervention des personnels de la zone support.
- Les personnels peuvent aussi être sollicités par d'autres plateformes du laboratoire pour des actions ponctuelles dans le suivi des infrastructures ou l'installation d'équipements.
- Il existe des relations étroites avec le service logistique du laboratoire dans
  - La gestion de l'infrastructure, plus particulièrement sur le traitement d'air
  - L'installation des équipements, plus particulièrement sur les aspects électriques.

### Calibrations / validations des infrastructures.

Objectif	Nature de l'action conduite	Fréquence
Suivi contamination particulaire	Mesure particulaire	2 fois/an (janvier/juin)
Sécurité des opérateurs	Mesures extraction débits hottes et machines	1 fois par an (février)
Sécurité des opérateurs	Mesure COV stock chimie	2 fois par an (janvier, juin)
Suivi pureté eau DI	Analyse de l'eau	Tous les 2 ans
Sécurité des opérateurs	Contrôle et changement capteurs de détection des gaz	2 fois par an
Suivi contamination	Contrôle ménage salle blanche	1 fois par mois

## BUDGET

Comme ils sont intimement liés les éléments budgétaires sont évoqués dans le bilan de la zone soutien.

## SYNTHESE

### Activités :

Cette année encore cette zone est en forte activité.

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.

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.

Les actions liées à la sécurité sont une priorité dès qu'elles sont identifiées et les solutions élaborées. La mise en place de la cellule sécurité au sein du service devrait ajouter à cette réactivité et à l'anticipation des éventuels problèmes.

### Infrastructure

Le chantier de rénovation du système de traitement d'air est considéré comme une priorité.

## LITHOGRAPHIE LASER

### EQUIPEMENTS

#### Liste

Nom	Libre service	Année d'achat	Valeur d'achat (k€)	n° inventaire	Référence dans LIMS	Priorité
<b>Heidelberg DWL 200</b>	Non	2004	858	7581_W	L1	0
<b>Hamatech HMP 90</b>	Non	2007	90	8773_CV	L6	1
<b>Nanoscribe PP</b>	Non	2013	468.2	0773_PO	L4	0
<b>Kloe Dilase 750</b>	Non	2013	626	10759_CV	L2	0
<b>Kloe Dilase 3D</b>	Non	2013	105	10759_CV	L5	0
<b>Paillasse PTS</b>	Non	2016	16	11970_HA.23	L7	1

#### Maintenances significatives

##### 2017

Hamatech HMP 90 : Changement d'une carte électronique détruite par l'explosion d'un condensateur et remplacement de filtres dans l'équipement. Certaines pièces détachées ne sont plus fabriquées et peu disponibles. Cet équipement vieillissant n'est plus fabriqué depuis 1995.

DWL 200 : Remplacement du laser à gaz HeCad 432 nm par un laser à diode 405 nm. Ce type de laser a engendré un problème de maintien de l'alignement du faisceau nécessitant une intervention du fabricant dans le cadre de la garantie.

Les actions de maintenance de la zone représentent environ 15% de l'activité.

##### 2018

Le laser pulsé du Nanoscribe a été très sollicité durant 5 ans. Si son état se dégrade très rapidement son changement en partie ou total coûtera entre 20 et 50 keuros.

L'interféromètre laser de l'équipement DWL 200 devra être remplacé. Le coût est 8.5 keuros.

#### Evolutions significatives

Upgrade de l'équipement DWL 200 par l'installation d'un laser à diode 405 nm et les éléments optiques adaptés pour réduire la fréquence de changement du laser et structurer des nouvelles résines par l'écriture directe sur substrats.

Evolution du logiciel de commande de la Dilase 750 pour la commutation automatique les lignes optiques.

Installation d'une nouvelle paillasse de chimie pour le développement des résines et le nettoyage des masques.

#### Prospectives

##### Hamatech HMP 90 (200 k€)

Equipement vieillissant qui devra être remplacé par une machine plus récente pour assurer la fabrication de masques au réseau RENATECH.

##### Dilase 3D multi-résolution Kloé (120 k€)

Dans le cadre du projet MultiFAB, un nouvel équipement Dilase 3D avec deux tailles de faisceau sera installé en salle blanche.

##### Paillasse de chimie pour délaquage des masques et réticules (19 k€)

Intégration d'un bac de rinçage et un bac chauffé pour un mélange piranha adaptés aux formats des masques et réticules optiques.

## ORGANISATION

### Personnel

- Pierre-François Calmon (IR1) : responsable de zone
- Vinciane Luque (TCN)
- Lucie Séveno (Apprentie Ingénieur jusqu'en aout 2017)
- David Colin (AI 50 %)
- Rémi Courson (IR contractuel)

### Gestion des activités

La zone lithographie laser regroupe trois activités :

- La fabrication de masques et de réticules optiques,
- La fabrication de structures 2D et 3D,
- La fonctionnalisation de surfaces par laser.

V Luque réceptionne et crée des dessins puis programme l'équipement d'écriture laser pour la fabrication des masques.

PF Calmon traite plus particulièrement la fabrication des réticules et le développement de nouveaux procédés.

D Colin apporte un soutien aux actions de chimie et la commande du masqueur pour la fabrication des masques.

L Séveno a participé à des nouveaux développements avec l'équipement Nanoscribe.

R Courson traite plus particulièrement le développement de procédés pour la fonctionnalisation de surface et la structuration 2.5D ou 3D.

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 archivée 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.

### Calibrations / validations des équipements et procédés.

#### Existantes

Objectif	Nature de l'action conduite	Fréquence
Calibration DWL 200	Ecritures motifs critiques au bord des masques Mesures et observations	3 fois par semestre
Alignement laser DWL 200	Alignement du laser Réglage machine	1 fois tous les 2 ans

#### Qui vont être mises en place

Objectif	Nature de l'action conduite	Fréquence
Calibration Dilase 750	Ecritures motifs critiques Mesures et observation	3 fois par semestre

## BUDGET

### Exécuté l'année passée

**2017**      **Fourniture**   **Consommables**   **Maintenances**   **Support**   **Sécurité**

<b>Montants En K€</b>	15	3	75	1	1
---------------------------	----	---	----	---	---

### Prévisionnel année à venir

2018	Fourniture	Consommables	Maintenances	Support	Sécurité
<b>Montants En K€</b>	15	3	65	1	1

Un budget de maintenance de 20 keuros était utilisé tous les 24 mois pour le changement du laser HeCad de l'équipement DWL 200. L'installation d'un laser à diode avec la mécanique et de nouveaux éléments d'optique a nécessité un budget de 40 keuros. Puis le changement d'un laser à diode tous les 10 ans nécessitera un budget de 20 keuros. Il paraissait donc très intéressant financièrement de mener cette opération dans le cadre du budget 2017. En 2018, 40 keuros de frais de maintenance sont à prévoir si le laser du Nanoscribe s'éteint définitivement.

## FORMATIONS

### Formations assurées

Type	Intitulé	Durée (h)	Nombre de sessions/an	Durée totale/an(h)	Nombre total de participants /an
<b>Cours TEAM</b>	<b>Règles de dessin pour la fabrication des masques Lithographie laser</b>	2x 1h30	1	3h	40
<b>Formation pratique</b>	<b>Logiciel CleWin5 Dilase 750 DWL 200 PP Nanoscribe</b>	25h	A la demande	60h	40
<b>TOTAUX</b>				63h	80

Un nouveau cours TEAM sur les techniques de lithographie laser a été dispensé en 2017.

### Compétences acquises

Type	Intitulé	Durée (h)	Nombre de sessions/an	Durée totale/an(h)	Nombre total de participants /an
<b>Technique</b>	<b>Logiciel CleWin5 DWL 200 Dilase 750 PP Nanoscribe</b>	40h	1	40h	4

Les nouvelles compétences acquises permettent de licencier de nouveaux utilisateurs

### Besoins

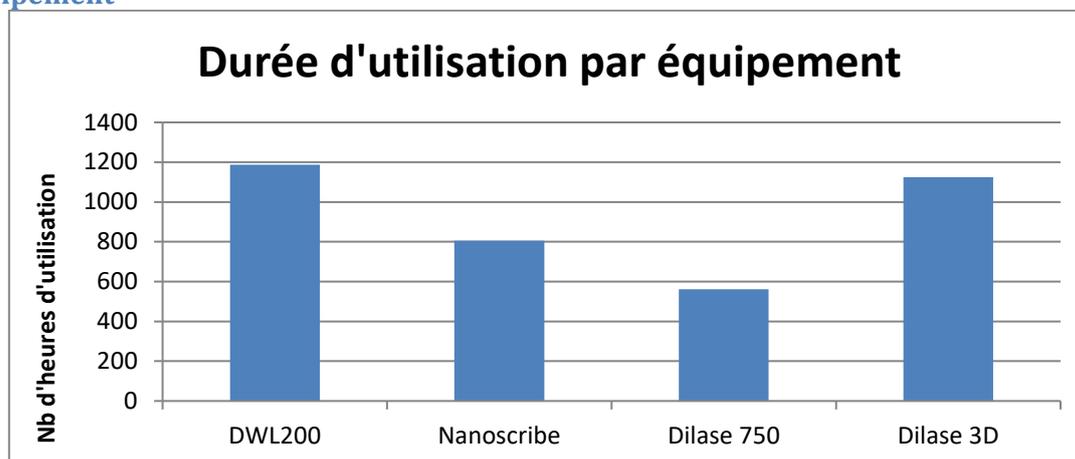
Type	Intitulé	Durée (h)	Nombre de sessions/an	Durée totale/an(h)	Nombre total de participants /an
<b>Technique</b>	<b>Bases de l'optique Procédés laser et applications</b>	80h	1	80h	3

**Dilase 750  
Mesures au confocal**

Ces formations permettront aux nouveaux utilisateurs de mieux appréhender les principes de fonctionnement des équipements et assurer le suivi des réalisations.

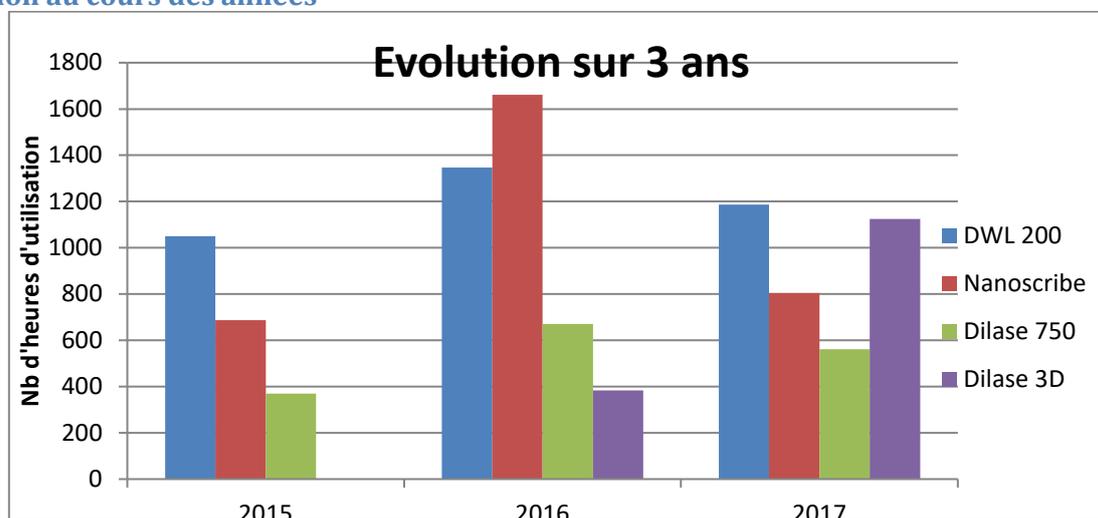
**BILAN**

**Par équipement**



La fabrication des masques ou réticules pour des projets exogènes Renatech continue de croître. Le volume de masques ou réticules destiné aux projets exogènes Renatech était de 25 % en 2015, 33% en 2016, 41 % en 2017 et 50% au 2ème semestre 2017.

**Evolution au cours des années**



Le volume de masques ou réticules fabriqués lors des 3 dernières années reste stable même si la demande exogène Renatech croit chaque année.

**EVOLUTIONS DE PROCEDES**

**Conduits cette année**

**Amélioration des performances de l'équipement DWL200**

Le nouveau laser 405 nm à diode permet d'améliorer la résolution des écritures avec l'équipement DWL 200 : réalisation de réseaux de lignes de 600 nm (figure 1). Ces réseaux sont visibles avec le confocal sur le bord des masques et nous servent à qualifier le procédé de fabrication (figure 2).

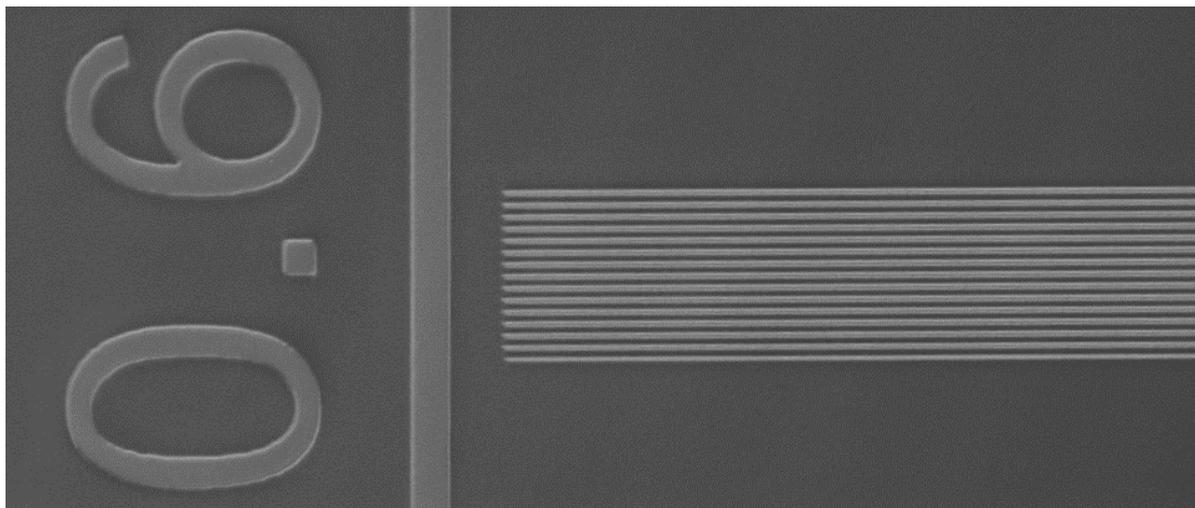


Figure 1 : Lignes de 600 nm

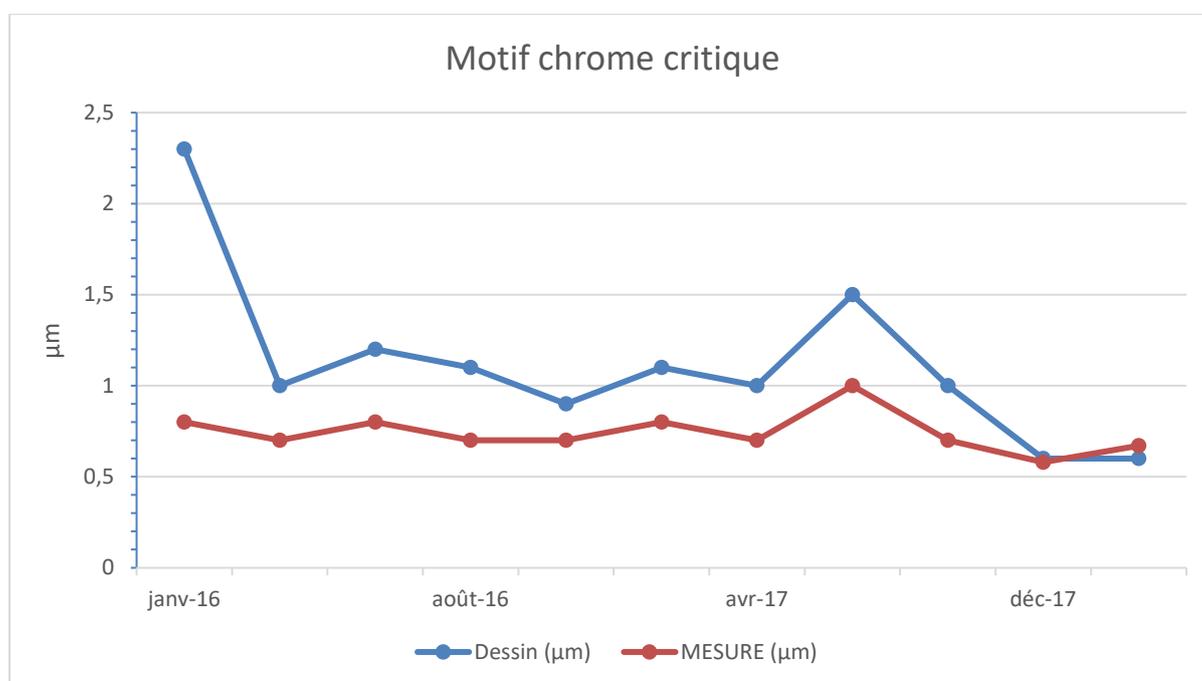


Figure 2 : Suivi des motifs critiques depuis 2 ans

### Commutation automatique des lignes laser dans l'équipement D750

La dernière mise à jour du logiciel de commande de la Dilase 750 permet une détection automatique de la position XY de l'impact des spots laser sur les substrats. Ces positions détectées pour toutes les combinaisons types de lasers – tailles de spots génèrent des valeurs d'offsets relatives à une référence (figure 3). Ces valeurs sont utiles pour l'alignement et permettent de séquencer automatiquement des écritures avec différentes combinaisons types de lasers – tailles de spots.



Figure 3 : Détection automatique des spots lasers

### Lithographie à niveaux de gris - Dilase 750

Au travers d'un projet interne porté par Pierre Joseph (thèse de A. Naillon), un procédé de micro/nanostructuration en niveau de gris dans une résine positive ECI de  $1.1\ \mu\text{m}$  d'épaisseur a été développé sur l'équipement Dilase 750 (Equipex LEAF). L'idée est ici de reproduire un milieu poreux. Pour cela, par ajustement spatial de l'énergie laser nous avons démontré la faisabilité de fabriquer des microcanaux à profondeur variable. Pour ce faire, nous avons dans un premier temps, modifié la température et la durée de recuit de la résine ECI avant insolation. En effet, le fait d'augmenter la température et la durée du recuit pré-insolation permet de diminuer la vitesse de dissolution de la résine ECI pendant l'étape de développement. Par la suite, nous avons optimisé les paramètres d'écriture laser (énergie et vitesse d'écriture) pour atteindre un intervalle de profondeurs insolées dans la résine photosensible variant de  $50\ \text{nm}$  à  $1,1\ \mu\text{m}$  avec un pas de  $50\ \text{nm}$ . La figure 4 montre l'exemple d'un réseau de microcanaux de  $20\ \mu\text{m}$  de large et de profondeurs comprises entre  $100$  et  $600\ \text{nm}$ .

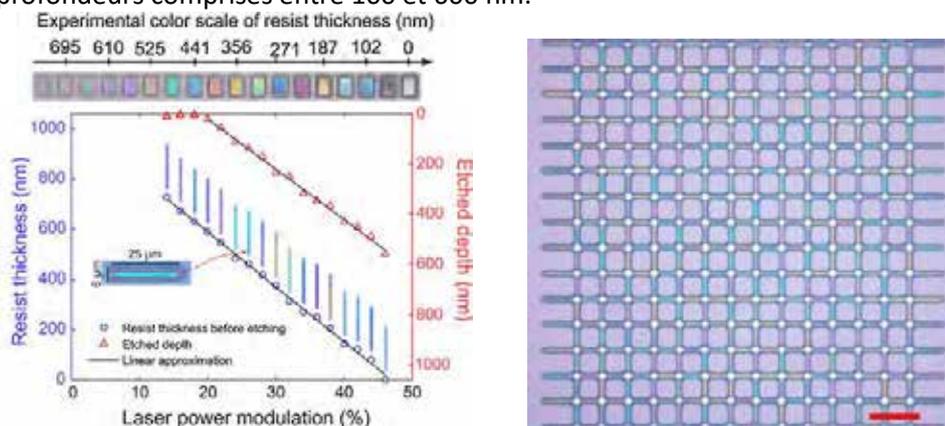


Figure 4 : Lithographie à niveaux de gris dans une résine positive ECI  $1.1\ \mu\text{m}$ , par écriture direct (Dilase 750, Equipex LEAF). Reproduction des images de l'article de A. Naillon et al., *Quasi-static drainage in a network of nanoslits of non-uniform depth designed by grayscale laser lithography*, *Microfluid Nanofluid* (2017) 21:131

Ce procédé innovant est plus largement décrit dans l'article de A. Naillon et al., *Microfluid Nanofluid* (2017) 21:131. Après fiabilisation et communication sur cette technologie, celle-ci a été mise en œuvre dans le cadre d'un projet exogène et d'un projet interne porté par Aurélien Bancaud. Dans ces derniers cas, des microcanaux plus complexes à largeur et profondeur variables ont été réalisés. La figure 5 en montre un exemple.

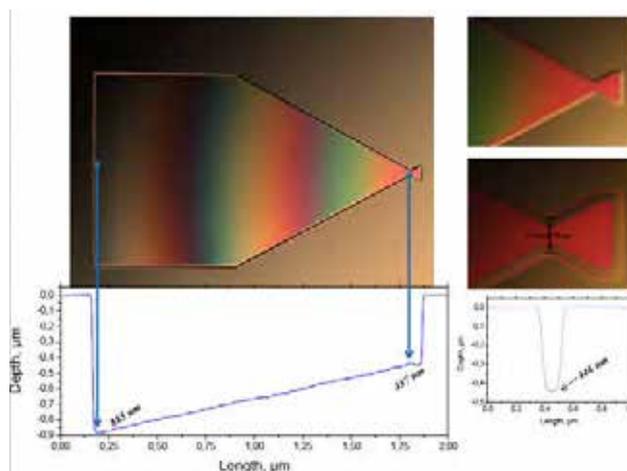


Figure 5 : exemple de microcanaux à largeur et profondeur variables (Images de Inga Tijunelyte et Jeffrey Teillet).

### Fabrication additive - Nanoscribe

Angelo Accardo a fiabilisé son procédé de réalisation de support 3D pour la culture cellulaire de cellule neuronale. Les paramètres de slicing (découpe en z) et de hatching (pas entre deux trajectoires laser dans le plan xy) ont été optimisés. Ses travaux ont donné lieu à une publication dans la revue Small (référence en légende de la Figure 6).

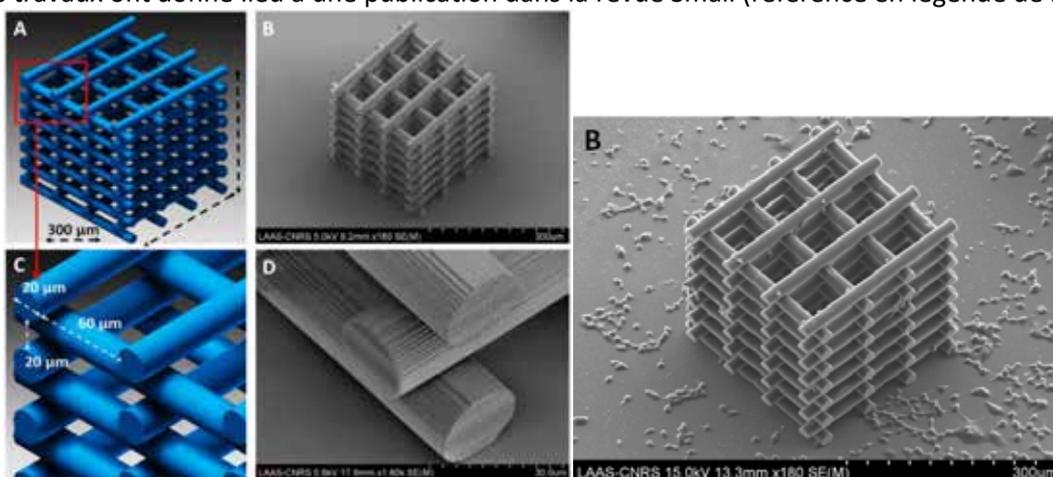


Figure 6 : Microfabrication de support 3D pour l'étude de la culture de cellules neuronales.

Reproduction des images de l'article de A. Accardo et al., *Multiphoton Direct Laser Writing and 3D Imaging of Polymeric Freestanding Architectures for Cell Colonization*, *Small*, (2017) 1700621

Ces supports 3D ont été réalisés dans de l'IPDIP (résine photosensible du fournisseur Nanoscribe). Cependant, la fluorescence de ce matériau limite beaucoup la caractérisation à l'intérieur des supports. Une autre résine photosensible à base de PEGDA (Polyéthylène Glycol DiAcrylate) est actuellement à l'étude. En effet, le très bas niveau de fluorescence de ce matériau permettrait d'imager les cellules neuronales présentes à l'intérieur du support 3D.

### Dilase 3D (D3D)

- Réalisation d'épithélium intestinal :

Dans le cadre d'une collaboration (thèse de J. Creff) entre le LAAS (L. Malaquin), l'Institut Curie (J.L. Viovy), le CRCT (A. Besson) et le CPTP Purpan (A. Ferrand), des structures à fort rapport d'aspect, mimant la paroi intestinale, ont pu être fabriquées (figure 7).

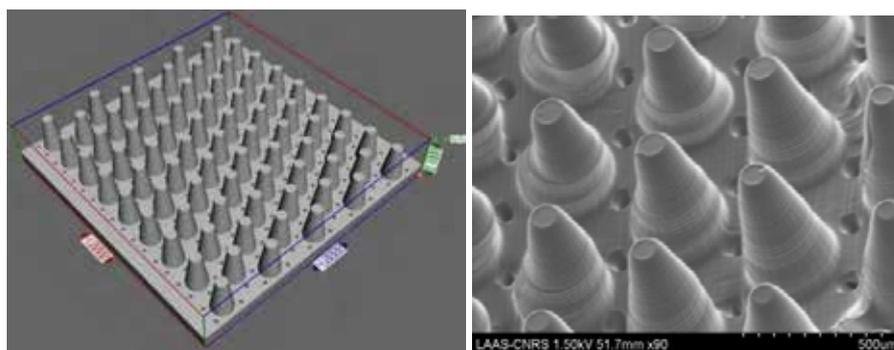


Figure 7 : à gauche, fichier .stl réalisé à l'aide d'un logiciel de CAO et à droite, épithélium intestinal imprimé à la Dilase 3D.

Le but est ici de reproduire ou plutôt d'imprimer de l'épithélium intestinal. Celui-ci est composé de deux parties : des cryptes (50µm de diamètre par 200µm de haut) et des villosités (500 µm de hauteur avec une base de 300µm de diamètre et 150µm de diamètre sur le haut de la structure). La dimension totale de la structure est de 4x4x0.7 mm. Une résine photosensible développée dans l'équipe ELIA a été utilisée pour la fabrication de ces microstructures. Cette dernière est biocompatible et se compose de produit favorisant l'adhésion cellulaire. La Figure 8 montre une caractérisation au microscope bi photonique d'un épithélium intestinal réalisé à la Dilase 3D après 4 jours de culture cellulaire (cellules Caco2). Le tapis cellulaire est continu signifiant que les cellules ont colonisé la totalité de la structure.

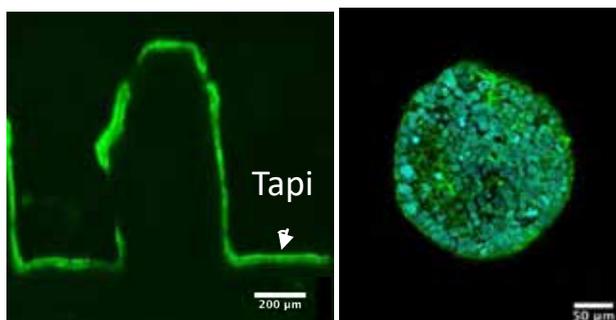


Figure 8 : à gauche, image en coupe au microscope bi photonique d'une villosité et à droite, image vue de dessus du haut d'une villosité.

- Fabrication de bioplumes polymères :

Les bioplumes historiquement fabriquées au LAAS sont en technologie silicium. Cela nécessite plusieurs niveaux de masques et un temps de fabrication ainsi qu'un coût non négligeable. De plus, il est difficile de changer de géométrie de plume car cela nécessite de fabriquer de nouveaux masques. Dans le cadre d'une collaboration entre l'équipe ELIA (L. Malaquin) et MEMS (T. Leichle), nous avons étudié la faisabilité de réaliser ces structures par impression 3D par utilisation de la Dilase 3D. La figure 9 présente une bioplume dessinée grâce au logiciel de CAO 3D Freecad (génération d'un fichier stl) et la bioplume polymère réalisée à la D3D.

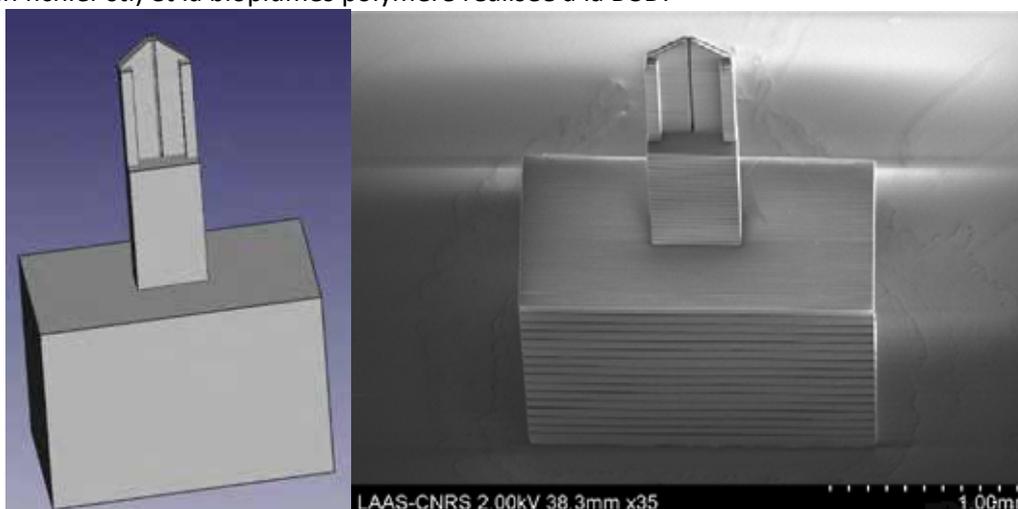


Figure 9 : à gauche, fichier .stl réalisé à l'aide d'un logiciel de CAO et à droite, la bioplume correspondante fabriquée à la D3D.

Nous voyons que nous avons une très bonne adéquation entre le fichier stl et la structure imprimée. La résolution permet également de reproduire parfaitement le canal microfluidique centrale faisant 20 $\mu$ m de large. Il est donc tout à fait possible de réaliser des bioplumes par impression 3D à des résolutions proches de celles fabriquées en silicium.

- **Réalisation de structures 3D complexes :**

Afin de montrer le potentiel de l'équipement Dilase 3D (Equipex LEAF), des structures 3D complexes ont été réalisées. Le but est ici de démontrer la faisabilité de réaliser des structures suspendues de grandes dimensions incluant des zones de résolutions micrométriques (Figure 10). Le temple grec permet de montrer la faisabilité de réaliser des structures dites « suspendues » malgré la forte profondeur de champ de l'équipement. Tandis que le Gyroid illustre le fait de pouvoir réaliser des structures millimétriques très complexes nécessitant une résolution micrométrique sur certaines parties du design.

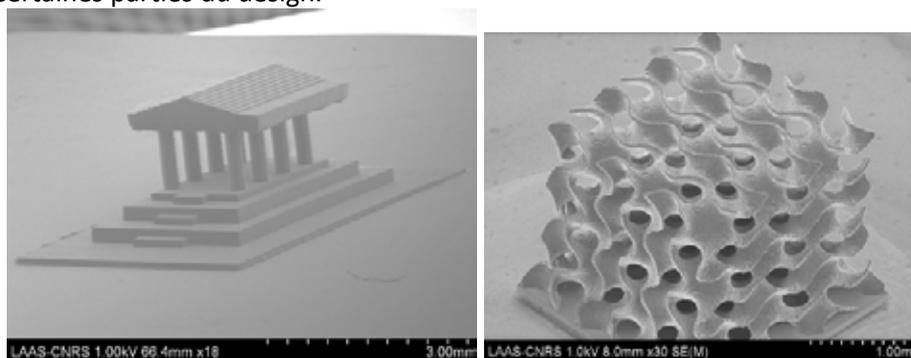


Figure 10 : exemples de structures 3D complexes réalisées à l'aide de la Dilase 3D (Equipex LEAF). A gauche, une structure type temple grec et à droite un Gyroid.

## A conduire

### Fonctionnalisation de surfaces de couches polymères avec l'équipement D750

Des expériences seront menées pour valider un procédé de fonctionnalisation par écriture laser à 266 nm pour favoriser des dépôts électroless.

### Écriture de la résine Nlof avec l'équipement DWL200

L'insolation de la résine Nlof avec le nouveau laser de l'équipement DWL200 permettra la réalisation de lift-off par écriture directe avec cette équipement.

### Écriture de la résine AZ 4999 avec l'équipement D750 pour la gravure plasma

Structuration par écriture laser de résines de masquage déposées par spray pour des gravures profondes successives.

## SYNTHESE

### Fabrication des masques et réticules

Nous sommes de plus en plus sollicités pour la fabrication de masques 7 pouces et réticules 6 pouces. Les équipements d'écriture laser, développement résine et attaque chrome sont adaptés pour les plaques 6 et 7 pouces. Une paillasse équipée d'un bain piranha chauffé + bac de rinçage pour le nettoyage résine des masques et réticules sera installée en 2018. Actuellement cette opération finale pour la fabrication des masques 7 pouces et réticules 6 pouces est difficilement réalisable avec nos moyens.

### Lithographie 3D

L'ensemble des moyens de lithographie par lasers réunit au LAAS est unique en milieu académique. Cet ensemble est constitué de 4 types d'équipements lasers complémentaires permettant d'exploiter différentes techniques pour la structuration de matériaux en 2D et 3D. Dans le cadre du projet MultiFAB de nouveaux équipements laser vont prochainement compléter ces moyens pour accroître les possibilités de structuration d'une échelle submicronique à centimétrique pour une plus grande variété de matériaux.

## NANOLITHOGRAPHIES

### EQUIPEMENTS

#### Liste

Nom	Libre service	Année d'achat	Valeur d'achat (k€)	n° inventaire	Référence dans LIMS	Priorité
Masqueur RAITH150	Oui	2005	907	7563_W	N1	0
Plateforme antivibratoire	-	2007	29	9760_CW	-	0
NANONEX NX2500	Oui	2010	269	9931_PO	N2	0
Système de démoulage	Oui	2010	16			
Supports d'alignement	Oui	2010	14			
Pistolet ionisant	Oui	2010	1			
Tournette	Oui	2013	4.2			
Plaque chauffante	Oui	2013	1.5	11971_HA.23	N3	0
Hotte solvant classe 10	Oui	2016	25.6			
Pistolet ionisant	Oui	2016	1			

#### Maintenances significatives

##### Année passée

- Masqueur électronique RAITH150 :
  - Réparation de la pompe primaire
  - Changement du boîtier de contrôle de la pompe turbomoléculaire du masqueur
  - Changement de la pompe turbomoléculaire du masqueur

##### Année à venir

- Masqueur électronique RAITH150 :
  - Mise en service des modules d'insolation en continu TRAXX et PERIODIXX (mars 2018)
  - Changement interféromètre LASER du masqueur électronique (possible) : le LASER a une durée de vie de 3-5 ans (l'actuel a 8 ans) et devra être changé en cas de panne.
- NANONEX :
  - Étude de l'amélioration de la fiabilité de la mesure de température
  - Réparation du système d'éclairage de l'alignement
  - Maintenance du surpresseur (difficultés à trouver une entreprise raisonnable en termes de prix et de délais)
  - Afin de diminuer le bruit dans la salle Nanolithographies au moment de la descente du piston, de minimiser les mouvements d'air pour maintenir la classe 10, il faut prolonger l'évacuation des deux lignes d'azote (pilotage des vérins et évacuation de la pression de la chambre), pour rejeter l'azote à l'extérieur de la pièce par le faux plancher.

#### Évolution significative

Installation d'une hotte solvants de classe 10 avec tournette et plaque chauffante destinée principalement aux procédés nécessitant un taux d'empoussièrement le plus faible possible : Nano-impression, lithographie électronique.



## Prospectives

### Lithographie électronique (2-3M€)

Nouveau masqueur électronique : meilleures performances (rapidité, automatisme focus astigmatisme, chargement automatique de 10 échantillons, meilleure résolution – 100keV).

Cet achat permettrait sans conteste d'affirmer la position du LAAS comme un acteur essentiel dans les nanotechnologies mais surtout il ouvrirait une très large fenêtre à de nouveaux procédés.

### Nano-Impression

Modifications du logiciel pour augmenter la durée d'exposition aux UV

## ORGANISATION

### Personnel

- Franck Carcenac – IR : responsable lithographie électronique - réalisation des moules de nano-impimpression, caractérisations MEB, mise au point de procédés formation des utilisateurs, encadrement et suivi des projets
- Emmanuelle Daran – IR : responsable nanoréplication - suivi des projets, caractérisations AFM et MEB notamment.
- Jean-Baptiste Doucet – IE : chimie de surface, nouveaux polymères, mise au point des procédés, caractérisations AFM et MEB, formation des utilisateurs, encadrement et suivi des projets
- Alexandre Lauvergne – AI (CDD – depuis septembre 2016) : mise au point de procédés de nano-impimpression et formation des utilisateurs, utilisation de la lithographie électronique, suivi de projets, caractérisations AFM et MEB notamment.

### Gestion des activités

Le fonctionnement de la zone repose sur la formation, l'ouverture et le partage des procédés. Toute personne formée quel que soit son statut peut utiliser les équipements et les procédés mis au point précédemment.

### Calibrations / validations des équipements et procédés.

#### Existantes

Objectif	Nature de l'action conduite	Fréquence
<b>Insolation de nanostructures par lithographie électronique</b>	Insolations par les utilisateurs	
<b>Qualification procédés de nano-impimpression</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Nano-imppressions par les utilisateurs</li> <li>2. Duplication de nanostructures dans un film de COP ou COC</li> <li>3. Duplication de nanostructures à l'aide du test précédent sur du silicium et dans la résine NILUV-135</li> </ol>	1 fois par an, à la demande d'un utilisateur ou en cas de problème
<b>Déterminer quand la lampe UV doit être changée</b>	mesure de l'émission de la lampe UV	Mensuelle
<b>Qualification de la résolution en lithographie électronique</b>	Insolation générique sur PMMA (20kV – diaphragme 20um – 7mm de distance de travail) : test de résolution et test de raccordement des champs	1 fois par an, à la demande d'un utilisateur ou en cas de problème

### Qui vont être mises en place

Objectif	Nature de l'action conduite	Fréquence
<b>Qualification de la résolution en lithographie électronique</b>	Ajout d'un test de raccordement des champs lors de l'insolation générique sur PMMA (20kV – diaphragme 20um – 7mm de distance de travail) avec test de résolution	1 fois par an, à la demande d'un utilisateur ou en cas de problème

Il faudrait organiser une réunion des utilisateurs régulière afin d'avoir un retour détaillé par rapport aux problèmes qu'ils rencontrent afin de réduire les délais de prise en compte des problèmes, un meilleur suivi et une meilleure distribution des connaissances.

### BUDGET

#### 2017

2017	Fourniture	Consommables	Maintenances	Support et Sécurité
<b>Montants En K€</b>	0	6.46	9.51	3.623

**Consommables** : fonctionnement tournette, résines, produits chimiques, membranes Nano Impression, films COP et COC ...

**Maintenance** : tout le système de pompage du masqueur (réparation de la pompe primaire, contrôleur de la pompe turbo et pompe turbo).

**Support et sécurité** : installation de la hotte et d'une poubelle sous extraction, séparation des éclairages entre la zone de nano-impimpression et la zone du masqueur électronique.

#### 2018

2018	Fourniture	Consommables	Maintenances	Support et Sécurité
<b>Montants En K€</b>	0.3	5	25	3.6

**Fournitures** : correspond à l'achat de résines spécifiques pour un projet

**Consommables** : fonctionnement tournette, résines, produits chimiques, membranes Nano Impression, ...

**Maintenance** : Changement de la pointe du masqueur électronique (réalisé – 17k€), nous devons prévoir une maintenance de notre générateur de haute pression (6k€). Nous devons aussi provisionner une panne (LASER interféromètre, chiller, tournette...)

**Support** :

- Nous devons installer des lignes de gaz en dur (azote, vide et air comprimé) pour la machine de lithographie UV (MJB3)
- Sur la machine de nano-impimpression nous devons aussi déporter les lignes de remise en pression atmosphérique sous plancher.

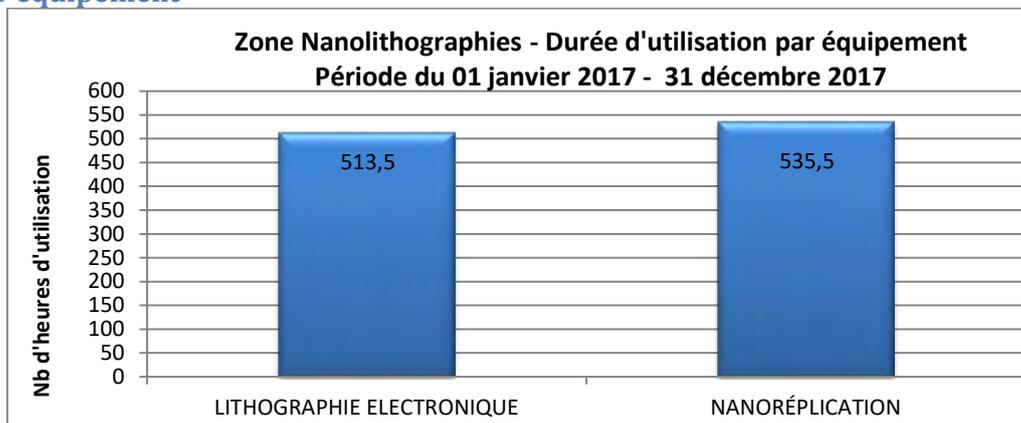
### FORMATIONS

Type	Intitulé	Durée (h)	Nombre de sessions/an	Durée totale/an(h)	Nombre total de participants /an
<b>Cours TEAM</b>	<b>Lithographie électronique</b>	2	1	2	~10
<b>Formation</b>	<b>Lithographie électronique</b>	40	2	80	2
<b>pratique</b>	<b>Nanoréplication</b>	1	5	5	5
<b>TOTAUX</b>			8	87	17

Le cours sur la nanoréplication sera donné en 2018 par Emmanuelle Daran. Une partie de notre travail portera sur une version des cours en ligne utilisant divers outils de communication dont MOODLE ...

## BILAN

### Par équipement



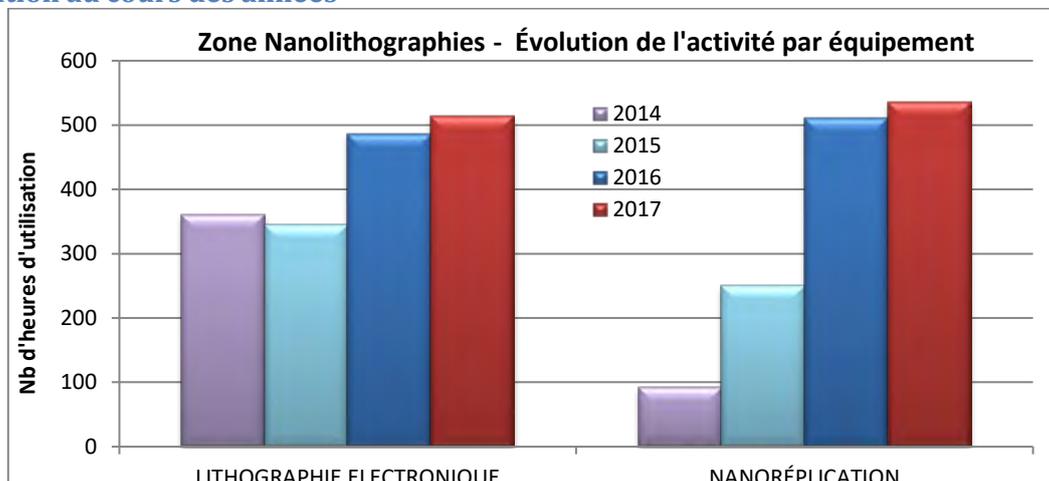
### Lithographie électronique :

- Activité stable

### Nano-impression :

- Activité stable

### Évolution au cours des années



Le nombre d'heures d'utilisation s'est stabilisé pour les 2 activités

## EVOLUTIONS DE PROCEDES

### Nouveau polymère pour transfert des moules de Si dans des films souples

Le Cyclo Olefin Co-polymer (COC – Tg 78°C) possédant une température de transition beaucoup plus faible que le Cyclo Olefin Polymer (COP – Tg 136°C). Devrait améliorer le démoulage de structures avec des facteurs de forme défavorables (grande longueur, rapport hauteur/largeur >2) Il ne peut

cependant pas être utilisé pour le moulage thermique de matériaux tel que la SU8 non réticulée dont le Tg est trop proche.

### **Lithographie électronique en niveaux de gris, transfert par gravure sèche et réplication par Nano-Impression avec une résolution en Z de 5nm**

Dans le cadre d'un projet scientifique de réalisation d'échantillons de calibration pour les microscopies super-résolues avec des marches de 5nm, les travaux menés conjointement sur la lithographie électronique à niveaux de gris, la gravure plasma et la nano-impimpression ont permis de réaliser un moule silicium avec des motifs s'échelonnant de 5 à 125nm et son transfert dans un polymère d'indice 1.38 dont l'adhérence sur silicium oxydé n'a été possible que grâce à un traitement de surface proposé par Jean-Baptiste Doucet. Ces travaux ont été présentés au JNTE 2017 par Alexandre Lauvergne (CDD) Le transfert sur plaque de verre nécessite encore un peu de travail car les résultats n'ont pas été directement transposables.

### **Moule de Nano-Impression mono et multi-niveaux pour applications optiques**

Dans le cadre de l'installation des modules d'insolation continue sur le masqueur électronique, nous nous sommes engagés, en contrepartie d'une réduction substantielle du coût (30k€), à produire 2 note d'applications (publications techniques type MNE).

Nous avons identifié 2 applications qui devraient nous permettre de remplir cet engagement et d'améliorer nos procédés de fabrication en termes de durée d'insolation et de réponses optiques des objets fabriqués :

- Guides optiques avec anneau résonnant à double niveau permettant l'injection et la détection - Vincent Raimbault
- CRIGF (Cavity Resonator Integrated Guided mode resonance Filter) – Olivier Gauthier-Lafaye

Le procédé complet pour ces deux applications nécessite la fabrication de moules par lithographie électronique et gravure plasma, le traitement de surface antiadhésif du moule et sa réplication par nano-impimpression. Ces deux développements sont le fruit de collaborations avec les zones Chimie, Jet d'encre, Gravure par Plasmas, Caractérisation physique et Caractérisation optique (I2C - chercheurs)

## **SYNTHESE**

### **Ressources humaines nécessaires à l'activité**

**La question de la pérennité de la zone se pose à moyen terme :**

- Vieillessement des cadres : âge moyen ~52 ans, 1<sup>er</sup> départ à la retraite possible dans 6 ans
- Il faut 4 ans pour former une personne aux technologies de nano fabrication
- Le CDD d'Alexandre Lauvergne ne sera pas renouvelé en 2018 à priori : il a démontré par ses actions que ce poste est indispensable car il permet un suivi régulier des machines et le développement des procédés.
- Il n'y aura plus que l'équivalent de 1.1 personnes dédiées aux procédés/projets dans la zone et c'est très insuffisant pour la développer à cause des implications dans une autre zone et/ou dans des actions d'intérêt général.
- Aucun recrutement pérenne "jeune" en 18 ans

Nous avons besoin d'un poste, de préférence pérenne, afin de pouvoir maintenir et développer la zone pour un service optimum aux projets de recherche.

Nous pouvons, dans une certaine mesure, compenser le manque d'investissement du CNRS dans les moyens humains par des investissements dans des moyens techniques comme un masqueur électronique de nouvelle génération :

- Avantages :

- Technique bien connue et très stable
- Automatismes très développés : focus, astigmatisme, chargement d'échantillons, ...
- Meilleures fiabilité et reproductibilité: logiciel sous LINUX
- Résolution : caractéristiques du faisceau (100keV – sonde plus fine, moins d'effets de proximité locaux)
- Capacités étendues permettant d'insoler de plus grandes surfaces en un temps réduit : fréquence de balayage 100MHz (10 MHz actuellement) champs plus grands, courant plus important, modules d'insolation continue intégrés
- Inconvénients :
  - Coût 3M€ (2M€ avec capacités réduites)
  - Maintenance annuelle : coût 100k€
  - Nécessite un aménagement des infrastructures évalué à 500k€
  - Il faut un personnel très qualifié pour exploiter au mieux l'outil : procédés, projets et formation des utilisateurs.

### Lithographie électronique

Nous développerons prioritairement, en 2018 la réalisation de moules multi-niveaux.

Nous devrions installer les 2 options (Fixed Beam Moving Stage et Moving Beam Moving Stage – 100k€) qui nous permettront de pouvoir diminuer les temps d'insolation ainsi que les raccords de champs. La réponse optique des échantillons fabriqués (par nano-impression) devrait être améliorée de manière significative.

### Nanoréplication :

Le départ d'Alexandre Lauvergne (fin de CDD - août 2018) va considérablement ralentir l'activité de suivi des machines, des procédés et des développements.

Il faudra développer un procédé de lift-off en utilisant une couche sacrificielle afin de poursuivre l'intégration de la nanoréplication dans un procédé complet de nano fabrication.

L'ensemble des activités de la zone est en interaction très forte avec les zones de photolithographie, gravure plasma et caractérisation (salle blanche et optique) ainsi qu'avec les chercheurs pour le développement des procédés liés aux projets scientifiques. Les premiers succès obtenus sur les moules multi-niveaux (voir Figure 1, Figure 2, Figure 3) avec une résolution en Z inférieure à 5nm, l'ont été grâce à l'effort de tous et particulièrement aux développements réalisés par Alexandre Lauvergne (CDD) présentés dans une conférence nationale (JNTE 2017 - Orléans)

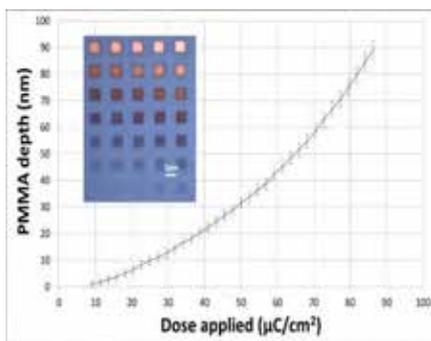


figure 1. PMMA depth after e-beam exposure and pure MIBK development as a function of the exposure dose. Measurements were made on the sample shown in the embedded image exhibiting different colors corresponding to different topographical levels of the resist. Matrix is composed of  $5 \times 5 \mu\text{m}^2$  squares and dose is increasing from left to right and from bottom to top.

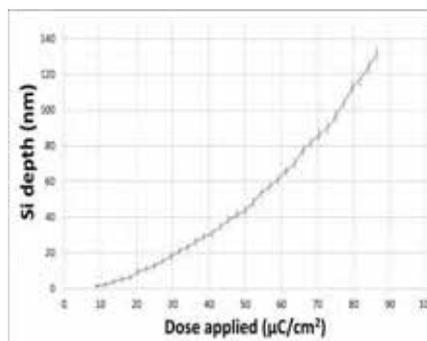


Figure 2. Si mold depth after transfert by ICP-RIE using previous grey-scaled PMMA as a mask

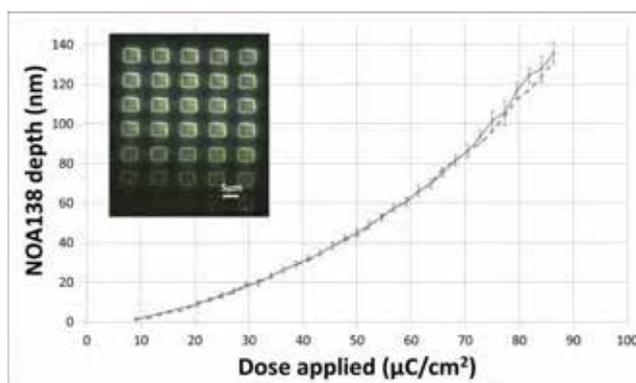


Figure 3. NOA138 depth after UV-NIL on bulk Si as a function of the exposure dose. Measurements were made on the sample shown in the embedded image made in darkfield optical microscopy due to the poor contrast between NOA138 and the substrate in brightfield illumination. Border brightness of each square increases with the resist height in each square corresponding to different topographical levels. Dashed line represent the silicon mold depth as it can be seen in Figure 2 for comparison.

## PHOTOLITHOGRAPHIE

### EQUIPEMENTS

#### Liste

Nom	Libre service	Année d'achat	Valeur d'achat (k€)	n° inventaire	Référence dans LIMS	Priorité
<b>EVG 120</b>	Oui	2003	892	7582_W	P1	0
<b>EVG 620</b>	Oui	2003		7583_W	P5	1
<b>Spraycoater</b>	Oui	2011	166.7	10163_W	P2	0
<b>Stepper Canon</b>	Oui	2009	984	9522_W	P3	0
<b>Stepper Ultratech</b>	Oui	2013	0	11140_W	P4	1
<b>Suss MA150</b>	Oui	1998	457	7037_I	P6	0
<b>Suss MA 6</b>	Oui	2002	137.2	9823_PV	P7	1
<b>Suss MJB3 GaAs</b>	Oui	1985	61	11141_PO	P8	2
<b>Suss MJB3 Si</b>	Oui	1980	58	11160_PO	P9	1
<b>Plaque chauff. SU8 n°1</b>	Oui	2005	26	7859_W	P10	0
<b>Plaque chauff. SU8 n°2</b>	Oui	2002	26	6974_PV	P11	1
<b>Etuve HMDS auto JPK</b>	Oui	2005	46.3	8008_W	P13	0
<b>Etuve HMDS manuelle YES</b>	Oui	1999	17	8009_W	P14	1
<b>HMDS Obducat</b>	Oui	2017	19,5	12225_WA.11	P24	1
<b>Tournette Labspin n°1 (procédés ECI &amp; NLOF)</b>	Oui	2015	7.6	11675_TA03	P18	1
<b>Tournette RC8 n°2 (Tous les procédés)</b>	Oui	2003	23	6769_CE	P20	1
<b>Tournette Obducat n°2 (Tous les procédés)</b>	Oui	2017	33,5	12226_WA.11	P20	1
<b>Tournette RC8 n°3 (procédés MOS)</b>	Oui	2003	16.7	10163_W	P22	1
<b>Etuve polymère</b>	Oui			8008_W	P12	1
<b>Microscope Leica automatique</b>	Oui	2005	12.5	7957_W	P16	1
<b>Microscope Leica manuel</b>	Oui	2005	12.5	7982_W	P15	1
<b>Paillasses photo 1, 2 et 3</b>	Oui	2006		7843_CV, 7844_CV, 7846_CV, 7845_CV, 7850_CV, 7847_CV	P17 à P22	1
<b>Semitool 4 et 6 pouces</b>	Oui	2013	0		P17	1
<b>Etuves (4)</b>	Oui	2005		7064_CV		1
<b>Plaques chauffantes (x5)</b>	Oui	2010	1.26	9821_W 9820_V		1
<b>Armoires réfrigérées (x2)</b>	Oui	2005	4000	7943_W		1
<b>GenISys lab</b>	Oui	2017	29		P23	1

## Maintenances significatives

### 2017

Suss Microtec MA6 : intervention du fabricant pour réparation d'une panne sur le « Z-axis » du WEC.  
Suss Microtec MA150 : intervention du fabricant pour réparation sur l'alimentation du rétroéclairage des microscopes.  
EVG 120 : remplacement d'éléments du système pneumatique et de modules électriques, remise en fonctionnement du développement SU8.  
Suss Microtec Spraycoater : remplacement d'un contrôleur.  
Stepper Canon : changement du laser.

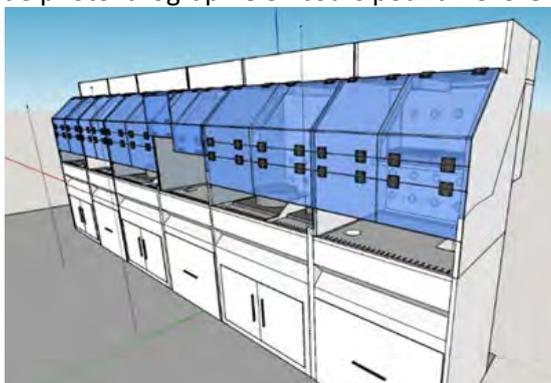
### 2018

Maintenance préventive sur les aligneurs Suss Microtec (MA150, MA6 et MJB3) : Mars 2018 (inclus dans le contrat de maintenance 2017/2018).  
Renouvellement du contrat de maintenance Suss Microtec pour les aligneurs pour couvrir les années 2018/2019 et 2019/2020.  
Maintenance préventive EVG 120 : prévu 1<sup>er</sup> semestre 2018, préparation d'un contrat de maintenance afin de réduire les coûts et d'améliorer les délais d'intervention.  
Suss Spraycoater : commande préventive de plusieurs pièces en prévision (basé sur l'expérience acquise lors des précédentes pannes). Le but est d'anticiper de futures pannes.  
Suss Microtec plaque chauffante SU8 n°1 : envoi pour maintenance prévue 1<sup>er</sup> semestre 2018.

## Evolutions significatives

### Paillasses de photolithographie

Modification des paillasses de photolithographie en cours pour améliorer la sécurité des utilisateurs.



### Logiciel GenISys Lab :

**8-9K€/module**

Cet outil dont le module de base a été acquis dans le cadre du projet Thermie, il s'agit d'un logiciel de simulation des procédés de lithographies UV. Il permet d'ajuster les paramètres d'exposition en fonction de la nature des substrats, des résines (nature, type, épaisseur) et des motifs à générer. Les modules lithographie électronique, laser et par projection peuvent compléter le module de base.



## Prospectives

### Renouvellement du parc : machines d'alignement :

320K€

#### Remplacement de l'équipement MA6 Gen 1 (1996) par MA6 Gen 4 : 170 k€

(Acquis dans le cadre du projet Thermie, arrivée prévue le 9 Avril 2018)

Substrats : 3mm x 3mm, 10mmx10mm, 2", 100mm et 150mm.

Masques : 2", 4", 5" et compatible 7" (sur équipement actuel).

Système UV LED 365, 405, 435nm.

Compatible système MO optics.



#### Remplacement de l'équipement MJB3 (1980) par MJB4 : 150 k€

Amélioration des procédés sur petits échantillons et substrats 100mm.



### Système de dispense et développement automatique :

600 K€

Jouvence de l'équipement actuel EVG 120 (année 2005).

L'EVG 120 est un équipement incontournable dans la zone photolithographie. L'équipement en libre-service a plus de 10 ans et a fait l'objet de plusieurs pannes onéreuses depuis 3 ans et de nombreux arrêts.

- Substrats 2, 4 et 6 pouces,
- Système automatisé pour le transfert des substrats, pré-alignement,
- Dispense de plusieurs résines (par bouteille et système seringues),
- Deux lignes de développeurs.



### Equipement de lithographie par projection BSA : 1 000k€ à 3000K€ en fonction des options

L'objectif est d'anticiper le renouvellement du stepper Canon (année 1995).

Même si les rapports avec l'équipementier sont très bons (réactivité des interventions, support à distance), le fabricant ne garantit plus la fourniture des pièces pour les équipements >20ans.

De plus, les nouvelles générations de stepper I Line permettent des alignements face arrière à +/- 30nm qui n'est pas disponible sur l'équipement actuel.

- Exposition d'échantillons 2 pouces à 150mm,
- Résolution 350nm,
- Alignement TSA +/-30nm,
- Back Side Alignment +/-30nm



### Sécurité : Tournette photo 3 Labspin

7,5 K€

Travail sur les postes de travail de photolithographie afin d'améliorer l'aspiration et la sécurité des opérateurs.



### Kloé UV Kub 2 -3

15-40 k€

« Petit équipement » de lithographie UV pour procédés simples et rapides, exposition par LED : plus économique et suppression du risque lié à l'explosion des lampes à vapeur de mercure.

Budget : 15 à 40K€ en fonction des options : <http://www.kloe.fr/equipement/en/uv-kub-3>

Un modèle arrivera en 2018, comme contribution du constructeur Kloé au projet MultiFAB



## ORGANISATION

### Personnel

- Laurent Mazenq (IE) responsable de zone,
- Adrian Laborde (AI),
- Julien Joneau (Ingénieur en apprentissage).

### Gestion des activités

Les équipements de la zone photolithographie sont en **libre-service après formation**.

Les réservations des équipements se font au moyen de l'outil de réservation en ligne LIMS.

Les 3 membres de la zone suivent l'ensemble des actions. Un « point photolithographie » est tenue 2 fois par mois. La répartition des activités est la suivante :

#### Formation :

Adrian L. est en charge des formations des nouveaux entrants.

Les 3 personnes de la zone s'organisent afin d'assurer, dans la mesure du possible, une présence sur la zone pour le support aux utilisateurs.

#### Développements des procédés :

Laurent M. et Adrian L. assurent :

- Le suivi des procédés.
- Le développement de nouveaux procédés (nouvelles résines, procédés spécifiques, etc.).

Julien J. assure les qualifications des procédés et le développement des procédés à base de copolymères à blocs en partenariat avec la société Arkema.

#### Maintenance équipements :

Julien J. est responsable de la maintenance préventive (vérification des lampes UV, niveau HMDS).

Adrian L. et Laurent M. organisent :

- Les réparations de premier niveau.
- Le suivi des interventions des équipementiers.

#### Gestion des ressources :

Adrian L. et Laurent M. sont en charge de la gestion organisationnelle (bilans d'activité, budgets, qualité, sécurité),

- Adrian L. gère le stock des substrats.
- Laurent M. suit les consommables résines et développeurs.
- Vinciane Luque apporte son aide pour les stocks de verreries et accessoires.

### Calibrations / validations des équipements et procédés

#### Existantes

Objectif	Nature de l'action conduite	Fréquence
<b><u>Qualification des procédés de Photolithographie les plus courants :</u></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ECI 1.1µm stepper</li> <li>• ECI 1.1µm MA150</li> <li>• NLOF 5µm</li> <li>• AZ40XT 40µm</li> <li>• SU8 100µm</li> </ul>	Réalisation des procédés	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 fois tous les 2 mois: Conformité procédé, épaisseur et résolution</li> <li>• 1 fois / trimestre : observations profils au SEM</li> </ul>
<b><u>Qualification procédés HMDS</u></b>	Réalisation des procédés	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 fois / an : Mesure des angles de contact</li> </ul>
<b><u>Qualifications équipements :</u></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Machines d'alignement</li> </ul>	Vérification machine	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 fois par mois :</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>Tournettes et EVG 120</li> </ul> <p><b>Vérif. installations / zone :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>paillasses</li> <li>Nettoyage, rangement, état des stocks,</li> </ul>		Contrôle intensité lumineuse, homogénéité, changement lampe si nécessaire
	Vérification machine	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 fois / an : Vérification vitesse de rotation</li> </ul>
	Vérification des débits d'extraction	<ul style="list-style-type: none"> <li>2 fois / an : Vérification des débits et flux laminaire</li> </ul>
	5S, heure soleil	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 fois / semaine</li> </ul>

## BUDGET

### 2017

2017 Montants En K€	Fourniture	Consommables	Maintenances	Support et sécurité
	53,4	32,4	45,4	2,1

#### **Fournitures :** Evolution par rapport à 2016 : +33%

La consommation de substrats a globalement augmenté (50K€ en 2015, 35.5K€ en 2016) en quantité, notamment les substrats en verre ; mais également en spécificité (substrats SOI, substrats avec des résistivités particulières).

#### **Consommables :** Evolution par rapport à 2016 : +4%

Les commandes sont réalisées en début d'année et échelonnées afin de réduire les pertes de résines (49K€ en 2015 31K€ en 2016). D'autre part, les films secs gérés en zone assemblage permettent une baisse des coûts par rapport aux résines SU8 très onéreuses, que nous commandons donc en moindre quantité que les années précédentes.

#### **Maintenances :** Evolution par rapport à 2016 : -39%

Nous mettons en place depuis 2 ans des contrats de maintenance avec les principaux équipementiers (Canon, Suss Microtec, EVG) ce qui permet d'anticiper des interventions préventives et parfois curatives. Ces prestations sont anticipées et négociées dans le cadre du contrat de maintenance. Cette démarche a permis de réduire le coût de la maintenance 36K€ sur 2 ans (78K€ en 2015, 74.9K€ en 2016).

#### **Bilan :** Dépenses : 133.3€, soit -11K€ par rapport au budget prévisionnel

### 2018

2018 Montants En K€	Fourniture	Consommables	Maintenances	Support et sécurité
	50	40,9	66.1	6

Le budget prévisionnel calculé pour l'année 2018 est de 163K€. Il était de 144.9K€ en 2017.

## FORMATIONS

Type	Intitulé	Durée (h)	Nombre de sessions/an	Durée totale/an(h)	Nombre total de participants /an
<b>Cours</b>	<b>Procédés de photolithographie</b> (Réalisé par Laurent Mazenq)	1h	1	1h	27
<b>TEAM</b>	<b>Equipements et environnement en photolithographie</b>	1h	1	1h	27

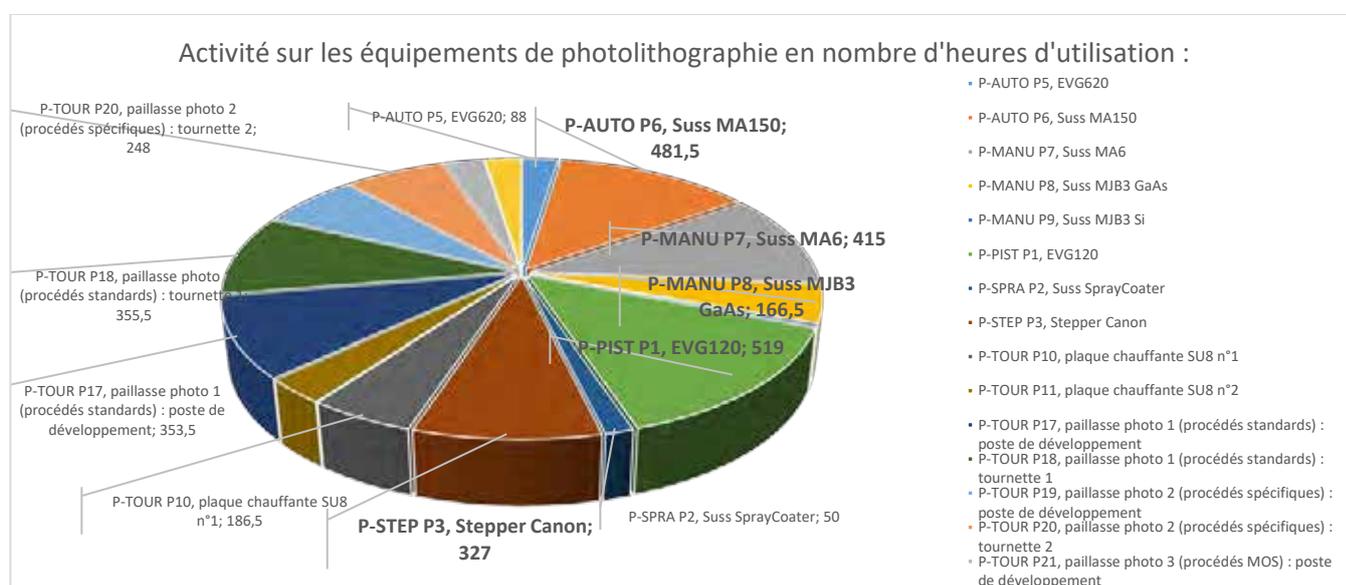
	(Réalisé par Laurent Mazeng)				
	<b>Procédés sur les résines épaisses</b> (Réalisé par Véronique Conedera)	1h30	1	1h30	20
<b>Formation pratique</b>	<b>Procédés de photolithographie</b>	1h30	16	24	56
<b>TOTAUX</b>			19	27H30	130

Le nombre de formations pratiques en salle blanche est légèrement supérieur à 2016 (+7 personnes).

## BILAN

### Par équipements

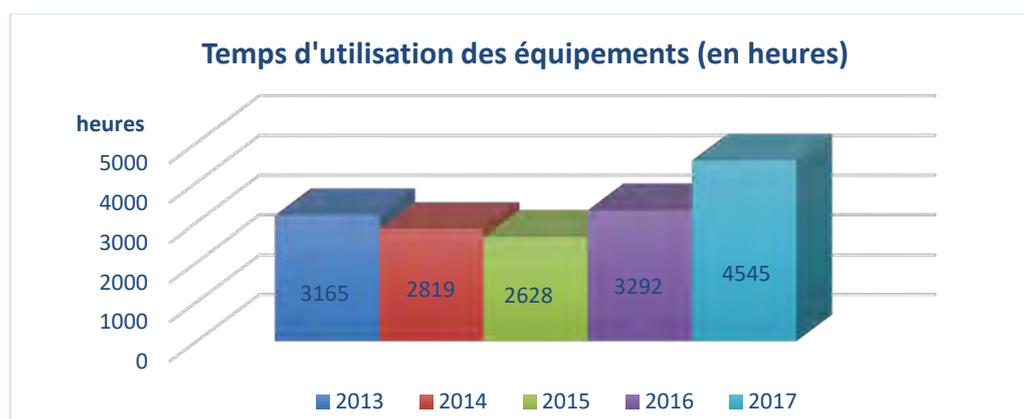
Répartition des heures d'utilisation par équipements :



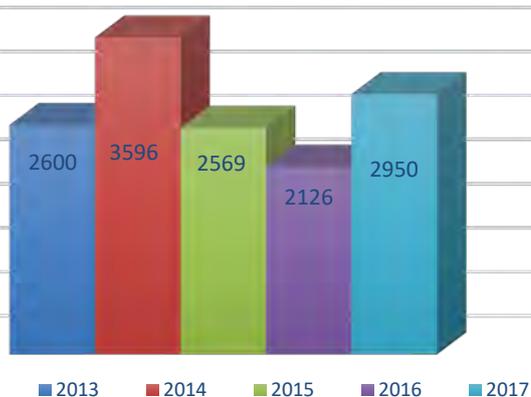
- On peut voir que l'ensemble des équipements est utilisé. Preuve de la nécessité de la richesse du parc machines
- Temps total d'utilisation des machines d'alignement en 2017 : **1490heures** (4545h sur tous les équipements), **+6.8%** par rapport à 2016 (1329h).
- L'équipement le plus utilisé en 2017 est le système de dépôt et développement automatique **EVG120 (519h)**.

### Evolution au cours des années

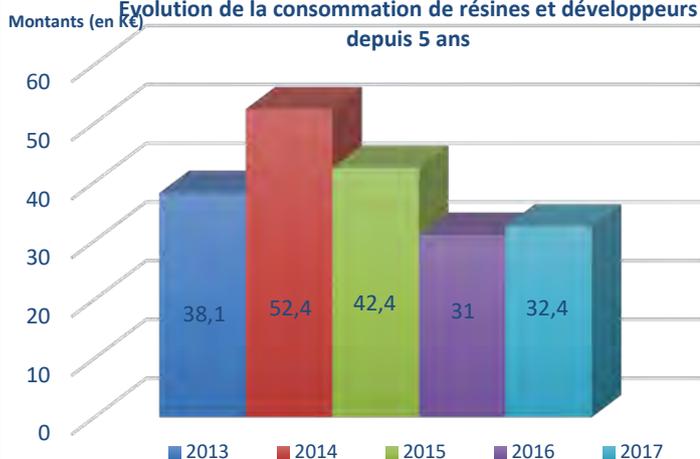
Evolution du temps d'utilisation des équipements ainsi que les consommables (substrats) et fournitures (résines et développeurs) sur les 5 dernières années :



Evolution de la consommation de substrats depuis 5 ans



Evolution de la consommation de résines et développeurs depuis 5 ans

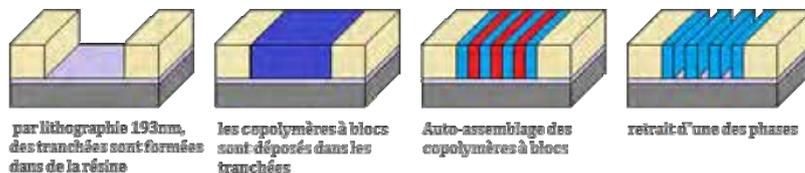


L'augmentation du temps d'utilisation des équipements est liée à la prise en main de l'outil de réservation LIMS qui s'est faite progressivement depuis 3ans. Les consommations de substrats et produits photoresits sont stables depuis 5 ans.

## EVOLUTIONS DE PROCÉDES

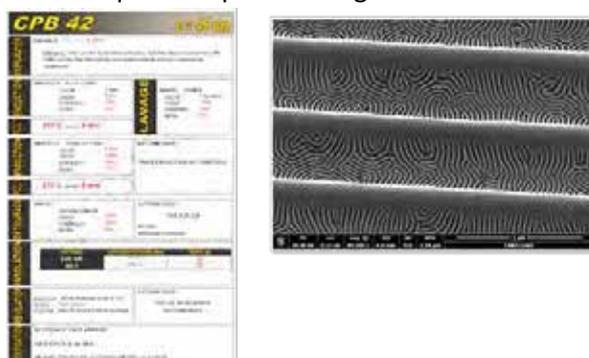
**Etude de copolymères à blocs**, en collaboration avec la société Arkema, les équipes MILE, Photonique et les zones gravure plasma et caractérisation.

Des développements ont été conduits en 2017 sur la structuration de motifs nanométriques par copolymères à blocs auto-alignés.



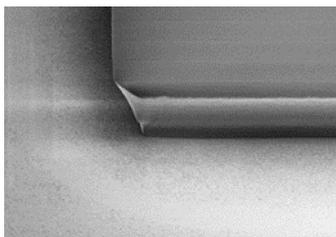
L'objectif est de développer un procédé pour réduire les dimensions critiques limitées actuellement à environ 350nm. Les travaux ont été réalisés par Marianne Brillat dans le cadre de son stage licence professionnelle soutenu par les équipes MILE et Photonique. Ces travaux sont repris par Julien Joneau dans le cadre de projet de contrat d'apprentissage.

Ces études ont permis de mettre au point un procédé pour structurer des motifs de 21nm de résolution pour une épaisseur de copolymères de 45nm. Le procédé permet de graver 20nm de silicium par gravure plasma.



### Dépôt de résine Nlof forte épaisseur par spraycoating

Le développement d'un procédé de dépôt de résine Nlof par spraycoating permet d'atteindre de fortes épaisseurs (15 à 25µm contre 5µm max en spincoating), rendant possible le lift-off de couche métallique épaisse.

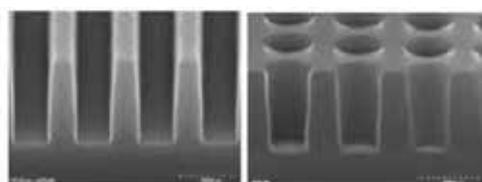


## Prospective procédés :

### Tests de nouvelles résines et de nouveaux matériaux : en collaboration avec la zone gravure plasma

Une campagne de tests de nouvelles résines sera lancée en 2018 dans le but d'augmenter les performances et la fiabilité des résines classiquement utilisées (ECI 3012, NLOF 2035 et AZ 40XT).

- Résine positive haute résolution (HiPR6517, AZ701 MIR)
- Résines épaisses pour la gravure (silicium profond, gravure verre)
- Films secs



AZ® MIR 701 Photoresist  
0.35µm lines and 0.40µm contact holes in 1.08µm film  
AZ Aquatar TARC  
AZ® 300 MIF Develop (60s)

Résine ligne haute résolution Az MiR 701

SEM				
Exposure tool	ALIGNER	ULTRATECH	CANON	ULTRATECH
Film thickness	50µm	80µm	60µm	~75µm
CD	10µm	10µm	5µm	25µm
Aspect ratio	5:1	8:1	12:1	3:1

Résine épaisse AZ IPS-6000 pour gravure plasma et croissance

## SYNTHESE

### Organisation :

Des actions sont prises pour améliorer les activités :

- Qualification des procédés,
- Maintenances préventives,
- Réduction des coûts,
- Coordination des formations,
- Gestion des stocks sur un tableau de bord (commandes, consommations).

### Moyens matériels :

Le parc d'équipements de la zone est vieillissant (lithographie stepper, machines d'alignement MJB3, MA6, MA150, système automatique EVG 120, ...). Cela engendre une augmentation des pannes et des immobilisations équipements. Nous nous organisons avec les principaux équipementiers (EVG, Suss Microtec, Canon) au moyen de contrats de maintenance afin de réduire le coût et améliorer le service aux utilisateurs.

Le projet Thermie a permis le remplacement de certains équipements (traitement de surface HMDS, tournette, machine d'alignement MA6) afin de s'adapter aux nouveaux besoins (matériaux et procédés non conventionnels) tout en assurant la continuité de technologies « classiques » et maintenir nos savoir-faire.

Cet effort doit cependant être maintenu sur les autres équipements (MJB3, lithographie par projection, systèmes automatiques) afin de fournir aux utilisateurs des moyens fonctionnels et assurer la pérennité des projets.

### Moyens humains :

Arnaud Durlach, en CDD depuis 2 ans a quitté le laboratoire fin Janvier 2018. Il a été moteur dans le développement de procédés comme les copolymères à blocs et il a initié des démarches sur les qualifications des procédés, les maintenances préventives et le support aux utilisateurs. Nous avons besoin du poste afin de maintenir les ressources à un niveau de service conforme aux activités de recherche.

Adrian Laborde et Laurent Mazon continue les missions de formations des utilisateurs, de support et les développements. Adrian Laborde s'implique de plus en plus dans des actions d'intérêt général comme la gestion des stocks des substrats qu'il a pris en main. Il participe à la cellule formation de la plateforme, il est devenu en salle blanche un interlocuteur privilégié et coordonnera cette année davantage de projets internes et externes Renatech. Julien Joneau s'est parfaitement intégré dans l'équipe. Rapidement opérationnel, il est à présent complètement autonome et nous comptons sur lui pour conduire des développements comme les copolymères à blocs.

## EPITAXIE PAR JETS MOLECULAIRES

### EQUIPEMENTS

#### Liste

Nom	Libre service	Année d'achat	Valeur d'achat (k€)	n° inventaire	Référence dans LIMS	Priorité
<b>MBE412</b>	Oui	2011	1285	10190_CE	M1	0
<b>MBE32</b>	Oui	1994	190	-	M2	0
<b>MBE2300</b>	Oui	1985	110	-	M3	0
<b>RX D8</b>	Oui	2012	305	10407_W	M4	0
<b>Hotte EJM</b>	Oui	2008	15	9086_W	M5	
<b>Hotte Chimie III/V - Acides</b>	Oui	2008	15	9082_W	M6	
<b>Hotte Chimie III/V - Solvants</b>	Oui	2008	15	-	M7	

#### Maintenances significatives

##### 2017

MBE-32 : RAS

MBE-412 : RAS

##### 2018

MBE-32 : RAS

MBE2300 : RAS

MBE 412 : Ouverture en janvier 2018 de la chambre de croissance pour gratter le panneau cryogénique, nettoyer les hublots, recharger les cellules, changer le filament de la jauge de flux.

Réparation de la cellule cracker VAC500 As3 : la cellule a une fuite interne qui a été une source importante de défauts ponctuels sur les croissances. Du fait de sa dangerosité cette ouverture a été financée pour moitié (10 k€) par des fonds venant de la DR14.

Le MBE2300 est en standby, sous ultravide, en attente de contrat. Le MBE32 est en campagne et fonctionne. Cependant, la géométrie propre à ces deux bâtis les rend difficilement compatibles avec les dernières techniques de suivi in-situ de la croissance dont peu bénéficier le MBE412.

#### Evolutions significatives

##### MBE32 et 2300

Connexion du module de dégazage avec le logiciel Crystal XE du MBE32, permettant de programmer les dégazages (procédé manuel avant cet upgrade).

##### MBE412

Deux nouveaux outils d'analyse in-situ en cours de croissance ont été développés dans la zone et viennent compléter les autres outils déjà mis en place ou développés (réflectivité, absorption atomique des flux, mesure de température déduite du gap optique). Ces deux nouveaux outils sont l'analyse RHEED synchronisée et la mesure de courbure. L'ensemble de ces outils sont couplés dans un seul logiciel.

**RHEED Synchrone** : afin d'uniformiser les flux, et donc les épaisseurs déposées et les concentrations des alliages, le substrat doit tourner autour de son axe, typiquement à 12rpm. Un des outils les plus utilisés afin de suivre la croissance en épitaxie par jets moléculaire est la diffraction d'électrons de haute énergie en incidence rasante (RHEED). Le RHEED permet par exemple de suivre la vitesse de croissance, en mesurant l'intensité de certaines taches de diffraction au cours du temps, de suivre l'évolution du paramètre de maille parallèle en surface, ou la rugosité de surface. Cependant, il est difficile d'obtenir ces informations quantitatives lors de la rotation de

l'échantillon, le diagramme de diffraction changeant continuellement. Des logiciels ont été développés dans différents laboratoires, tels qu'ANARHEED au CEA de Grenoble, permettant de retrouver les images d'une orientation particulière dans un enregistrement. Cependant, le diagramme de diffraction est extrêmement sensible à l'orientation du substrat par rapport au canon RHEED, et les images obtenues, à des directions proches, mais pas exactes de celle d'analyse, ne permettent pas de sortir des informations quantitatives.

Nous avons résolu ce problème avec un logiciel LabVIEW développé dans la zone qui permet de capturer des images de façon synchrone avec une précision temporelle extrême (quelques  $\mu$ s, alors que LabVIEW ne permet pas de contrôler un temps plus précis que la ms). Ce logiciel, basé sur une astuce logicielle, est capable de fournir 4 ou 6 images par tour (pour les substrats orientés (001) ou (111)), et d'analyser en temps réel les écarts de paramètres de maille, de suivre l'évolution des reconstructions de surface ou de la rugosité de surface.

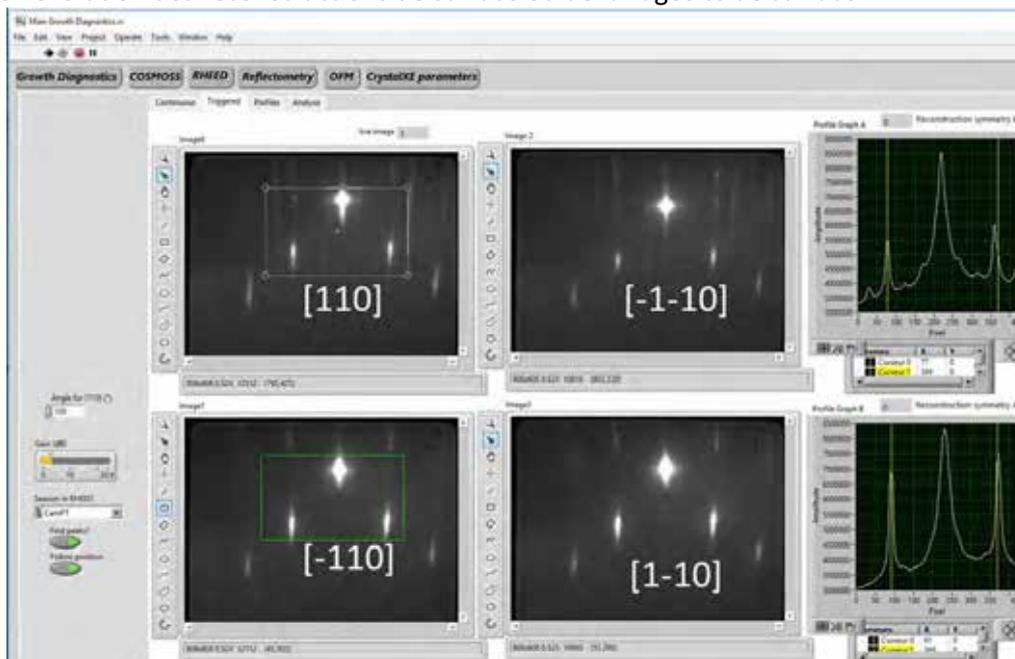


Figure 1 : Face avant du logiciel RHEED synchrone maison – MBE142 – 12rpm – en croissance

**Mesure de courbure** : lorsque l'on dépose un matériau d'un paramètre de maille différent de celui du substrat, le film déposé induit une contrainte, se déforme élastiquement et l'ensemble de la plaquette se courbe (équation de Stoney). Suivre cette courbure donne des informations sur la couche en cours de croissance, comme par exemple sa concentration d'alliage ou sa vitesse de croissance. Des outils commerciaux existent et permettent de mesurer la courbure. Cependant, ils sont difficiles à mettre en œuvre, et leur sensibilité est limitée.

Nous avons développé dans la zone un nouvel outil de suivi de courbures, dont le principe a fait l'objet d'un dépôt de brevet (FR 1754616). Cet outil est très robuste, facile à mettre en place, et s'est montré extrêmement sensible. Un transfert à un industriel est en cours avec l'aide de la SATT Toulousaine (TTT).

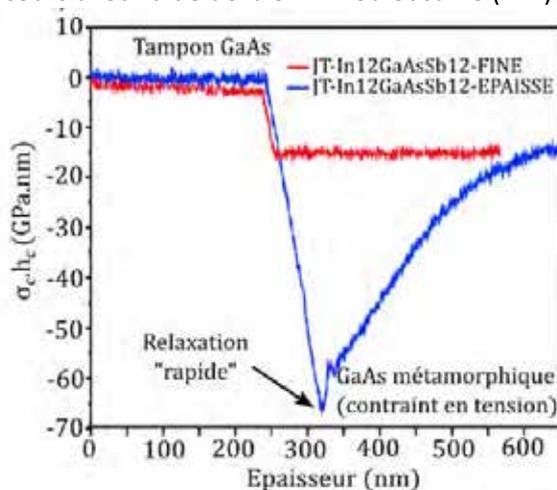
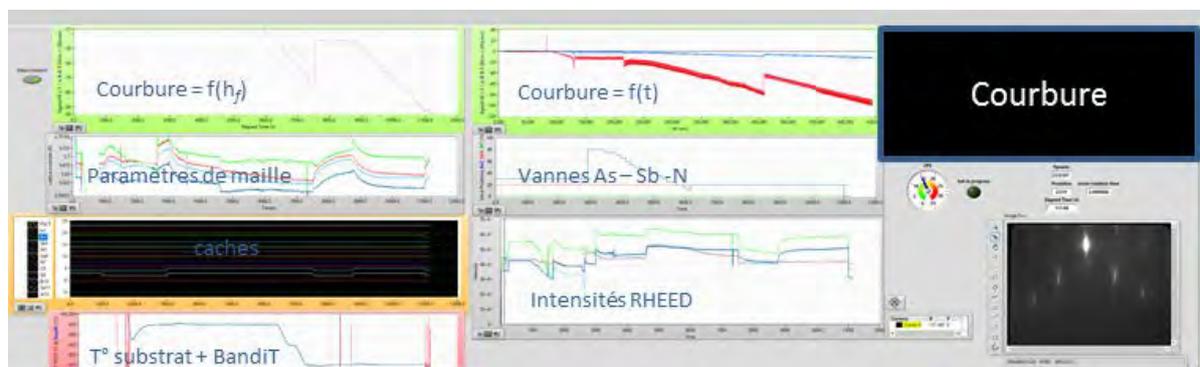


Figure 2 : Courbure lors de la croissance de jonctions tunnel – thèse de K. Louarn - LAAS

**Couplage des mesures :** l'ensemble des mesures réalisées lors de la croissance épitaxiale sur le MBE412 sont regroupées sur un seul logiciel. Ceci permet d'avoir une base temps commune, et de comparer à la seconde près les différents phénomènes observés, et ainsi de mieux interagir avec la croissance. Le logiciel est directement connecté au logiciel du pilotage du bâti (Crystal XE, développé en partenariat avec Riber). Ainsi, les positions des caches et des vannes (ouvert, fermé, %), les températures, et les vitesses de croissance visées sont directement intégrées sur la base de temps des mesures. Le but ultime est le contrôle de la croissance, afin d'être plus efficace dans la mise au point des recettes et le contrôle de leur réalisation.



**Figure 3 :** face avant du logiciel de suivi in-situ -

Tous ces outils ont été intégralement développés en interne par l'IR de la zone (Alexandre Arnoult). La mesure de déformation de plaquette en cours de croissance est développée par Alexandre Arnoult et Jonathan Colin (Postdoc PHOTO 06/2016-04/2017).

Un travail sur l'automatisation de croissances est envisagé. Il s'appuierait sur les informations, souvent partielles, issues des différents instruments de mesure en croissance. Ce travail pourrait être initié par un stagiaire encadré en commun avec le groupe GEPETTO.

### **FIB Ultravide**

Le prototype de FIB ultravide (FUI Ultinatool) a été réinstallé au LAAS fin juin 2017. Des tests préliminaires ont été réalisés, et une étude plus poussée est en cours. Un spectromètre de masse a été acheté pour le FIB.

### **Prospectives**

#### **AUGER (60 K€)**

La mise en service et le test du FIB Ultravide (FUI Ultinatool) permettra l'étude de la reprise de croissance sur des surfaces structurées. Cependant, l'état de surface, et surtout sa contamination seront essentiels, et un outil de mesure in-situ de contaminants de surface serait extrêmement utile. Un port ultravide a été prévu, sous le module de park, afin d'accueillir cet Auger.

#### **Ellipsomètre multi longueur d'onde (32 K€)**

Les outils de diagnostic in-situ mis en place ont chacun leur gamme de sensibilité propre (quelques dizaines de nm pour la réflectivité, pourvu que l'indice optique soit différent de la couche précédente, la monocouche pour la déformation, pourvu que le désaccord de maille avec le substrat soit notable, etc...). L'ellipsométrie permettrait d'atteindre des informations complémentaires aux autres outils, telle que l'épaisseur d'un puits quantique GaAs/AlGaAs, qui est le point crucial dans la croissance d'un VCSEL. En effet, la longueur d'onde d'émission du puits quantique GaAs/AlGaAs dépend au premier ordre, outre de sa composition, de son épaisseur qui doit être contrôlée au plan atomique près. Ces puits quantiques sont le cœur des VCSELS, et la moindre erreur sur leur épaisseur condamne à l'échec une croissance de 18H et plus de 3000 empilements différents. Aujourd'hui, nous comptons sur des astuces indirectes, mais le taux de réussite est faible comparé à l'investissement demandé (humain, temps machine, etc...). Un ellipsomètre in-situ devrait permettre de grandement améliorer ce taux de réussite.

### RHEED sur MBE412 (27 K€)

La croissance de nanofils est une activité importante du MBE412. Cependant, le canon RHEED fourni lors de l'achat du bâti se révèle insuffisant pour l'observation en croissance des nanofils. Un canon RHEED plus performant, dont les qualités ont été démontrées à l'Institut Néel (Grenoble), devrait permettre d'améliorer très significativement la résolution du diagramme de diffraction. Ce changement serait aussi très utile aux autres projets sur le bâti (informations sur la rugosité de surface, le régime de croissance, la suppression d'As, ...).

### Cellule Arsenic (108 K€)

Le MBE412 est équipé de deux cellules d'As, dont la capacité de 500cc chacune assure en théorie l'émission d'As d'une campagne de croissance. Cependant, afin de tenir toute la campagne, les cellules sont chargées chacune d'un lingot taillé aux dimensions de leur réservoir de titane, qui sont extrêmement onéreux (9k€ pièce). De plus, nous avons démontré que ce modèle de cellule (Riber VAC500) était une source significative de formation de défauts en surface, ce qui peut se révéler désastreux lors de la croissance de composants sensibles aux défauts de surface (VCSELs, filtres, etc...). Enfin, l'As monopolise deux ports cellules du MBE 412 (qui en comporte 12). Une évolution envisagée serait d'équiper le MBE412 d'une cellule d'arsenic d'une capacité de 2000cc qui a fait ses preuves dans le milieu industriel (pas de défauts de surface sur les croissances imputées à cette cellule). Cette plus grande capacité permettrait en outre d'utiliser des morceaux d'As, et non un lingot pour la charger, sans pour autant perdre en autonomie. Ces morceaux sont deux fois moins chers que les lingots. Enfin, cette opération libérerait un port cellule du MBE412.

## ORGANISATION

### Personnel

- Arnoult Alexandre (IR1) : responsable de zone
- Lacoste Guy (IEHC)
- Quentin Gravelier (AI contractuel)

### Gestion des activités

#### Alexandre Arnoult assure

- les croissances épitaxiales pour les groupes PHOTO et MICA, et les demandes Renatech.
- la formation le cas échéant à l'utilisation du MBE412 (formation de K. Louarn et L. Marigo-Lombart, C. Cornille, doctorants, en 2017).
- la formation à l'épitaxie par jets moléculaires de Quentin Gravelier (AI contractuel)
- la maintenance des bâtis d'épitaxie et de leurs chambres ultravide annexes (ouvertures)
- la gestion complète du diffractomètre de rayons X du LAAS (formation, mesures pour les groupes PHOTO, MICA, MPN, NEO, le CEMES, l'INSA-T, l'EPFL).
- la maintenance du diffractomètre de rayons X
- le développement de nouveaux outils de diagnostic in-situ de la croissance (développement des outils de mesure et de leur logiciel de pilotage) dans le but de fiabiliser le procédé.
- La communication sur le développement de nouveaux matériaux (Bismures, avec C. Fontaine, DR PHOTO).
- la gestion et l'approvisionnement des substrats de GaAs du laboratoire.
- l'évolution des systèmes de croissances

#### Guy Lacoste assure

- la gestion de l'approvisionnement des matériaux d'épitaxie
- l'organisation technique des maintenances des chambres de croissances et des chambres annexes (approvisionnement des pièces)
- l'évolution technique des chambres ultravide (par ex. : connexion d'une cellule plasma H)
- la formation aux techniques liées à l'ultravide et l'épitaxie par jets moléculaires de Quentin Gravelier
- La formation de Kevin Louarn et C. Cornille, doctorants, aux montages des composants pour les mesures par effet Hall.

- la formation des doctorants à l'utilisation d'une cellule hydrogène permettant la préparation de surface pour la réalisation de nanofils.  
Guy Lacoste doit partir en retraite fin 2018.

**Quentin Gravelier** est arrivé dans la zone en avril 2016. Il s'est très vite intégré à l'équipe technique de la zone, et a été formé par Guy Lacoste aux techniques très spécifiques liées à l'épitaxie par jets moléculaires (ultravide, etc...) et par Alexandre Arnoult à la croissance épitaxiale en elle-même et à la diffraction de rayons X. Il a aussi été formé par Guy Lacoste aux mesures d'effet Hall des couches minces épitaxiées. Il a participé activement à la mise en place du nouveau logiciel de pilotages de bâtis d'épitaxie et de son interface avec les automates de régulation de température qu'il a re-câblés entièrement lui-même. Enfin, il a assuré entièrement la préparation de la zone afin de la sécuriser avant l'ouverture de la chambre de croissance du MBE412 début 2018.

Le **MBE2300** est en stand-by, en attente de résultats de demandes de financement.

Les croissances sur le **MBE32** ont été réalisées par Chantal Fontaine et sa doctorante, Clara Cornille. Le personnel TEAM assure toutes les fonctions support et une assistance à la réalisation de certaines épitaxies quand nécessaire. Sur le **MBE412**, Sébastien Plissard et son doctorant (Daya Dhungana) réalisent les croissances à base de nanofils, avec utilisation de la cellule H de la chambre de dégazage. Alexandre Arnoult réalise les croissances répondant aux autres demandes internes au LAAS, ou externes via le réseau Renatech (structures III/V). A noter cette année la formation de Kévin Louarn (doctorant PHOTO) pour la croissance en quasi autonomie de couches pour le photovoltaïque, et de Clara Cornille (doctorante PHOTO) pour la croissance des alliages GaAsBi et la participation de Ludovic Marigo-Lombart (doctorant PHOTO) dans la croissance de VCSELs avec modulateur optique intégré.

### Calibrations / validations des équipements et procédés.

#### Existantes

Les calibrations des flux sont réalisées avant chaque croissance, quotidiennement. Les flux sont affinés suite à une mesure sur croissance test (RX, PL, MEB, etc...).

Objectif	Nature de l'action conduite	Fréquence
<b>Calibration du dopage N (Si) ou P (C)</b>	Réaliser des couches de GaAs dopées uniformément en croissance (typ. 1µm)	Au besoin (typ. 5 par an)
<b>Niveau du dopage résiduel</b>	Croissance d'une couche de 10µm de GaAs non dopée, et mesure par effet Hall VdP	Typ. Tous les 3-4 mois
<b>Calibrations des épaisseurs et compositions d'alliages</b>	Croissance de structures test – mesures RX ou PL	Quasiment journalière
<b>Densité de défauts</b>	Couche de GaAs de 1µm	Typ. 2/an

Les informations sont partagées par les différents utilisateurs, et les redondances sont très rares.

#### Qui vont être mises en place

Objectif	Nature de l'action conduite	Fréquence
<b>Mesure directe des flux par absorption atomique</b>	Développement d'un outil de mesure des flux	Systématique si efficacité avérée

### BUDGET

#### 2017

2017	Fourniture	Consommables	Maintenances	Support
<b>Montants</b>	0	71.5	59	6
<b>En K€</b>				

Même si elle a été réalisée début 2018 l'ouverture du 412 a été imputée sur le budget 2017. Ce qui explique les coûts très élevés cette année

## 2018

2018	Fourniture	Consommables	Maintenances	Support
<b>Montants En K€</b>	21	15	15.3	0

Les évolutions majeures portent sur

Consommables : nous allons procéder à un rechargement des cellules du 412 janvier 2018. Cette opération survient en moyenne tous les 2 ans.

La maintenance de la chambre de croissance du MBE412 en janvier 2018 a nécessité de provisionner des pièces en 2017.

La fourniture correspond à l'achat de substrats GaAs.

## FORMATIONS

### Formations assurées

Type	Intitulé	Durée (h)	Nombre de sessions/an	Durée totale/an(h)	Nombre total de participants /an
Formation pratique	Epitaxie par Jets Moléculaires	En continu	sur plusieurs mois	~50h	3
Formation pratique	Réflectivité X	4H	5	20	5
Formation pratique	GIXRD	4H	1	4	1
<b>TOTAUX</b>			6	74	9

### Compétences acquises

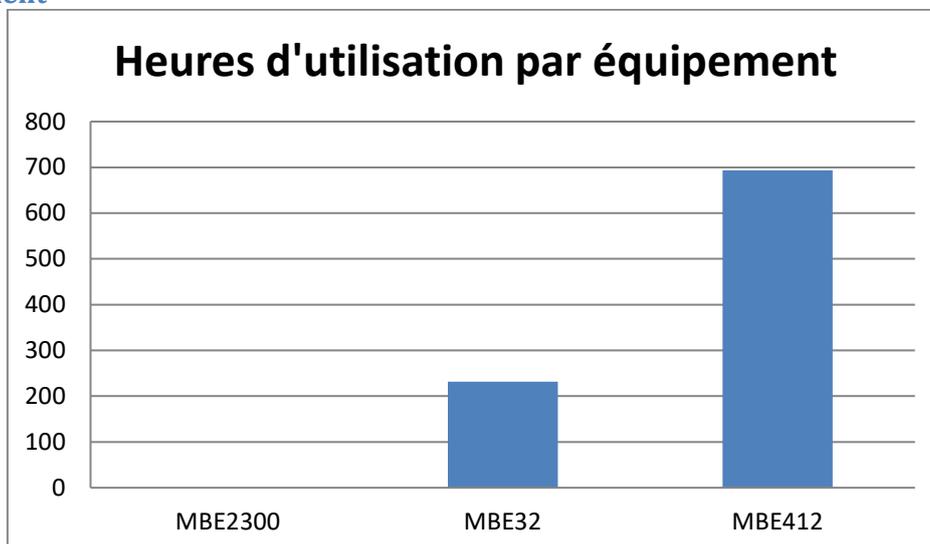
Formations LabVIEW (niveau 1, 2, FGPA).

### Besoins

Formation au vide/ultravide dispensée par le SFV pour formalisation des savoirs de Q. Gravelier

## BILAN

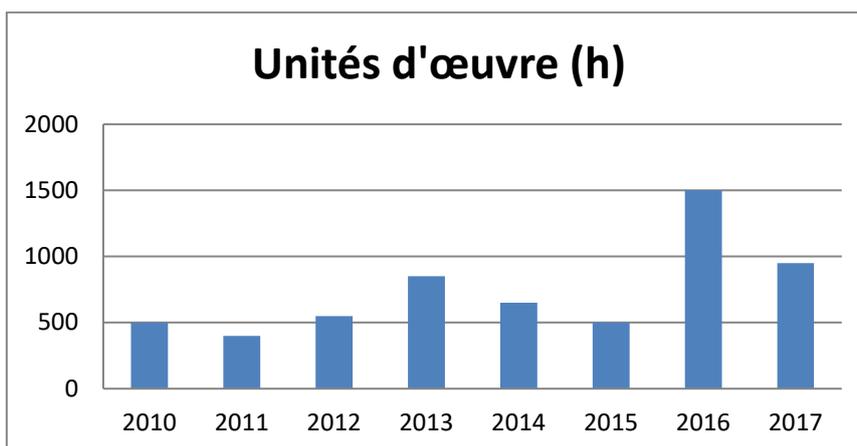
### Par équipement



Le MBE2300 est à l'arrêt sous ultravide en attente de financements pour son éventuelle reconfiguration. Des projets ont été déposés afin de rénover le manipulateur et d'y installer de nouveaux matériaux.

Le MBE32 a subi une maintenance standard dont le but principal était le rechargement des cellules, Son activité a été principalement centrée sur des croissances de jonctions tunnel pour le photovoltaïque et d'alliages à base de Bi. En 2017, MBE412 n'a pas pu faire de croissance de structures complexes (Ga6 bloqué), ce qui a réduit le nombre d'épitaxies effectuées.

#### 4.2 Evolution au cours des années



La baisse du nombre d'heures de croissances est due à l'impossibilité de faire croître des structures complexes (en longues) en 2017 à cause de la cellule Ga6 bloquée.

### EVOLUTIONS DE PROCÉDES

#### 2017

##### Nouveaux outils de suivi in-situ

De nouveaux outils ont été développés dans la zone afin de mieux suivre le procédé de croissance et de le fiabiliser (voir la première partie de ce bilan).

##### Nanofils III/V sur Si

Les conditions de nucléations des nanofils III/V sur Si sont étudiées. Cette étude est entièrement menée par Sébastien Plissard (MPN), avec l'aide de son doctorant Daya Dhungana qui a été formé sur le MBE412. A noter le développement de nanofils à base de BiSb.

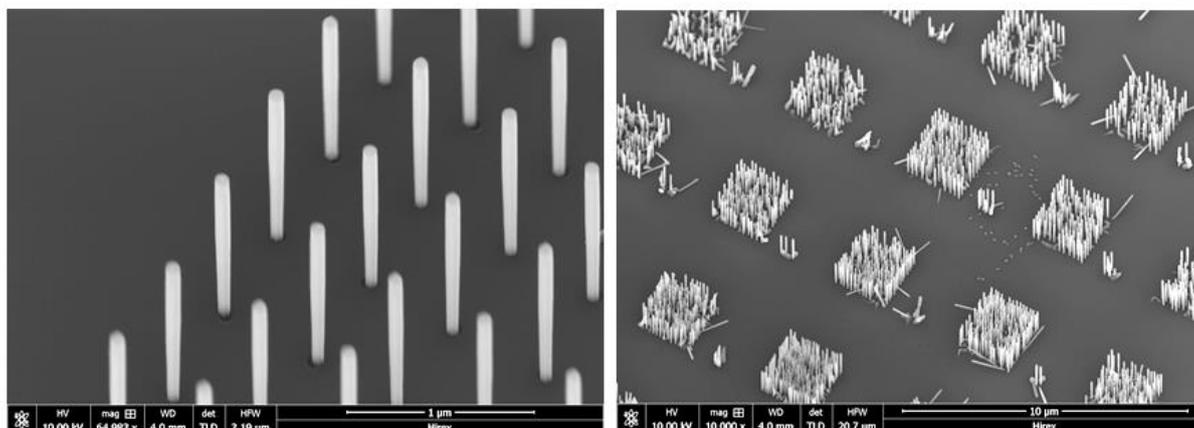
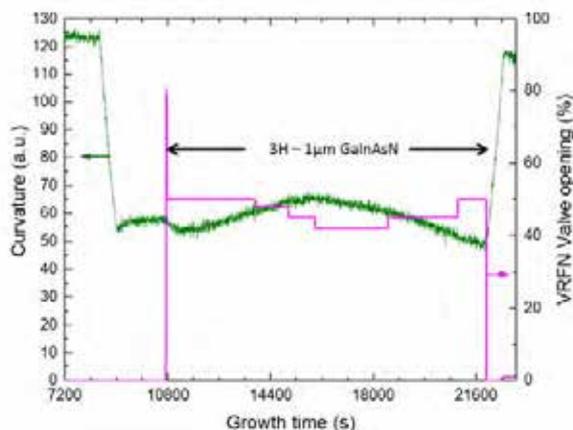


Figure : Nanofils III/V sur Si - LAAS

## Nouveaux alliages dans le MBE412

Dans le cadre du projet Européen SOLCELL, des croissances d'alliages de GaInAsN, GaAsSb, GaInAsSb, et AlAsSb ont été réalisées avec succès grâce au développement en interne de la mesure in situ, et en rotation, de la déformation de plaquettes. Par exemple, nous sommes parvenus à faire croître une couche épaisse (1 $\mu$ m) de GaInAsN en quasi accord de maille sur le GaAs grâce à la mesure de déformation en temps réel.



**Figure 4** : évolution de la courbure lors de la croissance de l'alliage à 1eV GaInAsN (vert), et variation de l'ouverture de la vanne de la cellule de plasma N afin de rester en accord de maille.

## 2018

**OFM Bi** : étendre la mesure de flux par absorption atomique à l'élément Bi. Achat d'une lampe à cathode creuse + alimentation – étude de la longueur d'onde optimale de suivi.

**Automatisation** : combiner les données partielles obtenues par les différents outils de suivi in-situ afin de les utiliser pour réaliser des croissances, d'abord simples, de façon automatique, via les mécanismes d'apprentissage ou la logique floue par exemple. Il faudrait un stagiaire, codirigé par TEAM, PHOTO et GEPETTO.

## SYNTHESE

### MBE32

Les croissances ont été menées par Chantal Fontaine (PHOTO).

### MBE412

Deux activités cohabitent avec succès : les croissances de nanofils sur Si, et une activité à base de structures III-V pour les composants et nouveaux alliages III/V pour la photonique.

### Personnel

Quentin Gravelier (AI CDD) a été formé par G. Lacoste, A. Arnoult et C. Fontaine aux premières bases des techniques de l'ultra vide et de l'épitanie. Ainsi il a pu participer à plusieurs interventions complexes du réacteur MBE32, et prépare activement l'intervention de janvier 2018 du MBE412.

Il a effectué de nombreuses maintenances et a publié trois notices techniques, portant sur la spectrométrie Auger, et les procédures d'entrée/sortie sur les bâtis MBE32, MBE2300, et MBE412. Guy Lacoste (IE) prendra sa retraite en 2018, et Quentin Gravelier est en contrat à durée déterminée. La zone risque alors de n'être plus gérée que par Alexandre Arnoult (IR), qui a de plus la charge des croissances pour les groupes PHOTO, MICA, et pour l'accueil Renatech, ainsi que la charge du diffractomètre de rayons X du laboratoire, ainsi que le développement des nouveaux outils de diagnostic in-situ.

La technicité de la zone est très spécifique (UHV, arséniures) et les compétences nécessaires au maintien et à l'évolution des équipements d'épitanie par jets moléculaires ne peuvent s'acquérir qu'après des longues années au contact de cet environnement. C'est pourquoi il est fondamental de recruter rapidement dans la zone un assistant ingénieur qui pourra alors bénéficier de tout le savoir de Guy Lacoste avant que celui-ci ne parte en retraite.

## TRAITEMENTS THERMIQUES ET IMPLANTATION IONIQUE

### EQUIPEMENTS

Nom	Libre service	Année d'achat	Valeur d'achat (k€)	n° inventaire	Référence dans LIMS	Priorité
<b>Bâti de fours 4" d'oxydation et redistribution AET (3 tubes)</b>	Non	1986	305	11146_PT	T16-T18	1
Fours dépôts LPCVD Tempress 4" (3 tubes)	Non	1988	53,4	11148_PT	T29	1
<b>Fours recuits AET 4" (2 tubes)</b>	Oui	1986	30,5	10235_PT	T24-T25	1
Réacteur de dépôt PECVD STS	Non	2000	364	10080_PT	T21	1
<b>Réacteur de dépôt LPCVD vertical</b>	Non	1996	200	11149_PT	T20	0
Bâti de fours 6" d'oxydation, diffusion et redistribution Centrotherm (4 tubes)	Non	2006	520	7980_W	T1-T4	0
<b>Bâti de fours 6" de dépôts LPCVD et recuit Alu</b>	Non	2006	585	7981_W	T5-T8	0
<b>Centrotherm avec le système d'abattement des gaz (4 tubes)</b>	Non	2008	80	8701_CE	T19	0
Bâti d'oxydation AsGa AET	Non	2011	155	10235_PT	T9-T12	0
<b>Bâti de recuit 6" AET (4 tubes)</b>	Non	2008	228	9127_W	T14	0
Bâti de recuit rapide Si 6"/8" Annealsys	Non	2008	99,6	9126_8	T13	0
<b>Bâti de recuit rapide AsGa 4"/6" Annealsys</b>	Non	2011	406,7	10107_PT	T22	0
Réacteur de dépôt ICPECVD basse température OXFORD	Non	2012	350	10515_PE	T23	0
<b>Bâti de dépôt ALD</b>	Non	1997	304,194	11147_PT	T26-T28	1
Bâti de fours de recuit SEMCO 6" (3 tubes)	Non	1995	351			
<b>Implanteur ionique Eaton 4206</b>	Non	2007	331	11152_PV	I1	0
IMC 200 (upgrade du 4206)	Non	2009	20			
Upgrade IMC 200	Oui	2007	10		I2	1
<b>Hotte à flux</b>						

### Maintenances significatives

#### 2017

- Fours
  - Préventives annuelles ALD, ICPECVD, Centrotherm.
  - Changement du liner du tube Si3N4 Centrotherm.
  - Nettoyage et réparation de pièces en quartz (Four Reve)
- Implanteur ionique
  - Changement de l'absorbeur du compresseur, des 2 pompes cryogéniques et de la pompe à diffusion d'huile.

#### 2018

- Fours
  - Préventive du scrubber Centrotherm
  - Préventives ALD, ICPECVD, Centrotherm
  - Changement des Eurotherm sur les fours Rêve, AET Bore, recuits métaux Au et Cu et recuit polyimide 4"

- Rétrofit du bâti PECVD STS par la société ApSy (93 k€)
- Implanter ionique
  - Changement du tube accélérateur
  - Changement du PC de contrôle

Nécessité de maintenir certains équipements peu utilisés, de façon à assurer la pérennité de certaines filières technologiques (tube Si-poly et dopage POCl<sub>3</sub>) comme la filière MOS qui est, par ailleurs, unique au sein des centrales du réseau Renatech. Le retrofit du PECVD est attendu (retour prévu fin juillet) pour pouvoir refaire des dépôts de SiO<sub>2</sub> et Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> de fortes épaisseurs.

### Evolutions significatives

Evolution pour moins dépendre des équipementiers tels que Centrotherm.

Au niveau hardware, achat de MFC compatibles.

Au niveau soft, duplication des programmes de base.

### Prospectives

#### Bâti ALD pour le dépôt de RuO<sub>2</sub> (Montant en cours de définition)

Dans le cadre de la bourse ERC obtenue par David Pech, nous prospectons pour l'achat d'un bâti ALD pour le dépôt de RuO<sub>2</sub>. En effet, ce dépôt se fait sur une couche d'Or électro-déposé et donc non compatible avec notre bâti ALD actuel. Ce bâti sera entièrement financé par la bourse ERC.

#### SCA (Surface Charge Analyser) (4,5 k€)

LE SCA est actuellement en maintenance chez la société Veonis Technologies pour sa remise en service

#### Changement tube phosphore sur les fours Centrotherm (120 k€)

Afin de pouvoir répondre à certaines demandes, nous envisageons de changer le tube phosphore. C'est à dire de passer d'un tube en quartz actuellement à un tube en SiC. Cela permettrait d'atteindre des températures de recuit de 1150 °C (contre 1070°C à ce jour).

#### Bâti implantation par immersion plasma (750 k€)

A plus long terme, et si des demandes de projets émergent, nous pourrions nous équiper d'un bâti d'implantation par immersion plasma (PIII). Cela nous permettrait de réaliser des implantations spécifiques que l'implanteur actuel ne permet pas de faire telles que des implantations à très faible énergie et fortes doses, conformes dans des tranchées ou des structures 3D. Les applications visées pourront concerner autant la filière MEMS (traitement de surface) que la filière MOS (jonctions ultra-minces).

## ORGANISATION

### Personnel

- Imbernon Éric (IR1) : responsable de zone, gère l'implanteur ionique et les bâteaux d'oxydation, redistribution (AET et Centrotherm) et dépôts LPCVD (Centrotherm). Il s'investit également sur le bâti ALD.
- Rousset Bernard (IRHC), s'occupe de la partie ICPECVD et est le contact privilégié avec les fournisseurs et équipementiers
- Marrot Jean-Christophe (AI) est en charge de l'implanteur ionique ainsi que des bâteaux de recuit métaux AET et recuits rapides. Aussi, il s'implique fortement sur l'ICPECVD.

De plus, Emmanuel Scheid intervient fortement sur la zone pour la réalisation des dépôts sur le four Si poly dopé Bore (Rêve) et sur le bâti ALD.

Bernard Rousset va partir à la retraite à la mi-août 2018. A court terme, Éric Imbernon va prendre en charge la relation avec les équipementiers et JC Marrot sera seul responsable de l'ICPECVD. A long terme, il sera nécessaire de faire venir une personne sur la zone car il va être compliqué de maintenir et conduire tous ces équipements (plus de 30 réacteurs) à deux personnes seulement.

## Gestion des activités

La gestion des équipements se fait grâce à un planning qui permet d'organiser au mieux l'activité.

Tous les procédés réalisés dans la zone sont archivés dans un fichier électronique.

Mis à part les tubes de recuits métaux 6" et Polyimide 4" qui sont en libre-service, les réservations seront toujours exclusivement effectuées par le personnel référent de la zone.

## Calibrations / validations des équipements et procédés.

### Existantes

Fours	Nature de l'action conduite	Fréquence
Qualification du SiO <sub>2</sub> déposé par PECVD	Dépôt de SiO <sub>2</sub> par PECVD dans l'ICPECVD	Tous les mois
Qualification de l'épaisseur d'oxyde thermique	1. Oxydations thermiques sèches et humides de 25 plaquettes par tube 2. Cartographie par ellipsométrie	Tous les semestres
Qualification de la qualité de l'oxyde thermique	1. Nettoyage RCA sur 25 plaquettes 2. Oxydations thermiques de 4 nm, 55 nm et 100 nm dans chaque tube 3. Caractérisations C(V) sur les plaquettes	Tous les semestres

Implanteur ionique	Nature de l'action conduite	Fréquence
Qualification de l'homogénéité d'implantation	1. Cartographie de la résistivité d'un substrat 4" et d'un substrat 6" de type N 2. Oxydation thermique 100 nm 3. Implantation Bore à 50 keV et $1.10^{14}$ at.cm <sup>-2</sup> 4. Désoxydation 5. Recuit d'activation 30 min à 1000°C sous N <sub>2</sub> 6. Cartographie de la résistivité des plaques	Annuelle

### Envisagées

Fours	Nature de l'action conduite	Fréquence
Qualification du dépôt et du dopage du Si poly	1. Dépôt de 300nm Si-poly dans le four LPCVD 2. Cartographie de l'épaisseur déposée 3. Dopage par diffusion de phosphore 4. Mesure 4 pointes de la résistivité	Tous les mois

Implanteur ionique	Nature de l'action conduite	Fréquence
Qualification du masquage des espèces Implantées (Bore et Phosphore)	1. Cartographie de la résistivité de 8 substrat 4 pouces 2. Oxydation thermique 40 nm sur 4 substrats 3. Implantation Bore et Phosphore à 50 et 150 keV à 1 dose de $1.10^{16}$ at.cm <sup>-3</sup> 4. Retrait de la résine 5. Recuit d'activation 30 min à 1000°C sous N <sub>2</sub> 6. Désoxydation 7. Cartographie de la résistivité des plaquettes	Annuelle

## BUDGET

### 2017

2017	Fourniture	Consommables	Maintenances	Support et Sécurité
Montants En K€	0	2,7	57	0

Le budget maintenance est conséquent et principalement dû aux préventives de l'ALD, de l'ICPECVD et des fours Centrotherm (35 k€) et à la réparation du quartz du four Rêve. De plus, cette année, nous avons eu à changer la pompe à diffusion d'huile ainsi que les 2 pompes cryogéniques sur l'implanteur. Le budget consommable est essentiellement dû aux gaz process (O2, H2, Ar, BCL3, N2H2...)

## 2018

2018	Fourniture	Consommables	Maintenances	Support et Sécurité
<b>Montants En K€</b>	4,5	10,2	65	9,8

Le budget prévisionnel maintenance est en augmentation car nous prévoyons notamment le changement du tube accélérateur sur l'implanteur ionique. De plus, nous prévoyons dans la partie support, le démarrage du SCA. La partie des consommables correspond aux gaz process et à l'achat d'un suscepteur pour le four RTP As-One. A noter que ce budget est en augmentation car nous avons acheté deux bouteilles de gaz spéciaux fluorés (BF3 – 670 €) et chlorés (SiH2Cl2 – 1440 €) dont les frais de livraison s'élèvent à 1350 € et prévoyons également l'achat d'un clamp sur le bâti ICPECVD.

## FORMATIONS

### Formations assurées

Type	Intitulé	Durée (h)	Nombre de sessions/an	Durée totale/an(h)	Nombre total de participants /an
<b>Cours TEAM</b>	<b>Techniques de dopage</b>	1h30	1	1h30	20
	<b>Oxydation thermique</b>	1h30	1	1h30	20
	<b>Dépôts CVD</b>	1h30	1	1h30	20
<b>Formation pratique</b>	<b>RTP</b>	1h	1	1	2
	<b>ICPECVD</b>	3h	3	9	5
<b>TOTAUX</b>			7	14h30	67

### Compétences acquises

Jean-Christophe Marrot s'est formé "sur le terrain" sur l'ICPECVD.

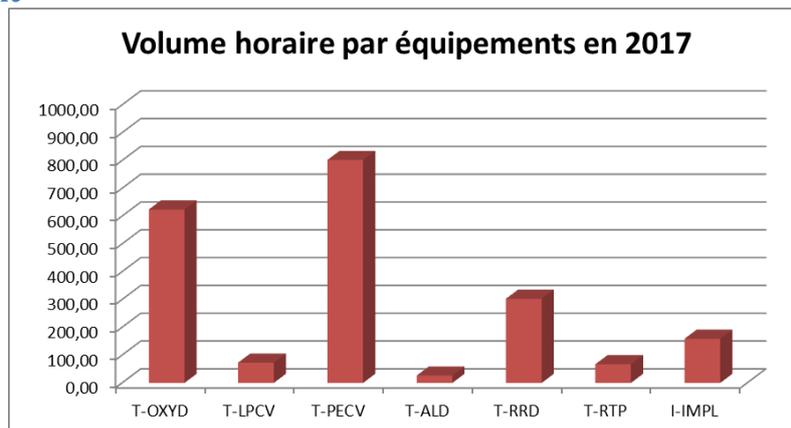
### Besoins

Éric Imbernon et Jean-Christophe Marrot vont demander une formation sur le dépôt de couches minces par CVD de façon à améliorer leurs connaissances dans ce domaine.

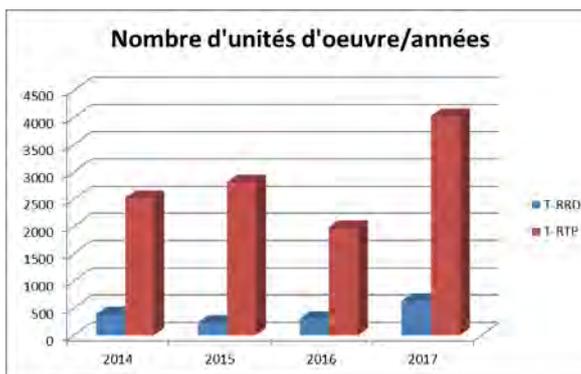
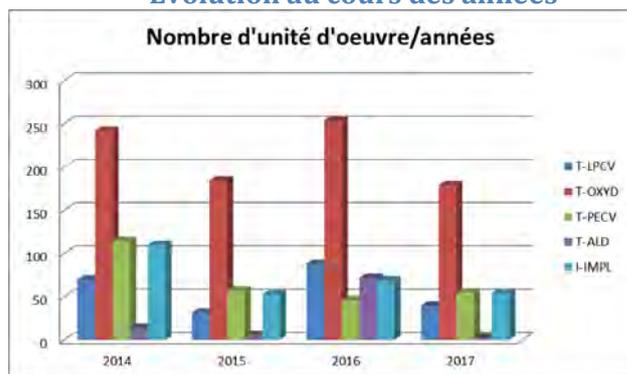
De plus, nous allons nous former sur la détection de fin de dépôt sur l'ICPECVD

## BILAN

### Par équipement



## Evolution au cours des années



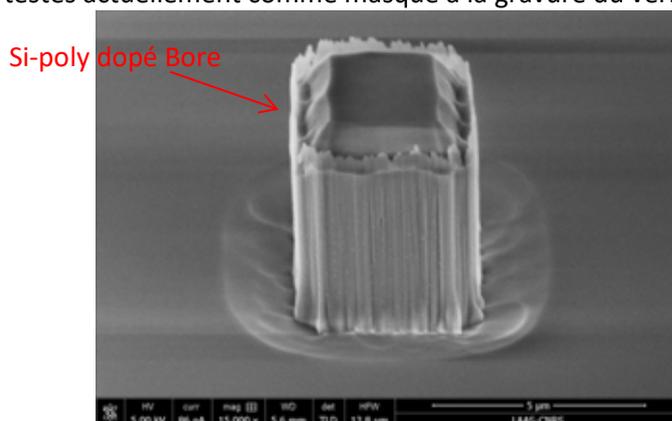
L'activité est en légère diminution, mis à part la partie recuit (classique et rapide). Nous remarquons tout de même une forte baisse de l'activité ALD, due à la fin de la collaboration avec la société Nanolike (qui a désormais son propre bâti).

## EVOLUTIONS DE PROCÉDES

### 2017

#### Four LPCVD Tempress

Des premiers tests ont été effectués sur le contrôle de dopage en Bore des dépôts de Si poly cristallin. Les dépôts réalisés dans ce tube sont testés actuellement comme masque à la gravure du verre par RIE.



Gravure du verre avec masque en poly silicium dopé Bore

### 2018

#### Four LPCVD Tempress

Nous envisageons le dépôt de nanofils de Si à partir de plots d'Or pour un projet conduit par Aurélie Lecestre.

#### Bâti ICPECVD

Nous avons demandé un devis à Oxford concernant l'ajout d'une ligne de gaz permettant le dépôt de TiO<sub>2</sub>. Cette demande émerge de la cellule photonique.

## SYNTHESE

### Personnel

Jean-Christophe Marrot est maintenant formé sur tous les fours de recuits et sur le bâti ICPECVD.

Éric Imbernon est formé sur le bâti ALD et va se former sur le four REVE et le bâti ICPECVD.

Dès que le PECVD STS sera opérationnel Éric Imbernon et Jean-Christophe Marrot seront formés.

Bernard Rousset s'est investi dans les différents projets de rétrofit actuels (TEGAL) et futurs (PECVD STS). De plus, Bernard Rousset, Éric Imbernon et Jean-Christophe Marrot vont participer à l'expertise pour l'achat du nouveau bâti ALD.

L'élément remarquable cette année est le départ à la retraite de Bernard Rousset à la mi-août. Dans un premier temps, Éric Imbernon et JC vont se répartir les tâches assurées par Bernard Rousset mais il sera nécessaire à terme de recruter une autre personne sur la zone.

### Equipements

Le bâti PECVD STS est parti en rétrofit chez la société ApSy. Son retour est prévu fin juillet.

Le four REVE constitue toujours un élément fondamental dans la zone notamment pour le remplissage de tranchées profondes dans le cadre du projet ANR ConvPlus.

## CHIMIE

### EQUIPEMENTS

#### Liste

Nom	Libre service	Année d'achat	Valeur d'achat (k€)	n° inventaire	Référence dans LIMS	Priorité
Armoire de stockage simple PP	Oui	2016	1			
Armoire de stockage double PP	Oui	2016	2			
Hotte solvants et PDMS	Oui	2016	10	11969_HA23		
Hotte solvants propres	Oui	2016	7	11968_HA23		
Hotte chimie exploratoire	Oui	2008	14	8474_W	F13(C8474 W)	1
Poste de nettoyage RCA et piranha collectif 6 "	Oui	2005	122	8475_W	F12 (8475W)	0
Poste de nettoyage RCA et piranha collectif 4 "	Oui	1990	61	-	F10	1
Poste chimie GaAs	Oui	2005	23	8473_W	F8 (8473 W)	
2 sorbonnes	Oui	2000	46	-	F4 F5	
Poste inox de délaquage de résine avec 2 bacs chauffants agités par ultrasons	Oui	2005	31	7861_C	F3(7861_C)	0
Hottes chimie	Oui	2005	46	8472_W	F2(8472_W) F9 F1(8472_W )	
• 1 poste de chimie technologie MOS						
• 2 postes de chimie						
Poste d'attaque collectif par Buffer HF pour technologie MOS	Oui	2005	21	8471_W	F11 ( 8471W)	1
Centrifugeuse Semitool avec rotor 4 pouce	Oui	1990	24	7797_C		
Centrifugeuse Semitool avec rotor 6 pouces	Oui	2005	34			
Equipement de nettoyage par UV/ozone	Oui	2013	13	7872_W	F6(7872_W)	1

#### Maintenances significatives

##### 2017

- Sur poste AZ100 remove réparation du générateur d'ultrasons bac 2 (effectuée par IBS) et changement du bain thermostaté (commandé chez IBS).
- Sur la semitool 4 pouces réparation du contrôleur électronique, un essai a montré que la carte ne fait plus disjoncter les installations électriques, mais les fonctions initiales ne sont pas encore rétablies. Des essais supplémentaires sont prévus.
- Diverses pannes de commandes de fluides.
- Réparation contrôle de température bac HNO<sub>3</sub> RCA 6 pouces.

##### 2018

- Changement de la lampe de l'UV ozone à prévoir.
- Rétrofit commandes de fluides + refroidissement couvercle AZ100 remove.

### Caractérisation aéraulique des équipements :

En 2017 une campagne de caractérisation d'une série d'équipements du point de vue de leurs qualités aérauliques et du confinement qu'ils assurent vis-à-vis des vapeurs de produits chimiques a été conduite par la société MAPE et la zone chimie.

Cette campagne a concerné 12 postes typiques de ceux qu'on trouve en salle blanche. Les postes mesurés appartenaient à 4 zones (photolithographie 4 postes, chimie 6 postes, nanolithographie 1 poste, assemblage intégration 1 poste).

Les résultats de cette campagne sont résumés dans le tableau suivant.

Résultats sur 12 postes caractéristiques de la salle blanche

Légende :	Conforme = C	Non Conforme = NC	Non Applicable = NA
-----------	--------------	-------------------	---------------------

Les nuances de couleurs sont une image de l'écart à la norme : ex : orange pale = non conforme mais moins éloigné que rouge foncé

Postes	Mouvements aérauliques	Vitesse frontale moyenne ( m/s)			Confinement (ppm SF <sub>6</sub> )
		Max	Gen	Min	
1 Tournette P3 (photolitho)	NC	0,5	0,38	0,3	0,131
2 Révélation P3 (photolitho)	C	0,87	0,74	0,62	0,118
3 Tournette P2 (photolitho)	NC	NA			>500
4 Révélation P2 (photolitho)	NC	NA			0,01
5 Sorbonne chimie exploratoire (chimie)	C	0,76	0,56	0,11	1,944
6 Chimie PDMS et dégazage (chimie)	C	0,86	0,71	0,32	0,019
7 Sorbonne chimie 1 (chimie)	C	0,67	0,58	0,41	0,243
8 Gravure métaux (chimie)	NC	0,66	0,39	0,09	0,056
9 HF métaux (chimie)	NC	0,41	0,19	0,05	0,47
10 RCA 4' (chimie)	NC	NA			0,01
11 Hotte à Flux Laminaire (nanolitho)	C	1,2	0,99	0,81	2,6
12 RCA Intégration (assemblage Intégration)	C	0,78	0,61	0,51	0,019

Les caractérisations réalisées concernent les critères correspondant à la norme NF EN-14175 relative au sorbonnes de laboratoire. Les principaux critères sont ceux des mouvements aérauliques (visualisation des flux d'air grâce à un brouillard d'eau) ; de la vitesse d'air frontale (conformité à la norme à partir de vitesses moyennes de 0,4 m/S) ; du confinement d'un gaz inerte injecté dans le poste (SF<sub>6</sub>, conformité à la norme si moins de 0,1 ppm détecté en façade à l'extérieur du poste).

Cette campagne a permis de déceler plusieurs anomalies de fonctionnement (en photolithographie, nanolithographie, et chimie) qui ont été rapidement traitées, et les chiffres que nous obtiendrions aujourd'hui sur les postes concernés seraient plus satisfaisants.

Elle a par ailleurs permis de tirer les conclusions suivantes :

Les essais d'amélioration de confinement réalisés en chimie (poste gravure humide de métaux) et en photolithographie (postes 3) montrent une amélioration sans pour autant qu'on est atteint le même niveau de protection que celui qui serait assuré par un poste de type sorbonne répondant à la norme NF EN-14175.

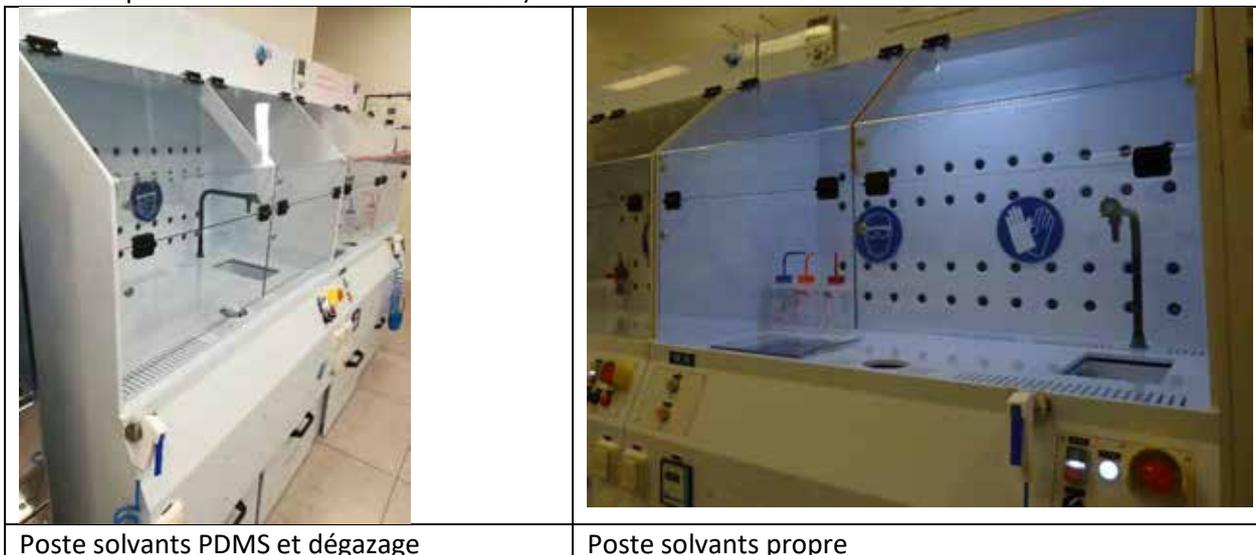
Des postes qu'on aurait pu croire satisfaisants du point de vue de leur confinement (sorbonnes 1 en zone chimie classique et sorbonne en chimie exploratoire) se révèlent moins performants qu'on l'aurait souhaité et ne satisfont pas à la norme NF EN-14175

Le confinement par parois de confinement articulées peut assurer la même qualité de confinement que celle qui est assuré par une sorbonne (vitre abaissable) et répondre à la norme NF EN-14175 correspondante. Toutefois certains utilisateurs font observer qu'ils ont des difficultés avec ce type d'équipement à bien visualiser les opérations qu'ils sont en train de réaliser, notamment lorsque leur taille fait que les articulations de ces parois se trouve au niveau de leurs yeux. Un risque de contamination du bas de visage par des produits qui aurait été malencontreusement déposé sur la paroi articulée avant qu'elle ne soit retournée a également été soulevé. Ce problème est évité par le port d'une visière de protection adaptée au lieu de lunettes de protection.

## Evolutions significatives

### Refonte des moyens en chimie

Installation dans le cadre de la refonte de la chimie en salle blanche, des postes de la zone chimie qui font partie de ce premier volet : ce sont les postes « solvants propre » et « solvants et PDMS » qui permettent de combler l'espace dégagé par le déménagement des équipements MOS dans un espace dédié en salle de lithographie laser. Un poste nano MOS polyvalent a également été installé pour cet espace ainsi qu'un autre poste MOS polyvalent (opportunité d'achat suite dépôt de bilan société minaservices).



Nouvelles fonctionnalités apportées par ces postes dont l'installation en conditions opérationnelles a été effectuée en 2017 :

**Poste « solvants propres » :** Poste solvants permettant de manipuler des solvants organiques en l'absence de contaminations, notamment de particules métalliques telles que celles produites par les procédés lift off. Ce poste est totalement opérationnel

**Poste « solvants et PDMS » :** Poste solvants avec pompe chimique à membrane (vide limite 2 mbar) et d'un contrôleur de vide permettant par exemple le dégazage (PDMS ou autre) ou le remplissage de cavités par utilisation d'une pression réduite contrôlée et sans risque de dégrader le réseau de vide primaire de la salle blanche. Le poste est opérationnel, La pompe est en cours d'installation.

**Poste « nano MOS » polyvalent :** Sorbonne dédiée aux activités nano MOS permettant de travailler en sécurité dans un espace exempt de contaminations susceptibles de nuire à cette technologie. Ce poste est totalement opérationnel

**Poste MOS polyvalent :** Sorbonne dédiée aux activités MOS (standard ou nano) permettant de travailler en sécurité dans un espace exempt de contaminations susceptibles de nuire à cette technologie. Ce poste est totalement opérationnel

#### Aménagement de sécurité sur postes existants :

Les caractérisations aérodynamiques des modifications qui ont été faites sur le poste « gravure métaux » (Prolongation des côtés de la partie surmontant le plan de travail pour une meilleure canalisation des flux et extension non rabattable en partie haute) ont montré que ces modifications étaient insuffisantes quoiqu'allant dans le bon sens.

Cette configuration n'est donc pas retenue en l'état, d'autres options sont prévues notamment la mise en place en partie haute de volets rabattables. Elle sera étendue au poste « HF métaux » voisin.

#### Déménagement réalisé des postes RCA 6 pouces et BOE

Ces postes ont été déménagés dans l'espace MOS nouvellement créé et les postes « gravure métaux » et « HF métaux » ont été installés du côté « acides » de la zone chimie principale le but étant d'avoir un côté « organique-solvants » (côté droit en entrant dans la zone) et un côté « minéral-acides » (côté gauche en entrant dans la zone) pour une meilleure lisibilité et la prévention de mélanges hasardeux.

Début 2018, le poste RCA 6 pouces est totalement opérationnel, le poste BOE n'est pas encore équipé des confinements qui lui permettront d'être remis en service

## Prospectives

Les prochains postes en perspectives sont les suivants :

### **Aménagement de sécurité sur postes existants (10-15 k€)**

Ces opérations concernent notamment la mise en place de confinements sur le poste BOE qui a été installé en zone chimie ainsi que l'amélioration des confinements sur les postes « gravure métaux » et « HF métaux ».

### **Sorbonne HF/acides (27 k€)**

Sorbonne (vitre abaissable) destinée à manipuler l'acide fluorhydrique concentré (ex : gravures HNA, révélation de dopages, gravures verres épais, HF vapeur) où d'autres mélanges acides agressif (ex : HBr/oxydant pour gravure isotrope III/V) dans de meilleures conditions de sécurité. Ce poste devra notamment répondre à la norme NF EN14175. Il comportera des bacs intégrés.

### **Remplacement du poste RCA 4 pouces par un poste de nettoyages/gravures acides par lots et individuels (140 k€)**

Installation à la place du poste RCA 4 pouces obsolète (fonction actuellement assurée par le poste RCA 6 pouces) d'un poste destiné au traitement collectif ou individuel en 4 ou 6 pouces de nettoyages  $H_2O_2/H_2SO_4$  (sur plaquettes silicium, verre ou masques) avec deux niveaux de propreté, de traitements par HF ou Buffered HF, ou de gravure de  $Si_3N_4$  par acide phosphorique. Ce poste fournira notamment une solution au problème du nettoyage de plaquettes 6 pouces pour lesquels la méthode totalement manuelle n'est pas satisfaisante. Les réponses à l'appel d'offres ont été reçues en 2017, le bon de commande a été réceptionné par le fournisseur sélectionné début 2018. L'installation interviendra courant 2018.

### **Sorbonne rampe à vide/gaz (25 k€)**

Sorbonne (vitre abaissable) équipée d'une rampe à vide/gaz neutre pour la réalisation de vide primaire (vide limite  $10^{-3}$  mbar) pour des applications variées (par exemple pour le remplissage sous pression réduite de petites canalisations ou des dégazages), la manipulation de substances à l'abri de l'oxygène et de l'humidité (par exemple pour des traitements de surface spécifiques), ou la protection de l'opérateur vis-à-vis de substances présentant un risque particulier. Ce type d'équipement permettrait ainsi de d'accéder à de nouveaux traitements de surfaces ou de manipuler ou synthétiser de nouvelles substances (type résines HSQ par exemple).

### **Cabine de sonication (5 k€)**

Cabine permettant d'accueillir le sonicateur (utilisé par exemple pour la mise en suspension de particules) pour une utilisation plus aisée de cet équipement et afin de libérer l'espace sous la sorbonne de chimie exploratoire (manipulation des produits CMR et nanoparticules).

### **Mise en place de couvercles refroidissants sur le poste de délaquage par AZ100 remover et autres mise à jour (6 k€)**

Modification de ce poste permettant de condenser les vapeurs d'AZ100 remover afin de limiter les condensats dans le système d'extraction de la salle blanche tout en limitant la consommation de produit et les impacts sur l'environnement. Reprise des réseaux et asservissement en température du résistivimètre.

### **Équipement de traitement des plaquettes par acide fluorhydrique en système clos (500-800 k€ selon configuration)**

Ce type d'équipement permettra de traiter les plaquettes par acide fluorhydrique ou des solutions à base d'acide fluorhydrique (désoxydation, nettoyages avant oxydation, éventuellement gravure humide de la silice en fonction des options retenues) dans un système clos et totalement sécurisé pour l'opérateur (pas d'exposition possible de l'opérateur à l'acide fluorhydrique ou ses vapeurs). Il sera ainsi possible de l'utiliser pour les CDD ou stagiaires dans le respect de la législation du travail, et ce même en l'absence de dérogation.

### **Équipement de spray solvants pour lift-off (175 k€)**

Ce type d'équipement permettrait de traiter les lift-off par spray solvants (simplification, gain de temps, meilleure efficacité du procédé et moindre encombrement)

## ORGANISATION

### Personnel

- Doucet Jean-Baptiste : responsable de zone
- Nathalie Lauber (Technicienne chimiste ITRF UPS BAP B MESR qui était en ARTT jusqu'à 2,5 J/semaine) a été invitée par l'Université à reprendre ces activités à temps complets dans les locaux de l'Université depuis septembre 2017. Il n'y a désormais plus qu'une personne pour assurer le fonctionnement de la zone chimie.

### Gestion des activités

Zone en libre-service après formation.

### Calibrations / validations des équipements et procédés.

#### Existantes

Objectif	Nature de l'action conduite	Fréquence
Vérification des extractions sur postes de chimie pour la protection des opérateurs	Visualisation des flux d'air sous les postes de chimie par tube fumigène	2 fois par mois
Vérification du fonctionnement de la douche de sécurité et du rince œil	Actionnement de la douche et du rince œil	2 fois par mois
Vérification des résines nano impression après fabrication d'un lot	Réalisation d'un procédé d'impression et caractérisation du résultat	1 fois tous les deux mois
Qualification des procédés de nettoyage RCA et piranha collectifs 6 pouces ainsi que du BOE	Réalisation d'un diélectrique SiO <sub>2</sub> après nettoyages chimiques/gravure et qualification du diélectrique par mesures C= f(V)	1 fois par an
Qualification de bains de gravures de matériaux	Gravure de matériaux et qualification des résultats	Autant que nécessaire

#### Qui vont être mises en place

Objectif	Nature de l'action conduite	Fréquence
Vérification des extractions sur postes de chimie pour la protection des opérateurs	Mesure des flux d'air par anémomètre calibré	1 fois par semestre

## BUDGET

### 2017

2016	Fourniture	Consommables	Maintenances	Support et sécurité
Montants En K€	0	29	3	8

- Consommables : correspond aux produits chimiques.
- Maintenances :
  - AZ100 remover : réparation générateur d'ultrason + changement bain thermostaté non réparable (1458€)
  - RCA 6 : pouces réparation bac HNO<sub>3</sub> et vidange HF dilué
- Support et sécurité : Installation des postes de chimie à leur emplacement ; réparation vitre abaissable sorbonne solvants (poste 19) ; évacuation et retraitement des déchets chimiques

## 2018

2015	Fourniture	Consommables	Maintenances	Support et sécurité
<b>Montants En K€</b>	0	30	24	20

- Consommables : correspond aux produits chimiques.
- Maintenances :
  - AZ 100 remover : ajout couvercle refroidissant et rétrofit électronique
  - Electronique semitool 4 pouces selon bilan
- Support et sécurité : raccordement du nouveau poste à son emplacement + modifications de sécurité sur postes existants ; divers travaux de plasturgie ; évacuation et retraitement des déchets chimiques

## FORMATIONS

Type	Intitulé	Durée (h)	Nombre de sessions/an	Durée totale/an (h)	Nombre total de participants /an
<b>Cours TEAM</b>	<b>Prévention du risque chimique en salle blanche</b>	1h30	1	1h30	40
<b>Formation pratique</b>	<b>Prévention du risque chimique en salle blanche : aspects pratiques et risques locaux</b>	2,5	12	30	48
<b>Formation pratique</b>	<b>Fonctionnement et utilisation de la zone chimie</b>	2,5	12	30	48
<b>TOTAUX</b>			25	61H30	136

Nathalie Lauber avait commencé à prendre une partie des formations (module fonctionnement et utilisation de la zone) en parfaite autonomie. Son départ conduit à ce que toute les formations reposent sur une seule personne. En 2018 une partie de temps où la salle blanche sera inaccessible pour cause de travaux sur les extractions sera consacrée à la conception de formations accessible en ligne grâce à l'utilisation d'outils tels que moodle. A terme cela devrait permettre d'améliorer l'accès aux informations nécessaires aux utilisateurs et peut être de libérer du temps pour le formateur.

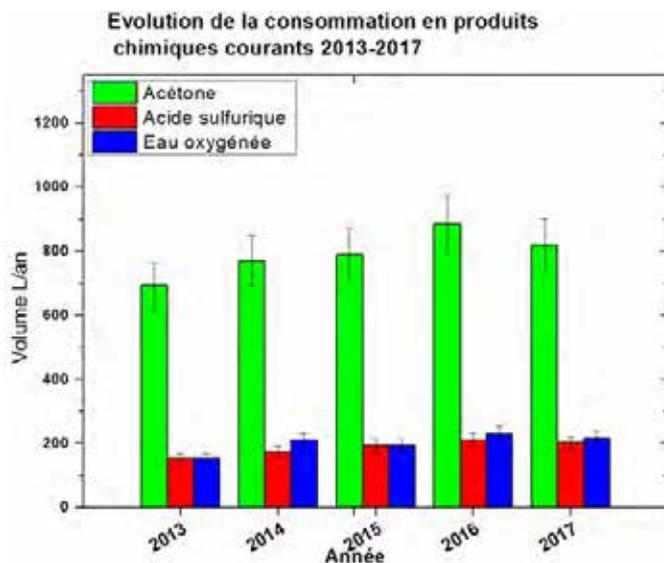
## BILAN

### Par équipement

Les équipements de la zone chimie sont en libre accès après formation. Ils sont d'utilisation généralement nombreuses et sur des temps généralement limités, et la facturation de l'utilisation des produits chimiques et des équipements de la zone chimie se fait sous le code des frais généraux F-FRAIS. Une conséquence de ces faits est que les équipements de la zone sont peut réservés (même s'ils sont beaucoup utilisés) et il est donc difficile de cartographier leur utilisation. L'expérience montre que les utilisateurs réalisent de fréquentes utilisations relativement courtes des équipements de la zone. Le temps consacré aux opérations de réservation n'étant alors pas négligeable devant le temps de l'opération technologique proprement dite, il faudrait trouver un moyen plus rapide que celui qui consiste à charger sa session pour pouvoir utiliser le logiciel de réservation LIMS. Globalement le temps total de réservation des équipements de la zone chimie s'élève à 196H pour 2017. Ce temps ne correspond manifestement pas à l'utilisation réelle des équipements, ainsi l'utilisation des sorbonnes pour utilisation de solvants organiques (postes 19 et 20, où sont réalisés les lifts off, des nettoyages par solvants, des traitements de surfaces, des délaquages, etc..) qui sont parmi les postes

les plus utilisés de la zone (manifestement plusieurs heures par jour et par poste) ne comptabilisent que 20H chacun de réservation annuelle.

### Evolution au cours des années



La consommation en produits chimiques courant est relativement stable.

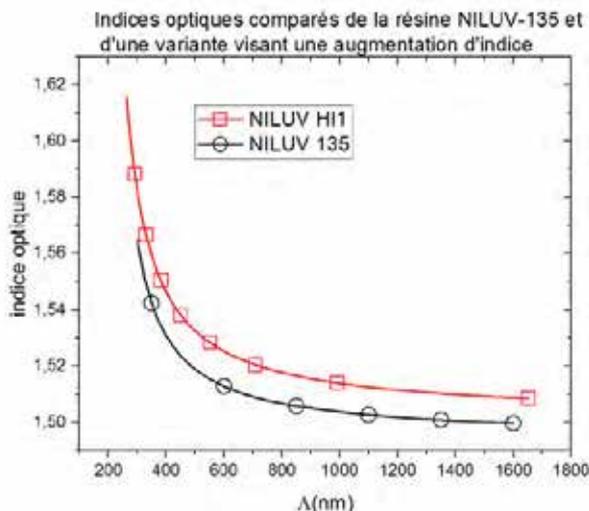
## EVOLUTIONS DE PROCEDES

### Mise au point et standardisation des conditions de gravure de métaux

Ces étalonnages visent à standardiser les gravures humides, suite au départ de Nathalie Lauber et en l'absence de budget pour des stages TEAM, n'ont pu être poursuivis.

### Mise au point et formulation de résines de nanolithographie

Des premiers test d'adaptations de la résine NILUV-135 (résine « maison » pour procédés de nano impression) ont été réalisées en 2017 en vue d'en augmenter l'indice optique. Des tests de faisabilité d'une modification en vue d'augmenter sa résistance à la gravure ont également été conduits. Il s'agit maintenant de transférer ces résines en zone nano impression pour en vue d'évaluer leurs comportements pour les applications auxquels elles sont destinées.



### Refonte de la chimie en salle blanche

Un premier volet de la refonte de la chimie en salle blanche a été réalisé, La majeure partie du nouvel espace MOS est désormais disponible et il le sera en totalité courant 2018. Cela permet une meilleure protection de ces technologies très sensibles aux contaminations croisées provenant d'autres technologies.

Deux nouveaux postes solvants-organiques sont également disponibles. L'un permettra d'utiliser des solvants ou produits organiques sur un poste exempt de particules métalliques ou autres pollutions (qui sont omniprésentes sur les postes de solvants existants où sont réalisés notamment les lift-off). L'autre est en cours d'équipement d'un système de vide primaire contrôlé (vide limite 2 mbar) afin de réaliser des dégazages (type PDMS), le remplissage de canaux ou toute autre manipulation nécessitant un vide primaire en présence de produits chimiques.

Le lancement de l'appel d'offre pour un poste de traitement sécurisé collectif ou individuel des nettoyages piranha/HF ou de gravure (BOE ;  $H_3PO_4$ ) a été réalisé en 2017. Le poste sera réalisé et installé en 2018 (ce poste prendra la place du poste RCA 4 pouces dont seule la partie piranha/HF est aujourd'hui fonctionnelle).

L'acquisition de la sorbonne Acide/HF (manipulation de mélanges impliquant des acides concentrés et émettant des vapeurs corrosives et toxiques) n'est pas intervenu en 2017. C'est d'autant plus regrettable que les contrôles effectués sur les postes de chimie impliquant l'usage d'acide fluorhydrique ont montré que ces postes ne satisfont pas encore à la norme EN 14-175. S'il est vraisemblable que les valeurs limites d'exposition ne sont malgré tout pas dépassées pour les formes diluées ou tamponnées d'acide fluorhydrique utilisées sous ces postes, les utilisations de la forme concentrée, même si elles sont peu fréquentes, posent un problème dont la solution n'a toujours pas été mise en place. Il faut impérativement que ce poste soit acquis et installé dans les meilleurs délais si l'on veut pouvoir continuer à utiliser les procédés faisant appel à l'acide fluorhydrique concentré.

Au terme de l'année 2018, la plupart des besoins en chimie devraient donc être couverts, à l'exception de la sorbonne comportant une rampe à vide destinée à l'espace de chimie exploratoire, et dont l'absence interdit pour le moment les applications nécessitant une atmosphère inerte. Une partie de l'amortissement d'un tel équipement pourrait par exemple provenir de la possibilité d'y fabriquer les résines HSQ actuellement très coûteuses de la lithographie électronique.

### Personnel

Après les investissements que Nathalie Lauber avait réalisés pour acquérir les compétences utiles au service, (et celles que le service avait réalisées pour la former), il est regrettable que l'Université lui ait demandé de cesser de venir travailler au laboratoire. Elle avait acquis les connaissances qui lui permettaient d'apporter un réel soutien à la zone, et les efforts qui ont été consentis pour arriver à ce résultat auraient dû être amorties par l'exercice de ses compétences sur les années à venir. La charge de travail qu'elle n'est plus en mesure d'assurer ce traduit nécessairement par des activités qui ne sont plus faites (étalonnages de gravures) ou qui, parce qu'indispensables, sont faites par le responsable de la zone au détriment d'autres tâches utiles à l'amélioration de la sécurité, aux projets de recherche, ou au développement de la zone (et de la nano impression) qui doivent mécaniquement être reportées.

En effet, une grande partie des activités de la zone chimie relèvent d'un niveau technicien ou assistant ingénieur et ne nécessitent pas de compétences approfondies en chimie. Un poste pérenne de technicien ou d'assistant ingénieur en zone chimie permettrait d'assurer une plus large couverture des activités dans cette zone qui met à disposition des utilisateurs des produits chimiques particulièrement dangereux et nécessite une gestion rigoureuse, de développer des procédés standardisés pour les utilisateurs, de raccourcir les délais de réparation ou d'installation des équipements et permettrait de dégager du temps de chimiste disponible pour des problèmes relevant de cette compétence.

### Sécurité

La zone chimie est une zone en libre-service où le risque chimique est fortement présent. La maîtrise et la prévention de ce risque passe par des mesures telles que l'information et la sensibilisation des utilisateurs, la mise à disposition d'Équipements de Protection Individuels mais aussi et surtout la mise en place et l'amélioration de la

protection collective. Si ces trois axes peuvent et doivent bénéficier d'amendements dans une démarche d'amélioration continue, c'est donc tout particulièrement sur le dernier que des efforts doivent être consentis. Pour le moment, et dans le contexte de la refonte de la chimie en salle blanche, le jeu des financements et autres aspects pratiques faisant intervenir des considérations qui débordent du cadre de la zone, cet aspect n'a pas toujours pu être traité en priorité. Il ne faut cependant pas le perdre de vue. Du point de vue du risque physico-chimique ce qu'on doit obtenir en premier lieu pour améliorer les choses est :

- Une meilleure protection vis-à-vis des vapeurs acides très fortement toxiques générés par certains procédés et des risques de projections associés (utilisations d'acide fluorhydrique concentré, acide bromhydrique/brome, eau régale, oxydes d'azote...). Ces opérations sont peu fréquentes, mais le risque associé est très élevé. La protection doit passer par la mise en place de la sorbonne (vitre abaissable) acide dont l'installation doit intervenir en 2018.
- Une meilleure protection vis-à-vis des projections et des vapeurs ou aérosols associés lors des nettoyages par procédés acides (eau oxygénée/acide sulfurique, acide fluorhydrique dilué ou tamponné) les risques associés sont plus faibles que ci-dessus, mais ces opérations sont très fréquentes et exposent un grand nombre d'utilisateurs. La mise en place d'un poste présentant un confinement efficace et comportant des bacs verticaux destinés à accueillir ces opérations interviendra courant 2018.
- Une meilleure protection vis-à-vis des projections, vapeurs ou aérosols sur les postes acides existants par l'extension des protections surmontant le plan de travail. Des premiers essais ont été effectués, une qualification des postes ainsi modifiés a été obtenue et montrent une non-conformité à la norme NF EN 14-175 malgré les modifications réalisées

Une nouvelle campagne de modification des postes est en cours d'élaboration à la lumière des résultats des mesures qui ont été réalisées. Une nouvelle campagne de mesures devra valider ces modifications. L'efficacité des postes de chimie dépasse le cadre de la simple zone chimie puisqu'on trouve des postes de chimie dans d'autres zones que la zone chimie. Il faudra pour tous ces postes mesurer leur efficacité et décider soit de leurs modifications, soit de leur remplacement en fonction des résultats de ces mesures et des budgets requis pour chaque cas.

L'acide fluorhydrique (indispensable aux technologies silicium) pose un problème particulier, la législation du travail interdisant aux stagiaires ou CDD (donc aux doctorants ou post doctorants) de le manipuler sauf dérogation qu'aucun organisme ne se déclare pour le moment habilité à délivrer. Nous sommes donc condamnés à travailler dans une zone grise législative en attendant cette dérogation. Un moyen de se mettre en totale conformité avec la législation serait d'acquérir un système clos de traitement des plaquettes par acide fluorhydrique, mais ces systèmes semblent très coûteux (500-800 k€ selon configuration chez un premier fournisseur contacté). Par ailleurs un tel système permettra de traiter les manipulations les plus classiques (désoxydation, gravure d'oxyde selon configuration) mais il restera des applications qui ne pourront être traitées par cet équipement en devront l'être sous une sorbonne efficace qu'il est urgent d'acquérir.

## L'ELECTROCHIMIE

### EQUIPEMENTS

#### Liste

Nom	Libre service	Année d'achat	Valeur d'achat (k€)	n° inventaire	Référence dans LIMS	Priorité
Hottes flux (x2)	Oui	1996	22	5881_CV 7212_CV		0
Hottes flux (x4)	Oui	2008	38.7	9081_W 9083_W 7798_C 7774_CV		0
Réacteurs RENA	non	2004	219	7965_CV	E1 E2 E4	0
Générateur de courant 1 A	oui	1996	5			0
CVS + Titration	non	2007	15	8686_W	E11 E14	0
AAS	non	2008	15.9	9096_W	E13	0
6 agitateurs	oui	2006	9			0
Bac à Ultrasons	oui	2017	1			0
Béchers, électrodes...	non	2008	1			0
Bacs thermo-régulés sur la Paillasse KOH-TMAH	oui	2009	30.5	9680_CE	E20 E21	1
Bacs thermo-régulés sur la Paillasse Anodisation	oui	2009	27	9679_CE	E10	0
Bacs thermo-régulés sur la Paillasse traitement de surface	oui	2009	33.4	9681_CE	E15 E16 E17	0
Générateur de courant pulsé 50 A	oui	2009	7.3	9483_CV		0
Support wafer RENA contacts face arrière	non	2009	3.9			0
3 supports avec protection face Avant gravure KOH et TMAH	oui	2009	4			0
Réacteur Or RENA 6 Pouces	non	2010	100	9925_CE	E3	1
Module pompe RENA NI	non	2016	2.5	11836_VA01		0
Camera Microscope	oui	2016	1.5	117520A.11		0
Agitateur 3D	oui	2016	1.2		E19	0
Optrode Metrohm	non	2016	2.7	11922_NC.7 1	E14	0
Réacteur Yamamoto Cu 4/6 "	Non	2016	19.6	11896_NB.6	E7	0
Réacteur Yamamoto 4"		2017		1	E 23	0

#### Maintenances significatives

##### 2017

Modem de communication machines RENA passage du 56 K au haut débit, pour les maintenances à distance.  
Réinstallation soft RENA Nickel (suite à des pertes de lignes de codes après une coupure électrique)

**2018**

Afin de remplacer une alimentation de vielle de 19 ans qui a cessé de fonctionner une nouvelle Alimentation en courant 10 A est nécessaire.

Nouvelle anode en Ti/IrO<sub>2</sub> pour le réacteur Yamamoto 4'' cela diminuera la consommation d'additifs

Cuve à vide destinée au remplissage avant dépôt des moules de résine à haute rapport de forme afin d'éviter les bulles d'air dans les dépôts

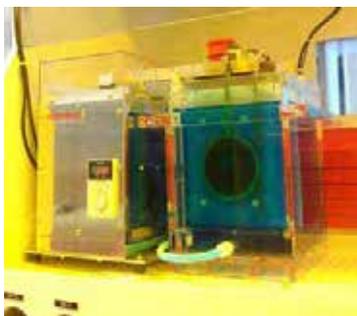
### Evolutions significatives

#### Réacteur RENA :

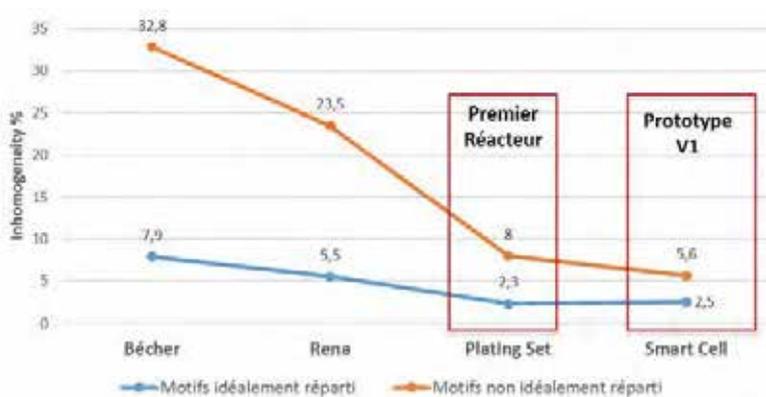
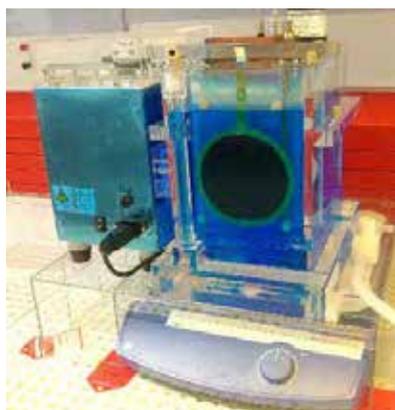
Un prototype, développé en interne pour limiter la consommation des additifs dans le bain d'or et son évaporation, a été testé sur plusieurs années avec succès. Les discussions avec le fournisseur n'ont pas abouti, donc nous allons développer la version finale en interne avec le service I2C.

#### Réacteurs Yamamoto :

**Réacteur 4/6 ''**, nous avons qualifié ce réacteur sur nos applications. Nous avons obtenu de bien meilleurs résultats qu'avec nos réacteurs actuels : en terme d'inhomogénéité de dépôt 2.5 % (cf. courbes) pour une épaisseur de 45 µm tout en doublant la vitesse



**Réacteur 4''** : suite à nos travaux sur le premier réacteur nous avons collaboré avec la société Yamamoto pour développer une nouvelle génération de réacteur plus compact et plus performant en terme de résultats. Ce nouveau réacteur est testé depuis juillet 2017 et nous a permis d'obtenir des résultats équivalents voire meilleurs que leur réacteur standard : 2% d'inhomogénéité de dépôt pour une épaisseur de 45 µm tout en gardant la vitesse doublée.



Du fait de ces très bons résultats nous avons supprimé les béciers de développement de bain et nous les avons remplacés par le réacteur 4''. Tous les dépôts épais, à haut rapport de forme, 6 pouces ... ont été transférés des machines RENA vers le réacteur Yamamoto 4/6''

#### Analyses chimiques :

De nouvelles analyses ont été développées sur nos équipements afin de maîtriser la chimie de notre nouveau bain de Nickel et d'aider à la compréhension de l'évolution du bain d'oxyde de Ruthénium fabriqué en interne dans le cadre du projet 3D Cap

En 2018 nous poursuivrons ces développements avec de nouvelles analyses pour le Nickel et pour le bain d'or poreux

## Prospectives

### Réacteur de dépôt Yamamoto :

Nous poursuivons les développements avec la société pour une troisième génération de réacteur, pour continuer à améliorer les performances mais surtout l'ergonomie d'utilisation. Réception prévue printemps 2018. Ces trois générations de réacteurs nous sont fournis gratuitement dans le cadre de la collaboration établie avec Yamamoto. Achat de deux nouveaux réacteurs Yamamoto spécialement dédiés aux dépôts d'or poreux et d'oxyde de Ruthénium dans le cadre du projet 3D Cap (env. 10K€)

### Réacteur RENA vertical :

Ce réacteur ne répond plus à nos attentes. Nous allons complètement le supprimer. Plusieurs solutions sont envisagées : la reprise par le constructeur, la vente à un autre laboratoire via le bon coin de la techno (Site RENATECH) ou le stockage pour des pièces de rechange sur nos autres équipements.

### A long terme 2019 :

Si le projet Région de création d'une filière technologique « assemblage et intégration » (projet en cours de montage et dont le périmètre précis est en cours de définition) voit le jour, il est prévu de faire l'acquisition d'un équipement de dépôt dédié aux vias filling (env. 100K€) et un plasma RIE de traitement de surface dédié à l'électrochimie (env. 50K€).

## ORGANISATION

### Personnel 2017

- David Bourrier IE 2 : responsable de zone
- Arnaud Durlach AI CDD à 50%

### Gestion des activités

En 2017 A. Durlach travaillait une semaine sur deux en électrochimie. Il était en charge de l'analyse des bains électrolytiques afin de maintenir l'équilibre chimique des bains et la qualité des dépôts effectués. Il réalisait une partie des dépôts de routine et du support aux utilisateurs de la zone. Il prenait également en charge le développement du cuivre épais sur la machine RENA vertical.

D. Bourrier était en charge du reste des dépôts de routine ainsi que de tous les développements et le support pour les projets de recherche interne et externe. Il était également en charge du développement des nouvelles briques technologiques associées à l'électrochimie.

2017 était la seconde année où nous avons un poste à 50%. Cette deuxième année a mis en évidence que cette situation est loin d'être idéale pour le personnel toujours entre deux zones, difficulté d'organisation pour répondre aux besoins permanents des deux zones, pannes simultanées ...

### Personnel 2018 :

Dans le cadre de son nouveau projet professionnel A. Durlach ne renouvèlera pas son contrat fin janvier 2018. De ce fait la zone électrochimie va se retrouver dans une situation à laquelle elle n'a jamais été confrontée : seulement une personne à temps plein au lieu de deux pour répondre à tous les besoins. Toute la charge de travail sera donc transférée à D. Bourrier. Il n'y aura pas de personne en doublon pour assurer les dépôts et les maintenances les jours d'absences, de formation, de tâches administratives ... de D. BOURRIER.

Quelques solutions non idéales sont envisagées pour alléger cette charge de travail. Sur les dépôts dits standards (or et cuivre < 10 µm) qui pourraient passer en libre-service pour les personnes de confiance. Aide des personnes utilisant la zone pour réaliser les calibrations physiques des dépôts, automatisation des mesures d'épaisseur sur les tencors ... Mais ces solutions ne permettront pas de répondre à tous les besoins, des choix devront être faits sur les futurs développements, sur l'implication de D. BOURRIER sur des nouveaux projets internes/ Renatech, sur son implication dans le cadre des diverses cellules impliquées sur des actions d'IG.

Il faut absolument trouver une solution à court terme par le nouveau recrutement d'un CDD en 2019 mais surtout par le recrutement d'un personnel permanent pour assurer le bon fonctionnement et l'évolution de la zone de dépôt électrolytique.

### Calibrations / validations des équipements et procédés.

#### Existantes

Objectif	Nature de l'action conduite	Fréquence
Mesure des concentrations d'additifs dans tous les bains	Mesure CVS et Titration	Tous les 15 jours
Mesure des concentrations d'ions métalliques	Mesure AAS et Titration	Tous les mois
Mesure Homogénéité et contrainte pleine plaque	Mesure Tencor 10 points + contrainte	Tous les mois

Cela représente 36 analyses chimiques par mois soit environ ½ journée par semaine.

Pour les calibrations cela représente 5 dépôts pleine plaque avec réalisation des masques de dépôts, gravure chimique, mesure des contraintes, de l'homogénéité des épaisseurs (10 points de mesure), mesure de rugosité et de la résistivité. Ce qui représente également ½ journée par semaine de calibration physique. Etant seul dans la zone il sera très difficile voire impossible de garder cette fréquence de calibration.

#### Qui vont être mises en place

Objectif	Nature de l'action conduite	Fréquence
Définition de la sécurité des hottes	Mesure débit d'air et test fumigène	Tous les 3 ou 6 mois

Repoussé jusqu'à l'expertise complète de notre parc de hotte et la remise à niveau de la centrale de traitement d'air.

### BUDGET

#### 2017

2017	Fourniture	Consommables	Maintenances	Support	Sécurité
Montants En K€	0	6	2.2	0	0

#### 2018

2018	Fourniture	Consommables	Maintenances	Support	Sécurité
Montants En K€	0	8.1	2	5	0

Les 5 k€ en support concernent l'aménagement des hottes pour accueillir les réacteurs Yamamoto.

### FORMATIONS

Type	Intitulé	Durée (h)	Nombre de sessions/an	Durée totale/an(h)	Nombre total de participants /an
Cours TEAM	Cours dépôt électrolytique	1h30	1	1h30	20
Formation pratique	Formation Utilisation KOH - TMAH	2	2	4	3
TOTAUX			3	5H30	23

### Développement de compétences :

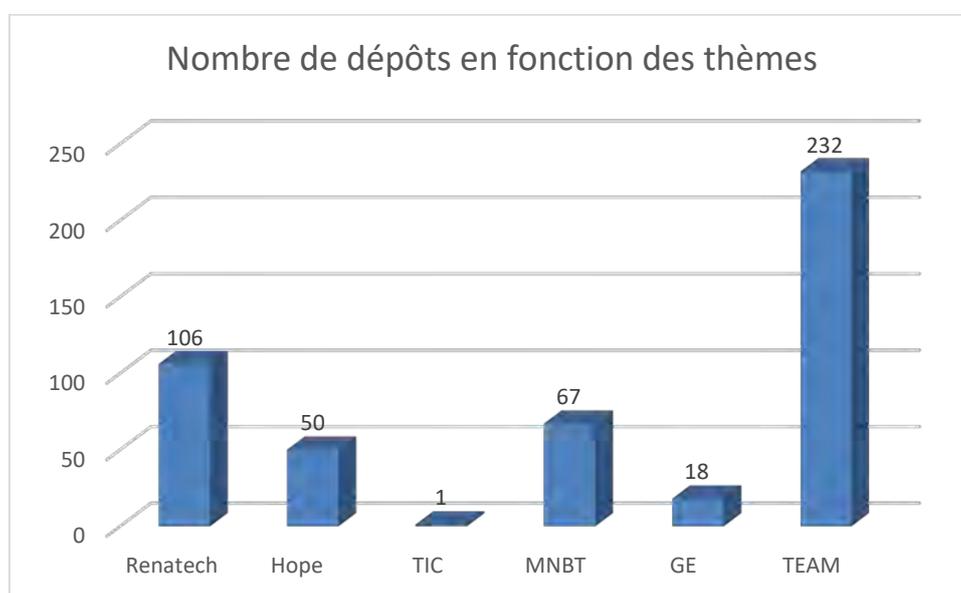
Formations dispensées pour la société FSRM

- Electrochimie
- Thermoformage

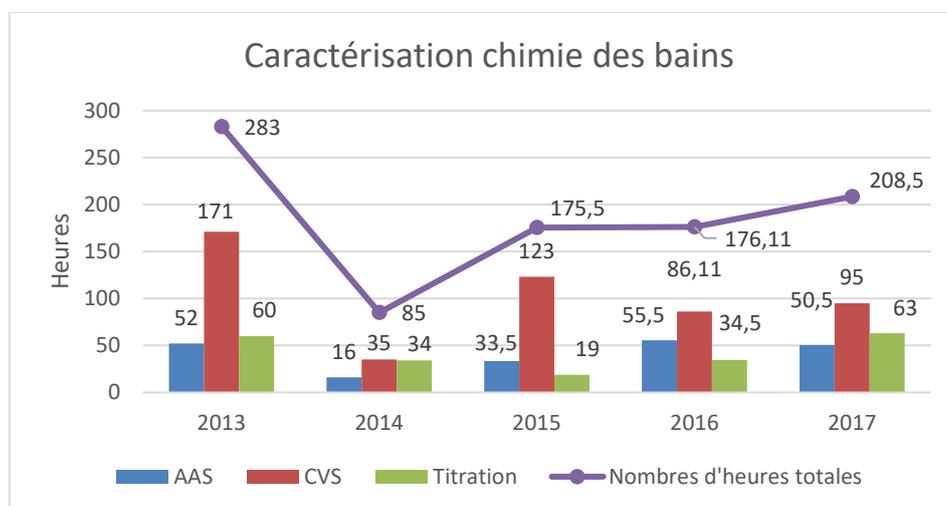
Ce sont des formations spécifiques ayant pour but de développer de nouvelles connaissances en dépôt électrolytique (compréhension des nouveaux phénomènes liés aux spécificités de notre métier) et développement de nouveaux domaines d'applications comme la fabrication de canaux ou de micros objets par thermoformage.

## BILAN

### Par équipement



Cette année l'électrochimie a été sollicitée par tous les départements du LAAS et plusieurs projets Renatech. TEAM a pris en charge la mise au point des nouveaux équipements de dépôt Yamamoto. Nous avons pris en charge également tous les wafers tests nécessaires pour certifier la qualité des dépôts, ce qui explique que TEAM soit le premier utilisateur.



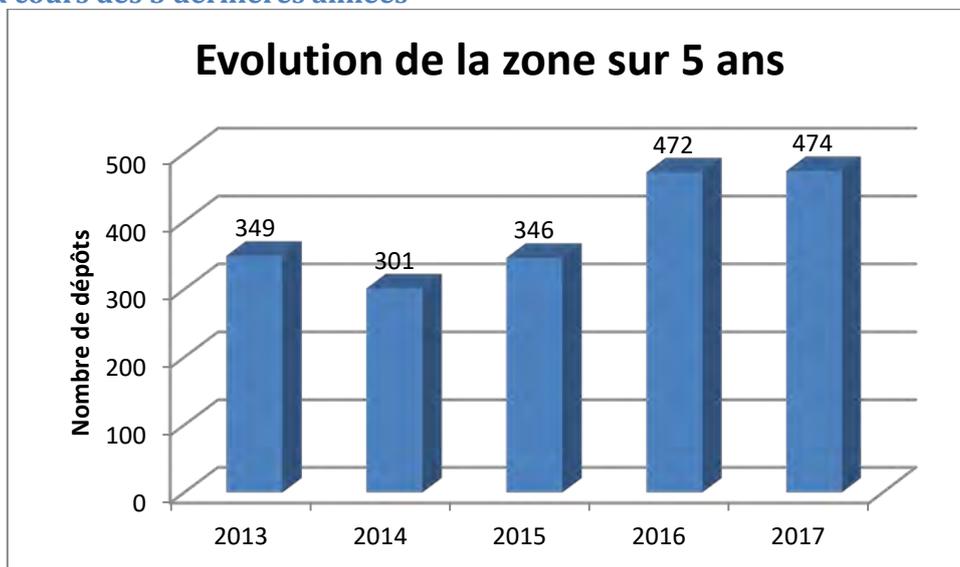
L'utilisation de LIMS en 2017 nous permet d'avoir un bilan des temps que nous passons pour la caractérisation de la chimie des bains. Pour l'année 2017, cela représentait un peu plus d'une demi-journée de caractérisation chimique

par semaine. Ce temps de caractérisation chimique est en augmentation du fait des nouveaux bains plus complexes chimiquement que nous devons maîtriser pour garantir la bonne qualité des dépôts.

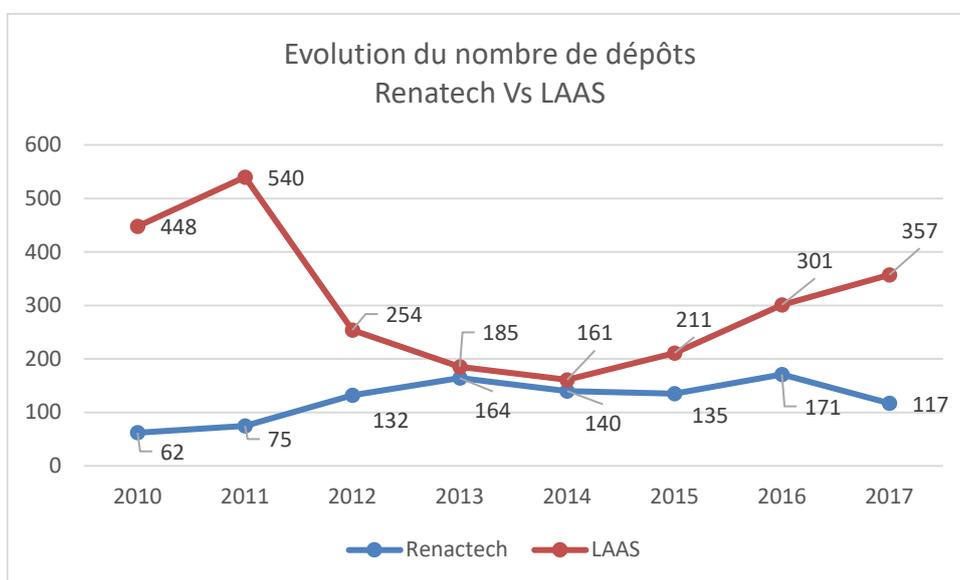
### Gravure humide du silicium

Le nombre de gravures humides est identique par rapport à 2016 . C'est une ressource peu utilisée mais qui est nécessaire pour quelques procédés très spécifiques.

#### Evolution au cours des 5 dernières années



Nous avons une activité stable comparativement à 2016. Mais en réalité elle est en baisse, car il y a eu de nombreux dépôts de mise au point des deux nouveaux équipements de dépôt ce qui accroît l'activité de la zone.



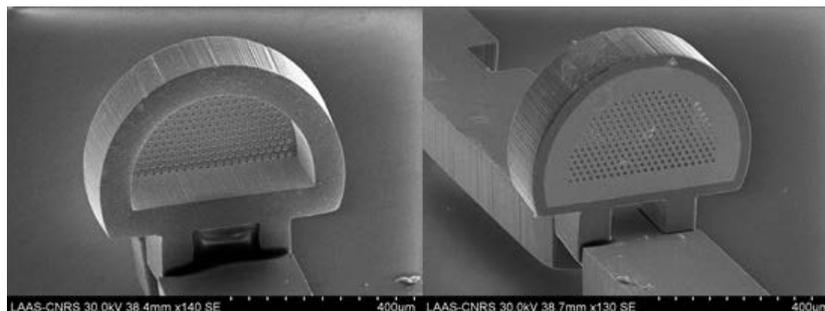
Le nombre de dépôts réalisés pour les projets Renatech est en baisse en 2017, le plus gros demandeur des dernières années, Intel, a diminué son activité sur 6 mois. Elle devrait reprendre en 2018.

## EVOLUTIONS DE PROCEDES

### Dépôt de Nickel

En 2016 nous avons validé la faisabilité de la réalisation de micro filtres, mais beaucoup de problèmes d'adhérence, de contrainte, d'homogénéité ont été mis en évidence. Les travaux 2017 ont permis de corriger tous les problèmes d'adhérence et de contrainte. Il faut encore travailler sur l'aspect homogénéité. Mais ce dernier point n'a pas empêché de réaliser de nombreux lots de micros filtres, de les assembler entre eux et de les tester en conditions réelles.

En 2018, pour répondre à ce problème d'homogénéité, le bain de nickel sera certainement transféré de la machine Rena vers l'équipement de dépôt Yamamoto de deuxième génération plus adapté pour les dépôts épais.



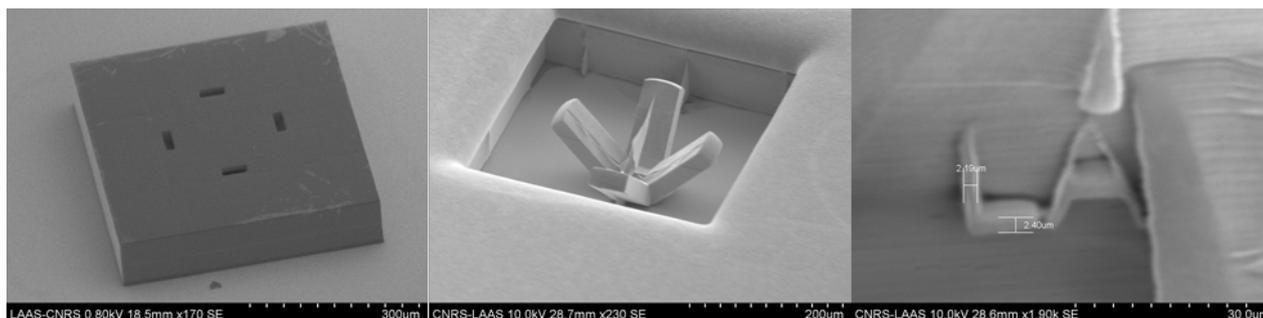
Micro filtre en Nickel électro-déposé puis libéré du substrat et assemblé sur un support en nickel également électro-déposé

### Dépôt électrolytique 3D dans moule 3D

Avec l'aide de Lucie Seveno pour la réalisation de moules 3D sur l'équipement nano scribe, nous avons prouvé la faisabilité au LAAS de dépôt électrolytique 3D avec des formes impossibles à réaliser jusque là en lithographie classique (plan incliné, écriture sur les flancs ...)

Ce ne sont que les tous premiers tests mais cela montre une vraie potentialité de design de dépôts. Mais si l'on souhaite poursuivre dans cette voie, de nombreuses mises au point restent à faire.

Les nouveaux équipements d'impression 3D du projet région Multi-Fab devraient également apporter de nouvelles possibilités de réalisation.



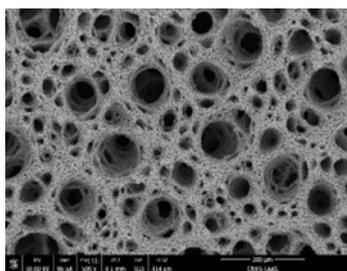
Moule de résine Nanoscribe

Structures 3D en cuivre

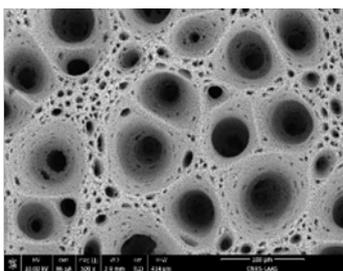
### Dépôt Or poreux

Jusqu'à présent l'or poreux pour les applications des super capacités était réalisé par un dépôt en tension. Nous avons prouvé que nous pouvions obtenir les mêmes caractéristiques en or poreux et en surface spécifique en utilisant des densités de courant continu intense jusqu'à  $10 \text{ A/cm}^2$ .

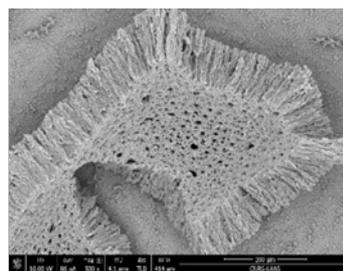
Grâce à ces dépôts en courant, nous avons doublé la vitesse de dépôt pour les mêmes caractéristiques et selon l'intensité du courant utilisé, nous pouvons jouer sur la densité de l'or poreux obtenu, ce qui nous donne de nouvelles possibilités en termes de porosité et d'applications.



5 A 100  $\mu\text{m}$



5 A 150  $\mu\text{m}$



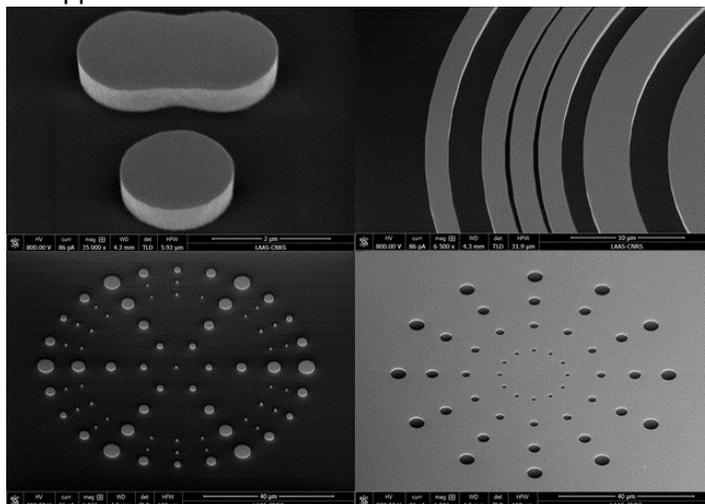
10 A 100  $\mu\text{m}$

### Dépôt électrolytique sub micronique & micronique

A travers un projet Renatech, nous avons développé des dépôts électrolytiques à l'échelle sub micronique & micronique. Des protocoles de dépôts des résines Barc 0.2  $\mu\text{m}$ , Eci 1.2  $\mu\text{m}$ , Nlof 3 $\mu\text{m}$ , 4562 3  $\mu\text{m}$  sur seed layer cuivre avec une insolation stepper ont été développés.

Ce premier développement permet d'obtenir des motifs en or/cuivre/nickel jusqu'à 500 nm de large avec des épaisseurs de 1,2  $\mu\text{m}$  et jusqu'à 1 $\mu\text{m}$  de large sur des épaisseurs de 3-4  $\mu\text{m}$  avec différentes formes possibles aussi bien en résine positive que négative.

Des améliorations pour atteindre des dimensions plus critiques sont réalisables moyennant encore quelques développement process sur le stepper.



Dépôt or électrolytique 0.7  $\mu\text{m}$

### Protocoles

Les protocoles pour l'analyse du ruthénium ont été validés et sont en cours de publication. Les nouveaux protocoles pour les analyses de tous les éléments de notre bain de nickel sont également validés et sont en cours de publication.

Les protocoles des équipements Yamamoto sont en cours d'écriture.

### Mesures Chimiques

Suite aux différentes présentations de la zone et des possibilités de caractérisations chimiques, pour la quatrième année, la zone électrochimie continue à être sollicitée par plusieurs équipes pour réaliser différentes mesures de concentrations.

### Prospectives procédés

Mise en place d'un procédé ENIG (Ni 3  $\mu\text{m}$ / Au 0.05 $\mu\text{m}$ ) pour créer une couche de barrière de diffusion pour les applications d'intégrations de composants, de multicouche métallique (sur une couche d'aluminium), wafer bonding (métal/métal) ....

Mise en place de procédé standard de nickel pour des applications de thermoformage, de micro fluidique, de masquage métallique pour la gravure de verre par plasma ou encore de barrière de diffusion.

Bain Cuivre : Evaluation de deux nouveaux bains de cuivre afin d'améliorer l'homogénéité, la vitesse de dépôt et de diminuer la contrainte interne afin de répondre aux nouveaux besoins des utilisateurs.

Mise en place du réacteur de troisième génération de dépôt Yamamoto

## SYNTHESE

### Générale

L'année 2017 marque une stabilisation de l'activité si on s'en tient aux chiffres. En réalité nous avons une baisse d'activité vers les équipes car une part de l'activité a été dévolue à la mise en place de deux nouveaux équipements et leurs mises au point.

### Ressources humaines

C'est le point le plus critique de la zone. Ces deux dernières années nous étions seulement 1.5 au lieu de 2 personnes. Suite au départ de A. Durlach en janvier 2018 il n'y plus qu'une personne pour assurer tous les travaux dans cette zone.

Il est urgent d'envisager un recrutement pérenne ou tout du moins un contrat CDD pour stabiliser la zone. Malgré une réorganisation de l'activité de travail pour essayer de compenser ce départ, ce manque de moyen humain se traduira par une baisse du soutien aux projets de recherche et des nombreux développements. Un autre point à souligner est que nous avons été les premiers à exploiter et à développer le potentiel de cette technologie dans les grandes centrales du réseau Renatech. Aujourd'hui d'autres centrales du réseau développent l'électrochimie ; une autre preuve de son intérêt. Un recrutement est donc vraiment nécessaire.

## PVD

### EQUIPEMENTS

Nom	Libre service	Année d'achat	Valeur d'achat (k€)	n° inventaire	Référence dans LIMS	Priorité
<b>TFE 644</b>	non	2017	375	12170-VA.11	D10	0
<b>EVA 600</b>	non	2010	165	10008-P	D1	0
<b>Edwards</b>	non	2003	69.1	6771-C	D5	0
<b>Univex 450</b>	non	2008	900	8536-W	D2	1
<b>Varian</b>	non	1996	160	0859-P	D4	0
<b>ApSy-E100</b>	non	2010	130	10089-PE	D6	0
<b>Plassys</b>	non	2013	350	10760-CV	D3	1
<b>Plassys 550 SL</b>	non	2016	380	11992-VB.01	D9	0
<b>Parylène</b>	non	2016	94	11815-MA.01	D8	1
<b>Riber</b>	non	2015		11309-PP	D7	0
<b>Hotte traitement chimique</b>	oui	2004		7690-C	D11	0
<b>Etuve ventilée</b>	oui	2002		6922-CV	D12	0

### Maintenances significatives

#### 2017

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 :
  - EVA 600 : pompe cryogénique
  - Varian : pompe cryogénique

#### 2018

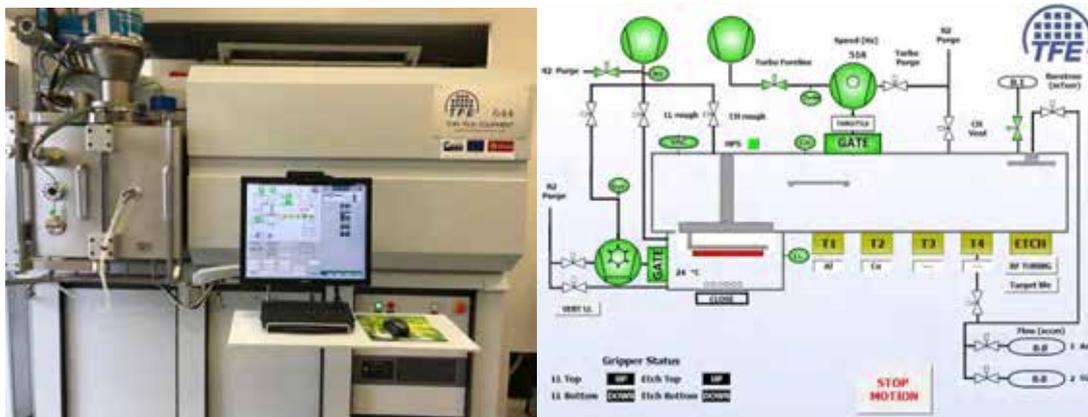
Univex 450C :

- Maintenance des six pompes cryogéniques.
- Cryostats
- Pompe turbo du sas central

## Nouveaux équipements

### PVD Thermie

Dans le cadre du projet région (FEDER ) on a pu acquérir un bâti PVD de pulvérisation cathodique réactive pour la réalisation de films énergétiques. Ce bâti de dépôt de couches minces en ligne est équipé de 4 cibles (Al,CuO,...) et d'une station de fonctionnalisation. Cet équipement est destiné au traitement de substrats jusqu'à 4".



### Prospectives

#### PVD III-V (300 k€)

Les dépôts AuGe/Ni/Au étaient réalisés dans l'Alcatel 450 en pulvérisation cathodique, cet équipement est hors d'usage.

Une solution était de réaliser ces dépôts en évaporation par effet joule dans l'ApSy. Les essais ne sont pas satisfaisants.

Une autre hypothèse serait l'achat d'un bâti de pulvérisation dédié. Il conviendra de déterminer collectivement à quel rang de priorité, et avec quel financement.

Ce bâti de dépôt de couches minces serait équipé d'au moins 4 cibles ((Au,AuGe, Ni...)).



## ORGANISATION

### Personnel

- Salvagnac Ludovic(IE) : responsable de zone
- Libaude Guillaume (AI)

### Gestion des activités

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 LIMS est disponible en ligne pour consultation. Les réservations sont EXCLUSIVEMENT effectuées par le personnel référent de la zone.

### Calibrations / validations des équipements et procédés.

#### Existantes

Objectif	Nature de l'action conduite	Fréquence
Qualification de couches métalliques (sur l'assemble des équipements de la zone)	Mesure de marches profilomètres tactile	1 fois tous les 15 jours
Décontamination enceinte de dépôts métalliques (sur l'assemble des équipements de la zone)	Nettoyage mécanique et chimique	2 fois par an
Analyse du dégazage des nouveaux matériaux avant introduction dans bâtis sous vide (dans la zone et autres zones)	Dégazage sous vide avec spectroscopie des gaz	Quand arrivée d'un nouveau matériau

#### Qui vont être mises en place

Objectif	Nature de l'action conduite	Fréquence
Qualification de couches métalliques (sur l'assemble des équipements de la zone)	Suivie des contaminations : Analyse XRR	1 fois par mois

### BUDGET

#### 2017

2017	Fourniture	Consommables	Maintenances	Support	Sécurité
Montants En K€	59.4	3.2	11	12	0

#### 2018

2018	Fourniture	Consommables	Maintenances	Support	Sécurité
Montants En K€	25	7.5	30	3	0

Le cout des fournitures est élevé car il comprend les métaux précieux (Au, Pt...)

Le cout de la maintenance augmente fortement car cette année il faut prévoir une intervention sur les 6 pompes cryogéniques de l'Univex.

### FORMATIONS

#### Formations assurées

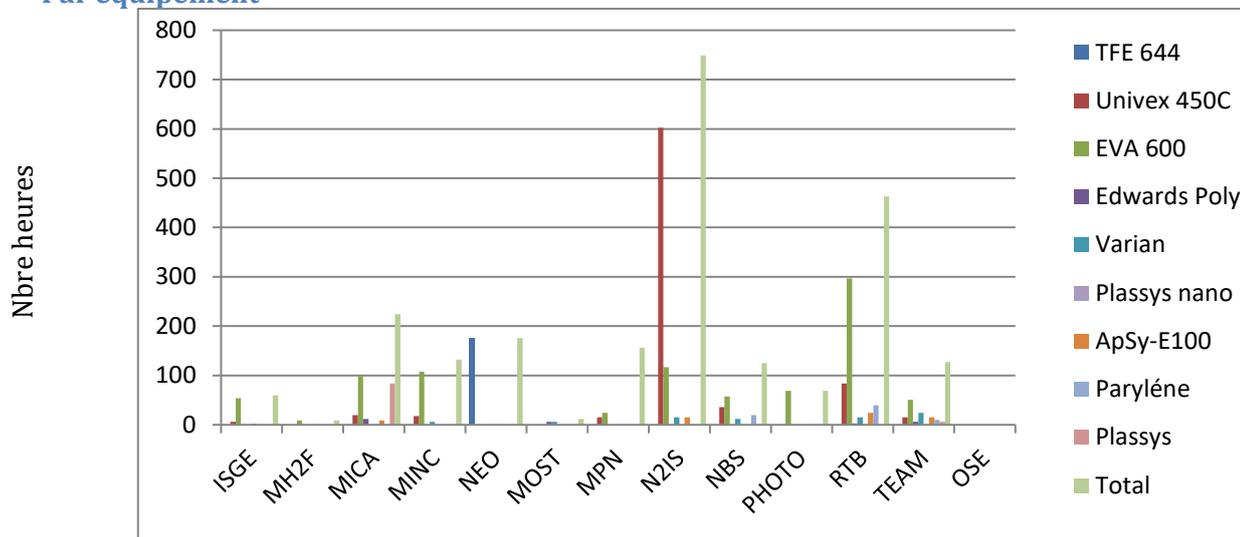
Type	Intitulé	Durée (h)	Nombre de sessions/an	Durée totale/an(h)	Nombre total de participants /an
Cours TEAM	Technique de métallisation	1h30	1	1h30	
Formation pratique	Technique de métallisation	1h30	10	13	10
TOTAUX			11	14H30	10

## Besoin en formation du personnel de la zone.

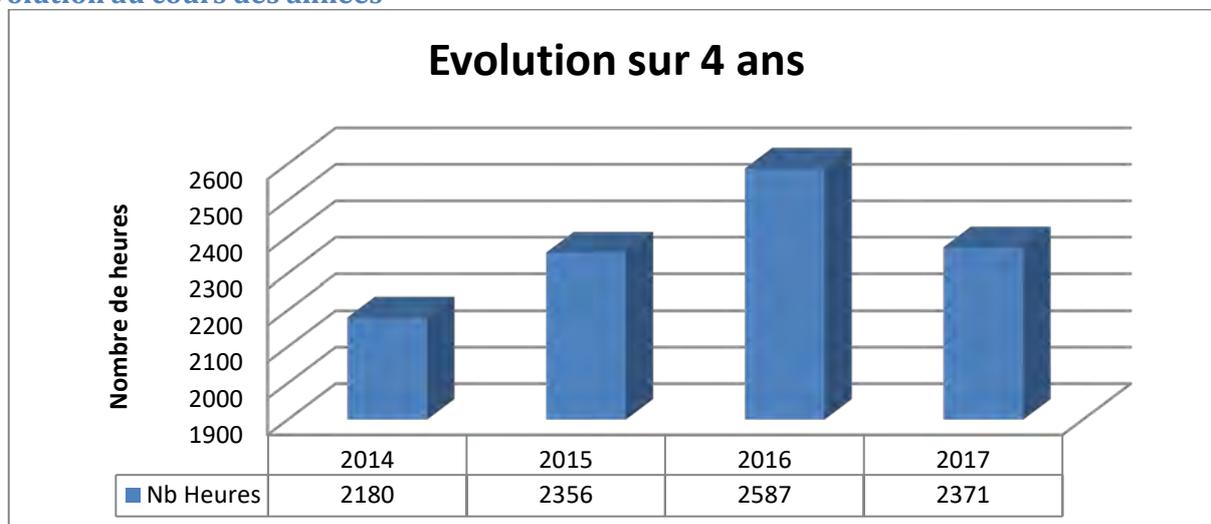
Analyse par spectrométrie de masse

### BILAN

#### Par équipement



#### Evolution au cours des années



L'activité se stabilise.

Hors activités Renatech la répartition de l'activité sur les différentes équipes est assez équilibrée. Néanmoins les plus importantes sont menées en soutien de l'équipe NEO plus particulièrement pour les thématiques thermies.

Renatech représente 31% du volume global, ce qui est stable par rapport à l'an dernier.

### EVOLUTIONS DE PROCEDES

#### Conception et développement de nouveaux nanomatériaux et nanostructures réactifs pour la fabrication d'initiateurs pyrotechniques sécurisés de nouvelles générations.

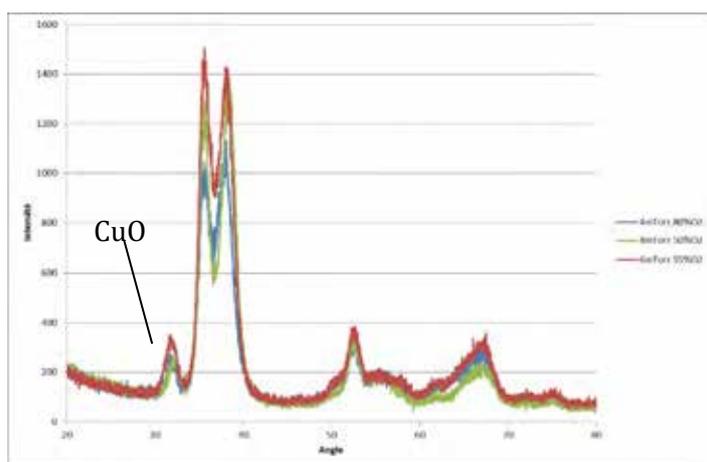
Les **matériaux réactifs métal/oxyde** sont une nouvelle catégorie de matériaux très énergétiques capable, après initiation par une stimulation externe, de produire un effet thermique, optique ou mécanique intense en

un temps très court. Le contrôle des dimensions et de la nature des réactants (métal, oxyde) permet un réglage précis de leur effet et réactivité. Ces matériaux, compatibles avec les technologies de microfabrication, sont également très prometteurs en remplacement ou complément de nombreux matériaux énergétiques organiques usuels, toxiques ou dangereux.

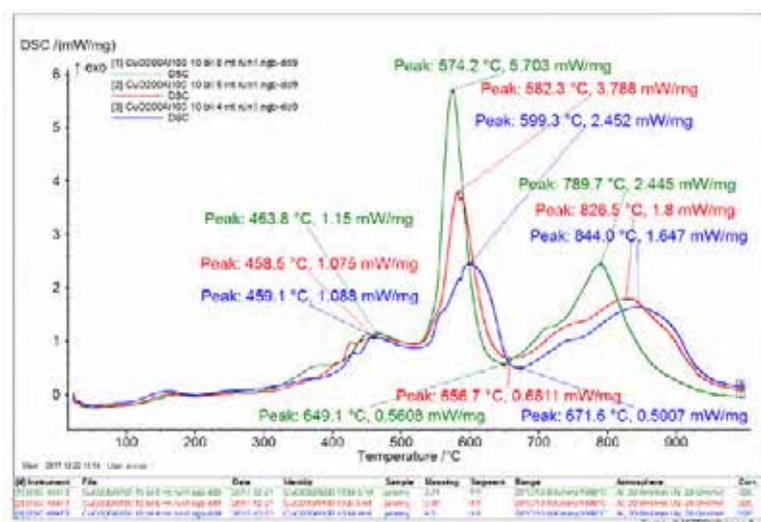
La maîtrise de la couche d'oxyde, du CuO pour nos applications, est nécessaire pour la réalisation des dispositifs pyrotechniques. En suivant la synthèse de la mise au point de cette oxyde.

	CuO 4mTorr 50cm/min 80%O2	CuO 6mTorr 49cm/min 55%O2	CuO 8mTorr 28cm/min 50%O2
Densité (g/cm3)	6,167 (pesée)- 6,383 (DRX)	5,921 (pesée) - 6,398 (DRX)	5,859 (pesée) - 6,417 (DRX)
Stress (MPa)	-177,7	-27,5	2,74
Rugosité (nm)	1,57 (AFM) - 1,58 (DRX)	2,42 (AFM) - 3,51 (DRX)	3,08 (AFM) - 4,97 (DRX)
Epaisseur (µm) de 10 bicouches	3,003	2,974	2,756

Ce tableau résume les différents CuO réalisé en fonction de la pression de travail.



L'analyse XRD nous renseigne sur la composition des couches déposées.



L'analyse DSC détermine l'énergie des particules des couches réalisées.

**SYNTHESE**

Dans cette zone l'activité de service (dépôts ne nécessitant pas de travail de développement) est très forte avec un nombre de dépôts qui reste important. Néanmoins les matériaux organiques et les thermies demandent toujours un développement constant.

**Maintenance**

En 2018 l'Univex devra subir une maintenance lourde et onéreuse. (10 jours et 25K€).

**Equipement**

La zone PVD c'est enrichie d'un nouveau bâti pour les matériaux réactifs. La maîtrise de ce nouvel équipement va demander un gros investissement dans la mise au point des procédés.

L'année 2018 devrait permettre de prospecter pour l'acquisition d'un bâti supplémentaire pour la réalisation des dépôt AuGe/Ni/Au indispensables à la filière photonique.

## GRAVURE PLASMA

## EQUIPEMENTS

## Liste

Nom	Libre service	Année d'achat	Valeur d'achat (k€)	n° inventaire	Référence dans LIMS	Priorité
Tepla	Oui	2002	91.5	7045_CW	G7	0
ICP2	Non	2003	325	7334_CW	G1	0
ICP3	Non	2003	---	7336_CW	G2	0
P1	Non	2009	870	9459_C	G4	0
P4	Non	2009	---	9459_C	G5	0
Diener	Oui	2010	65	9760_CW	G6	0
Si500	Non	2015	269.5	11529-VB.01	G9	0
Etchlab	Non	2015	150	11530-VB.01	G8	0

## Maintenances significatives

## Année passée

Maintenance curative :

- Alcatel P1 : nouvelle source ICP, changement vanne sas robot/chambre
- Alcatel P4 : réparation de la pompe primaire

Maintenance préventive :

- ICP3 : changement de la chambre céramique
- ICP2 : changement de la chambre céramique et chemisage
- Mesures du champ électromagnétique des sources RF de chaque équipement
- Mesures de bruit (dB et fréquences)

## Année à venir

- Installation et mise en marche du scrubber Cl2 sur Si500 et ICP2
- Arrêt de ICP1 (n° inventaire 7337\_CW) et sortie de la salle blanche
- Maintenance préventive P1 et P4
- Remise en état de marche du TEGAL provenant de Freescale avec I2C
- Aménagement sécuritaire autour des sources RF P1 et P4
- Configuration du doigt gris pour diminuer le bruit

## Evolutions significatives

- Installation d'une caméra couleur pour le suivi de la gravure dans P1, programmation LabVIEW pour la DFA ICP3.

## Prospectives

## DFA OES (30k€)

Le système actuel est obsolète et le logiciel est défaillant, l'upgrade est trop couteux par rapport à un nouvel OES. Un système actualisé et portable pour être adapté sur toutes les machines est nécessaire pour qualifier la propreté des chambres de gravure et le suivi des gravures (voir calibrations/validations des équipements et procédés).

## Ligne SF6 (P4) (en attente devis €)

Afin de pouvoir faire des gravures profondes dans le silicium pour les technologies NoMOS, la chambre P4 peut être adaptée pour cela. La gestion des gravures se fera par campagnes, en plus de celles pour la gravure du verre.

## Jouvence ICP (400k€)

Les 3 machines ICP TRIKON ne sont plus fabriquées et les pièces de maintenance sont très rares. ICP3 est la machine la plus utilisée et pour tous les matériaux. ICP1 est arrêtée pour servir de pièces de rechange. Il faudrait remplacer

dans un premier temps cette machine par une machine ICP neuve avec un système de traitement de gaz. En 2018, une campagne de tests de gravures sera réalisée chez trois équipementiers.

### Retrofit STS (en attente devis €)

Actuellement le PECVD STS est en cours de retrofit chez ApSy.

Si le résultat est satisfaisant, il serait très intéressant de faire le retrofit de la RIE-ICP STS.

Si l'équipement Alcatel (très régulièrement en maintenance) tombe en panne pendant plusieurs semaines, nous ne pouvons plus faire de gravure profonde de Si.

De plus, la gravure avec un masque métal ne fonctionne pas dans P1. Nous pourrions utiliser le bâti STS pour la gravure profonde avec des masques en métal.

### Gravure ionique (300k€)

ICP3 grave dans la mesure du possible des matériaux réfractaires comme les métaux, mais la plupart des composés de réaction ne sont pas volatiles et restent dans la chambre de gravure. Aussi, nous n'avons pas d'outils de mesure ou de procédé adapté pour en faire le contrôle.

De plus, l'usinage nécessaire pour ce genre de matériaux n'est pas adapté avec la configuration d'ICP3. Donc, pour pallier à ces demandes, un usineur ionique (R)IBE doit faire partie du parc des machines disponibles.

### Gravure grand gap (300k€)

Les matériaux grands gap comme le diamant ou le GaN nécessitent des gravures profondes et des chimies chlorées/fluorées pour le Ga(Al)N. Ces matériaux sont utilisés pour les composants de type MOS ou HEMT. ICP3 et Si500 sont actuellement utilisées par campagnes pour ces gravures. Ceci est dû au fait qu'une seule ligne de gaz  $BCL_3$  est installée sur Si500, et qui est nécessaire pour la gravure du GaAlN.

## ORGANISATION

### Personnel

- Dubreuil pascal (IR1) : responsable de zone
- Lecestre Aurélie (IR2) : en formation externe pendant 6 mois, a été suppléée par Laurent Jalabert jusqu'en juillet.
- Laurent Jalabert : (IR1) a été en charge de la gestion de P1 et P4 jusqu'en juillet.
- D'autres personnels du service TEAM et des services I2C et Logistique interviennent afin d'assurer la maintenance :
  - Vide et diagnostic électronique : L. Bouscayrol, J.C. Marrot
  - Fluides et extraction : A. Maiorano, T. Do Conto
  - Électronique : D. Lagrange, R. Costes, T. Corbin
  - Informatique : Sysadmin, D. Colin, F. Mesnilgrente
  - Electricité : E. Tasselli

### Gestion des activités

#### Gestion des équipements (maintenances, procédés et service) :

Pascal Dubreuil : TRIKON (ICP1, ICP2, ICP3)

Aurélie Lecestre : ALCATEL (P1, P4), SENTECH (Etchlab, Si500), TEPLA, DIENER

L'utilisation des équipements de délaquage de résine (Diener et Tepla) est **en libre, service après formation** qui est obligatoire à tous les nouveaux entrants en salle blanche.

#### 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.

Déroulement d'une gravure :

- Demande de faisabilité auprès de Pascal et Aurélie et écrite sur la fiche numérique de suivi technologique.
- Réservation d'un créneau de gravure sur l'application en ligne.
- Pascal ou Aurélie valident ou non la réservation
- Si le demandeur est formé sur l'équipement de gravure, il fait lui-même les gravures et valide l'utilisation.
- Si le demandeur n'est pas formé, Pascal ou Aurélie effectuent les gravures et valident l'utilisation.
- Remplir le tableau avec les résultats de la gravure.

### Calibrations / validations des équipements et procédés.

#### Existantes

Objectif	Nature de l'action conduite	Fréquence
Vérification du fonctionnement des machines	Contrôle des paramètres machines.	1 fois par jour
	Répertorier les paramètres machine sur un tableau Excel (vide, alarmes...)	1 fois par jour
Vérification des résultats de gravure	Vérification des vitesses de gravure obtenues	Après chaque gravure
Nettoyage chambre de gravure	Ouverture/nettoyage mécanique/changement céramique	P1/P4 gravure traversante
	chemisage	ICP2 et ICP3 2 fois/an

Remarque : le retour d'information sur les gravures de la part des utilisateurs est indispensable.

#### Qui vont être mises en place

Objectif	Nature de l'action conduite	Fréquence
Mesure de la contamination des chambres de gravure	Réflexion en cours	1 fois par trimestre
Mesure de la « propreté » des chambres de gravure	OES (spectre raie oxygène) Besoin d'achat	1 fois par semaine

Encore une fois, il est primordial d'avoir, en plus des protocoles d'ouverture et de changement des céramiques/chemisage (2fois/an), des outils de mesure ou de contrôle des contaminations dans chacune des chambres. La qualité et la reproductibilité des gravures en dépendent fortement.

Concernant la mesure d'éventuelle contamination des chambres de gravure, une réflexion est en cours sur la mise en place d'un procédé technologique de contrôle.

## BUDGET

### 2017

2017	Fourniture	Consommables	Maintenances	Support et sécurité
Montants En K€	0,00	6 683,93	22 182,00	37 330,00

- **Consommables** : Gaz SENTECH (2996.93€), Gaz ALCATEL (3687€).
- **Maintenances** : ALCATEL pompe, onduleur, vanne, caméra (10997.08€), pièces (11184.92€).
- **Sécurité** : traitement des gaz Cl<sub>2</sub> SENTECH et TRIKON (37330€).

### 2018

2018	Fourniture	Consommables	Maintenances	Support et sécurité
------	------------	--------------	--------------	---------------------

<b>Montants</b>	0,00	3 900,00	67414.60	15 000,00
<b>En K€</b>				

- **Consommables** : Gaz + Galden pour chiller (3900€).
- **Maintenances** : Maintenance préventive sur Alcatel P1 et P4 (67114.60€), sablage céramiques + chemisage ICP2 et ICP3 (300€).
- **Support** : Installation du scrubber sur pompes primaires ICP2 et Si500 (10k€), installation Tegal / plasma O<sub>2</sub> (4k€), soufflette N<sub>2</sub> (1k€).
- **Sécurité** : aménagement du doigt gris contre le bruit et contre une fuite de la source RF P1.

Le montant de la maintenance pour 2018 est plus élevé qu'en 2017, car une grosse maintenance préventive, à raison de tous les 5 ans, sera réalisée sur les chambres P1 et P4 pendant une semaine par deux ingénieurs de la société ACEMMI.

Le montant sécurité en 2017 a été plus important suite à l'achat du système à cartouche Edwards de traitements des gaz chlorés pour les équipements ICP2 et Si500.

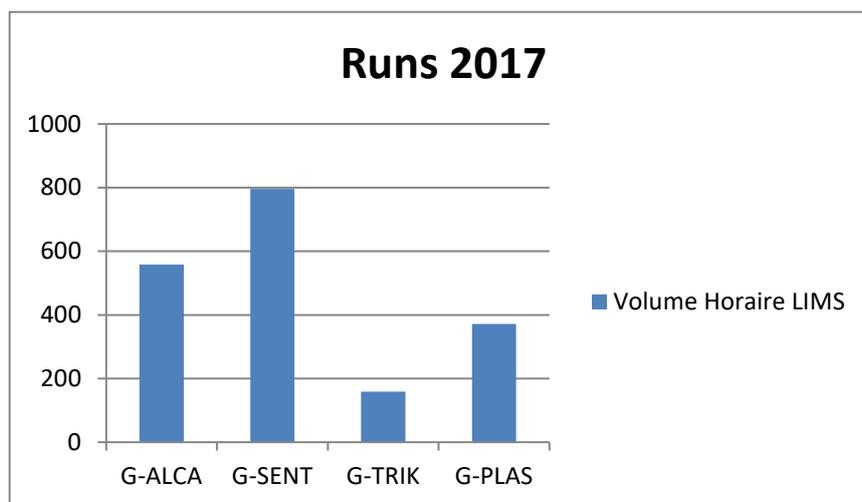
## FORMATIONS

Type	Intitulé	Durée (h)	Nombre de sessions/an	Durée totale/an(h)	Nombre total de participants /an
<b>Cours TEAM Formation pratique TOTAUX</b>	<b>La gravure par plasma</b>	1h30	1	1h30	10
	<b>Plasma O2</b>	0h30	17	8h30	64
			18	10h00	74

La formation concerne cette année deux volets, le cours technologique et la formation des nouveaux entrants en salle blanche. Le nombre actuel de licenciés sur les machines de gravure est de 19 personnes.

## BILAN

### Par équipement/nomenclature : 4 nomenclatures référencées en 2017



#### G-ALCA

L'équipement le plus utilisée est P1 :

- P1 est dédiée à la gravure du silicium pour des profondeurs submicroniques et microniques (jusqu'à 600µm) avec des rapports d'aspects élevés.
- Cet équipement est utilisé par quasiment toutes les équipes de recherche.
- Généralement le temps des procédés est long, car cet équipement a été conçu pour des gravures traversantes.

L'équipement P4 :

- P4 est dédiée à la gravure profonde du verre, mais reste moins utilisé.
- Un travail sur le développement de la gravure profonde du verre est en cours (masquage temporaire non métallique, masquage Si amorphe).

### G-TRIK

Les équipements ICP2 et ICP3 :

- ICP3 est dédiée aux gravures de nombreux matériaux dont les métaux, par conséquent les temps de gravure sont en moyenne inférieurs à 15min. ICP3 est très sollicitée par rapport à ICP2.
- ICP2 est utilisée pour la gravure des III-V en gaz chlorés.

### G-SENT

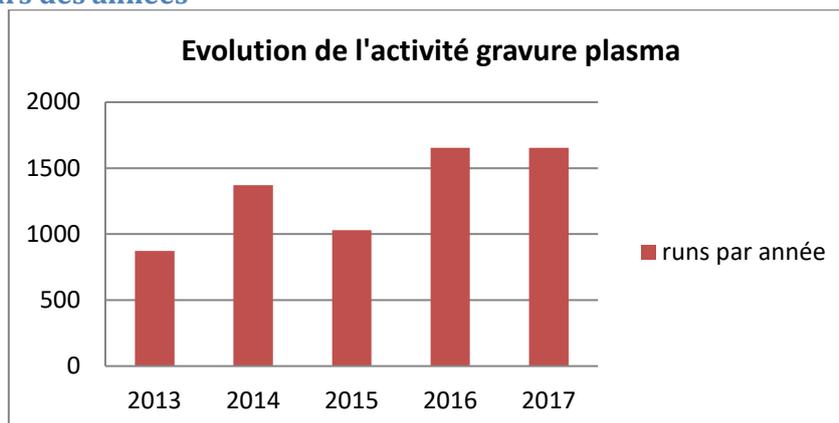
Les équipements Etchlab et SI500 :

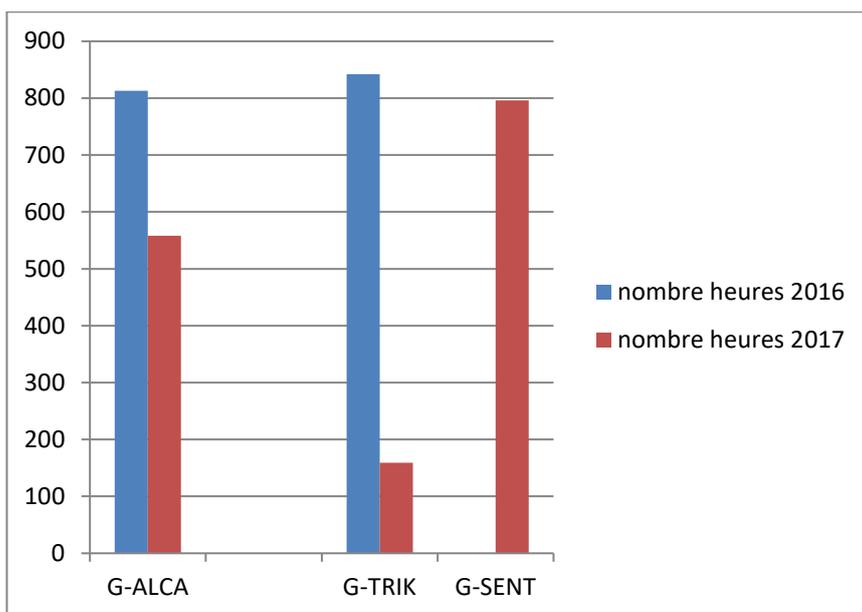
- 4 équipes de recherche utilisent ces équipements (MPN, PHOTO, MICA, ISGE) et TEAM.
- Ces équipements sont dédiés pour des gravures submicroniques, par conséquent les temps de gravure sont très courts en mode ICP et longs en mode RIE.
- Ces équipements ont été livrés fin 2015. Depuis, un travail important sur le développement des procédés a été effectué avec ces équipes de recherche.

### G-PLAS

- L'équipement Tepla est très utilisé pour le délaquage des résines et le traitement de surface pour les matériaux NoMOS.
- L'équipement Diener est utilisé pour le traitement de surface sur silicium vierge avant lithographie, et pour le délaquage ou traitement de surface en technologie MOS.

### Evolution au cours des années





D'abord, le premier graphique montre l'évolution du nombre de runs au cours des 5 dernières années. Une moyenne de gravures autour de 1316 runs par an est réalisée. L'évolution de l'activité en 2016 résulte de l'ajout de 2 machines supplémentaires (Si500 et Etchlab). L'activité en 2017 semble se stabiliser.

Ensuite, le deuxième graphique montre l'évolution des gravures sur 2016 et 2017 en heures par code facturation, ainsi que la répartition de l'activité.

Aussi, il apparaît en 2017, une nouvelle nomenclature G-SENT concernant Si500 et Etchlab. Cette activité correspond aux gravures submicroniques et nous observons l'investissement sur les deux machines SENTECH qui ont répondu aux demandes.

Nous observons une baisse de 30% sur l'année pour P1, P4 et une baisse de 80% pour ICP2, en partie à cause de pannes récurrentes de P1 et P4, et une faible demande pour ICP2 car une partie des procédés a été transférée ou développée dans les deux SENTECH.

Enfin l'ouverture de la zone à plusieurs personnes nous ont permis de faire des développements de gravure en interne et pour des projets de recherche.

## EVOLUTIONS DE PROCEDES

### Bilan des développements effectués en 2017

<i><b>Machine</b></i>	<i><b>Echelle</b></i>	<i><b>Développements</b></i>	<i><b>Equipes</b></i>
<b>ICP3</b>	<1µm	Gravure barc+Ge+Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<b>PHOTO</b> (L.Macé) <b>TEAM</b> (P.Dubreuil)
	<1µm	Tungstene	<b>MPN</b> (F. Cristiano) <b>TEAM</b> (L.Salvagnac, P.Dubreuil)
	<1µm	Niveau de gris ECI	<b>TEAM</b> (R.Courson, PF Calmon, P.Dubreuil)
		Labview sur DFA	<b>TEAM+I2C</b> (L.Jalabert/R.Costes, P.Dubreuil)
<b>P4</b>	<200µm	Gravure du verre (polyimide)	<b>TEAM</b> (P.Dubreuil, S.Charlot, G.libaude)
<b>P1</b>	400µm	Gravure Si avec un masque en Alu caméra pour DFA + labview	<b>TEAM</b> (L. Jalabert) <b>TEAM</b> (L. Jalabert)
	<10µm	Niveau de gris dans Si	<b>TEAM</b> (P.Dubreuil, PF.Calmon)
<b>SI500</b>	<50nm	Gravure ALE GaAlN	<b>ISGE</b> (C.Haloui) <b>TEAM</b> (P.Dubreuil)
	<10nm	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<b>MPN</b> (N. Mallet)
	<1µm	Gravure du GaAlSb	<b>PHOTO</b> (G.Almuneau, P.Dubreuil)
<b>Etchlab</b>	<20nm	Copolymère à blocs	<b>PHOTO</b> (I.Massiot) ( <b>TEAM</b> (M.Brillat, L.Mazenq, P.Dubreuil)

### Gravure de métaux : ICP3

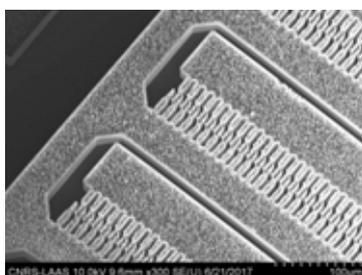
- Amélioration du procédé de gravure du Tungstène. Un seul procédé permet de graver la couche mince de tungstène (100nm/min) et de s'arrêter sans graver le substrat en silicium (<10nm) avec un suivi DFA laser développé au LAAS.

### Gravure du verre : Alcatel P4

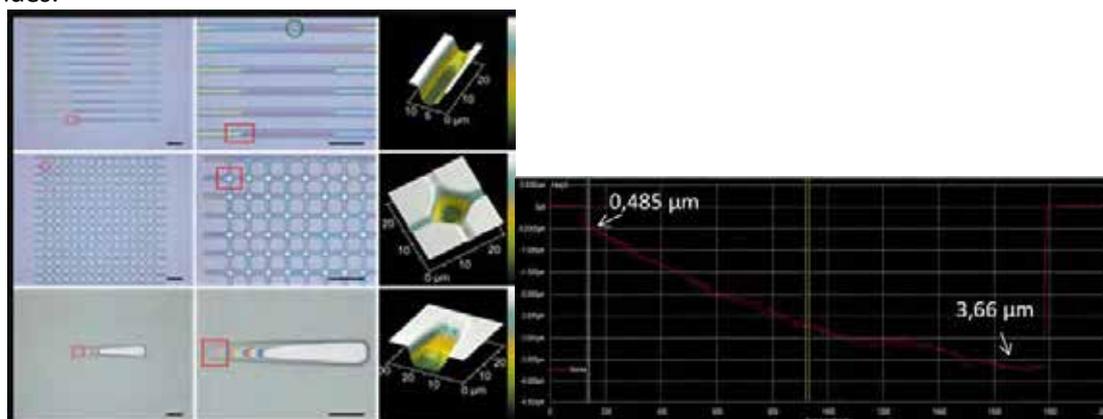
- Un nouveau masquage polyimide a été testé jusqu'à 50µm de profondeur. Mais l'épaisseur monocouche reste insuffisante pour graver plus profondément. La résolution est de l'ordre de 10µm. Plusieurs nouvelles voies sont envisagées avec l'utilisation d'un masquage temporaire non métallique, ou du Si amorphe. Le but étant de pouvoir répondre à une gamme de profondeurs à graver.

### Gravure Bosch avec un masque en Alu : Alcatel P1

- Afin d'effectuer des gravures traversantes (400µm) avec un masque haute résolution, nous sommes en train de développer un procédé de gravure avec un masque en aluminium. Cependant nous avons quelques résidus en fond de gravure. Ces résidus proviendraient de la pulvérisation du masque en Alu ce qui créerait du micro masquage (black silicon). Une caméra couleur motorisée a été mise en place par L. Jalabert pour suivre la gravure.



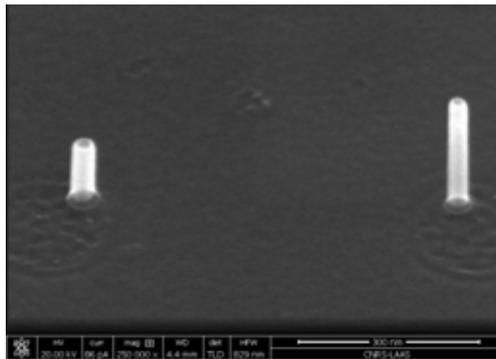
- La gravure de niveau de gris permet de graver le silicium en inversant l'effet ARDE ou aussi obtenir un profil en pente. C'est dans le second cas, qu'une résine a été mise en forme avec la Dilase 750. Cela permet actuellement de réaliser des gravures peu profondes. L'étude continue pour obtenir des profondeurs plus grandes.



Mesure Tencor du profil 2.5D gravé

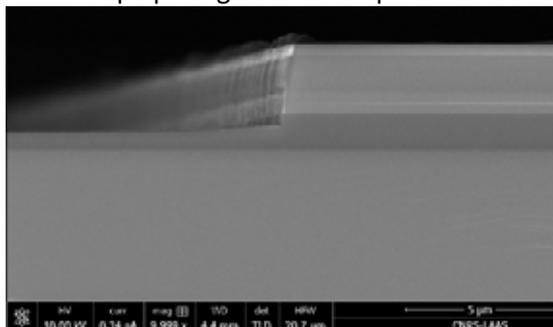
### Gravure Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : SI500

- Mise au point de la gravure Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> déposé par ALD sur les nanofils Si. Une gravure anisotrope a permis d'enlever Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sur le haut des nanofils.



### Gravure GaAlSb : SI500

- Mise au point d'un procédé anisotrope pour graver un empilement de couches GaAlSb.



### Gravure de copolymères à blocs : Etchlab

- Mise au point d'un protocole pour le transfert du masquage copolymère dans le silicium en co-encadrant une stagiaire.

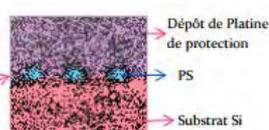
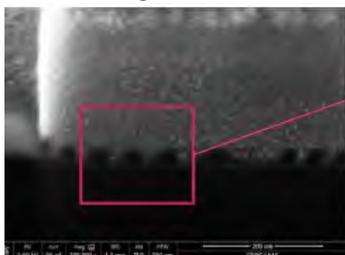
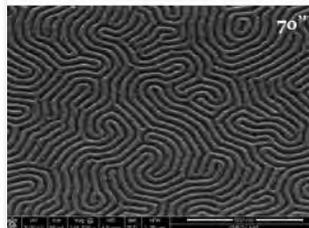


Figure 24 : Image MEB d'une coupe au FIB de l'échantillon après 60sec de gravure du PMMA et grossissement colorisé des phases



Actuellement, un apprenti ingénieur continue l'étude sur la mise au point d'autres copolymères sur silicium. Par la suite une autre étude de transfert par gravure sera réalisée.

**Formation technique des intervenants :** LabVIEW (utilisé pour la DFA de ICP3 et P1).

## SYNTHESE

### Parc machine

- Suite à l'acquisition d'un nouvel équipement RIE-ICP, nous avons maintenant 3 équipements qui utilisent des gaz chlorés (Cl<sub>2</sub>, BCl<sub>3</sub>) et qui sont dédiés à la gravure du Ga(Al)As, de l'AlGaN et du silicium. Par conséquent, un système de traitement de gaz sera connecté cette année à 2 équipements. Par la suite, avec l'arrivée de la nouvelle machine, il faudra réorganiser l'attribution des chambres et transférer les procédés chlorés de ICP3 vers ICP2.
- De nombreux matériaux et tout type de masquage utilisent l'ensemble des machines de gravure : le contrôle in situ de l'état de propreté des chambres de gravure par un OES adapté, portable et peu encombrant est impératif pour contrôler les contaminations croisées et pourrait valider nos calibrations régulières sur l'état des procédés.

- Les machines TRIKON ne sont plus fabriquées et les pièces pour la maintenance sont très limitées. Une jouvence d'une de ces machines est obligatoire. Enfin, pour pallier à l'utilisation en mode pulvérisation de ICP3 pour la gravure de métaux, ou matériaux réfractaires, il faudrait acquérir une machine de type (R)IBE. En effet, lors d'une étude pour un projet MOS Renatech, il a été trouvé après analyse EDX des traces d'Au sur les wafers traités.
- Si l'équipement Alcatel (très régulièrement en maintenance) tombe en panne pendant plusieurs semaines, nous ne pouvons plus faire de gravure profonde de Si. De plus, la gravure avec un masque métal ne fonctionne pas dans P1. Nous pourrions utiliser le bâti STS pour la gravure profonde avec des masques en métal.

### Développements des procédés de gravure

- Les procédés standards de gravure profonde existant au LAAS reposent sur l'utilisation de masques de résine épaisse (40 $\mu$ m) qui limitent la résolution des motifs de photolithographies et présentent assez régulièrement des problèmes (les solvants inclus dans ces résines provoquent des bulles et donc des défauts pendant la gravure). De plus lors de gravures très longues pour graver des surfaces de Si importantes (>50%), cette résine montre sa limite en sélectivité. Pour s'affranchir de ce problème, nous visons à remplacer ces résines par d'autres masques et à mettre au point un procédé de gravure adapté.
- La gravure du verre, continuera à utiliser un masque polyimide pour des gravures <50 $\mu$ m. Cependant, il faudra qualifier des nouveaux masquages qui pourraient être temporaires et réutilisables pour des gravures plus profondes.
- Le transfert de procédés des gravures des III-V les plus utilisées dans la Si500 continuera dans l'année 2018.
- Tous les procédés de l'équipement ICP3 utilisant du Cl2 devront être transférés dans ICP2 (car système GRC).

## JET D'ENCRE ET TRAITEMENT DE SURFACE

### EQUIPEMENTS

#### Liste

Nom	Libre service	Année d'achat	Valeur d'achat (k€)	n° inventaire	Référence dans LIMS	Priorité
Machine Altadrop	Non	2007	345	8505_W	J4 (8505_W)	0
Viscosimètre Anton Paar	Oui	2007	186	8747_CM	J7 (8747_CM)	0
Cuve ultrasons	Non	2008	1			
Étuve Memmert	Non	2009	0,5			
Granulomètre Horiba	Oui	2009	29	9447_W	J8 (9447_W)	2
Centrifugeuse Fisher	Non	2009	1,5	9728_CE		
Microbalance	Oui	2010	2,8	11142_CM	J11 (9949_PB)	1
Homogénéisateur Ultra Turrax	Non	2012	2,142			
Agitateur chauffant Lab Mix	Non	2012	2,773	10084_CV 10085_CV 10086_CV		
Mesure sédimentation	Non	2012	0,273			
Traitement UV Ozone	Non	2010	10,1	10023_W	J9 (10023_W)	1
Traitement UV 248nm	Oui	2014	2,033	11633_O1.38	J10 (11633_OA.38)	0
SPD MEMSSTAR	Oui	2013	428,4	10745_CV	J1 (10745_CV)	0
Sécheur Supercritique TOUSIMIS	Oui	2004	76,2	7592_W	J2 (7592_w)	0
CO <sub>2</sub> supercritique SFD200 (31°)	Oui	2013	160	10884_W	J3 (10884_W)	0

Le traitement de surface fait appel aux 4 équipements suivants : l'UV Ozone, l'UV 248nm, le SPD MEMSSTAR (Surface Preparation Deposition) et le SFD 200, 31 DEGREES (Supercritical Fluid Deposition).

#### Maintenances significatives

##### 2017

L'Altadrop ne fonctionne plus sur certaines distances entre les gouttes. Plusieurs tests ont été effectués avec l'aide du SAV Electroglass mais ce dernier n'a pas encore réussi à diagnostiquer le problème.

##### 2018

Le SPD est en fonctionnement depuis 5 ans, il faut prévoir une maintenance préventive ainsi qu'un changement du régulateur de débit d'azote du FDTs. Celui-ci génère une erreur une fois sur deux par manque de réactivité. De plus le bulleur pour le PEG sera changé pour un plus grand volume pour éviter les problèmes de contamination. Le générateur plasma est également en panne, un diagnostic est en cours.

##### Analyse

Le volume de maintenance en 2017 est stable avec quelques grosses pannes qui ont pris plusieurs journées de tests et de réparation. Le manque de SAV d'Altatech et le manque de compétence en SAV Electroglass font que l'Altadrop va perdre des fonctions et possibilités jusqu'à ne plus être utilisable.

### Evolutions significatives

L'acquisition de la Ceradrop va permettre de répondre à des de projets qui n'étaient jusqu'à présent pas réalisables. L'acquisition pour la Ceradrop est à prévoir afin d'augmenter ses capacités.



demandes d'options

### Prospectives

#### Spray 160k€

L'option spray de technologie Optomec pour la Ceradrop nous permettrait d'obtenir des dépôts de résolution 10µm, ce qui est plus la technologie jet d'encre et de déposer avec une plus grande distance pour les substrats courbes par exemple.

fin qu'avec de travail

#### Recuit photonique 160k€

L'option de recuit photonique pour la Ceradrop nous permettrait de travailler sur des substrats non compatibles avec les recuits à 280°C des encres conductrices. Nous pourrions ainsi écrire des pistes conductrices sur du PET par exemple.

#### Module UV par LED 21k€

Option pour la Ceradrop pour la polymérisation des encres déposées, intégrée à la machine.

#### Module proche infrarouge 17k€

Option pour la Ceradrop pour le séchage des encres déposées, intégrée à la machine.

#### Module mono buse 20k€

Option pour la Ceradrop pour le jetting de gouttes avec la technologie microfab en remplacement de l'Altatech.

#### Densimètre 20k€

Un densimètre haute résolution pour la prédictibilité de la jettabilité des encres et pour l'analyse de la reproductibilité de leur formulation.

## ORGANISATION

### Personnel

- Mesnilgrete Fabien (AI) : responsable de la zone
  - Gestion du parc et des procédés jet d'encre et traitement de surface
- Conédéra Véronique (IR)
  - Développement de l'electroless

### Gestion des activités

Les demandes de dépôt electroless sont faites auprès de Véronique Conédéra et les activités encore en développement ne sont pas ouvertes aux utilisateurs.

Les demandes de traitement de surface sont gérées par Rémi Courson et Fabien Mesnilgrete. Pour les équipements UV et le SPD une formation est dispensée même pour une faible utilisation, ces équipements étant faciles à utiliser.

Le SFD est un prototype, l'accès y est restreint, les formations sont dispensées dans le cas d'utilisation importante.

Les demandes de jet d'encre sont faites auprès de Fabien Mesnilgrete. L'équipement est un prototype et son accès n'est pas ouvert.

### Calibrations / validations des équipements et procédés.

#### Existantes

Objectif	Nature de l'action conduite	Fréquence
Suivi équipement Tousimis	Log des temps de refroidissement et de la consommation de CO <sub>2</sub>	A chaque run

<b>Suivi équipement SFD</b>	Log des produits utilisés et de la consommation de CO <sub>2</sub>	A chaque run
<b>Qualification du viscosimètre</b>	Mesure de viscosité de l'eau	Biannuelle
<b>Qualification du procédé de traitement de surface par UV/O3 (2016)</b>	Mesure de l'angle de contact d'un polymère avant et après traitement	Mensuelle
<b>Qualification du procédé de traitement de surface par UV254nm (2016)</b>	Mesure de l'angle de contact d'un polymère avant et après traitement	Mensuelle

### Qui vont être mises en place

Objectif	Nature de l'action conduite	Fréquence
<b>Qualification des procédés du SPD</b>	Réalisation des procédés génériques sur Si et Kapton	Mensuelle
<b>Suivi de la dérive de l'équipement Tousimis</b>	Analyse des temps de refroidissement et de la consommation de CO <sub>2</sub>	Trimestrielle
<b>Qualification de la propreté de la ligne du SFD</b>	Run à blanc sur substrat Si et mesure de l'angle de contact	Mensuelle

## BUDGET

### 2017

2017	Fourniture	Consommables	Maintenances	Support et sécurité
<b>Montants En K€</b>	0	2,1	2,5	1,6

La maintenance a été plus importante que prévue à cause d'une intervention sur l'Altadrop de la part du SAV d'Electroglass. Les consommables sont aussi plus importants de par la prise en compte de la consommation de CO<sub>2</sub> pour le tousimis et le SFD.

### 2018

2018	Fourniture	Consommables	Maintenances	Support et sécurité
<b>Montants En K€</b>	3,5	5	10	3

Le coût en maintenance concerne principalement la maintenance préventive du SPD. Les consommables vont être plus importants cette année pour les développements sur la ceradrop.

## FORMATIONS

### Formations assurées

Type	Intitulé	Durée (h)	Nombre de sessions/an	Durée totale/an(h)	Nombre total de participants /an
<b>Cours TEAM</b>	<b>Cours jet d'encre et traitement de surface</b>	1h30	1	1h30	6
<b>Formation pratique</b>	<b>Viscosimètre</b>	0h30	0	1h30	0

	<b>Sécheur Tousimis</b>	2h00	0	0h00	0
	<b>SPD</b>	0h30	4	2h00	4
	<b>SFD</b>	3h00	0	6h00	0
<b>TOTAUX</b>			5	11H	10

### Compétences acquises

Nous avons suivi des formations et acquis des compétences en traitement de surface plasma et également approfondi nos connaissances en microfluidique en suivant l'école d'été organisée par le GDR éponyme. Nous avons suivi une formation 1<sup>er</sup> niveau à la Dilase 750 pour la fonctionnalisation au laser 266nm.

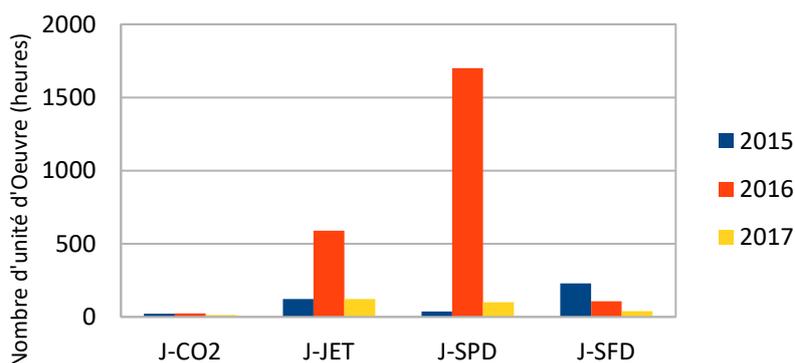
### Besoins

En traitement de surface nous avons besoin de formation pour approfondir nos connaissances sur les techniques de traitement de surface ainsi que les méthodes de caractérisation adaptées.

En jet d'encre les besoins de formation concernent l'utilisation de tête multi-buses, de type industriel et recherche ainsi que sur la formulation d'encre fonctionnelle.

## BILAN

Utilisation des produits par année



Le sécheur CO2 super critique Tousimis est utilisé ces dernières années uniquement pour sécher des structures très sensibles fabriquées sur le nanoscribe. Cela concerne très peu de personnes.

L'utilisation de la machine jet d'encre Altadrop a baissé en suivant le nombre de projets demandant un fort développement de procédé. Un procédé jet d'encre en développement a été mis en pause pour cause de panne que nous n'arrivons pas à résoudre avec le SAV Electroglass.

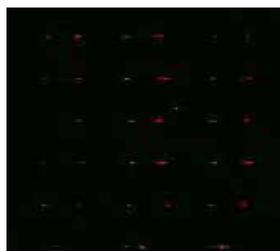
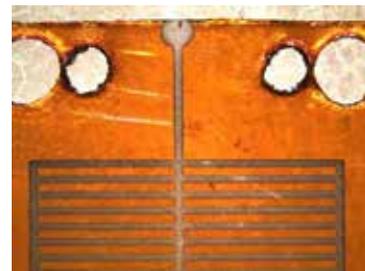
Le SPD est en augmentation par rapport à 2015, il est difficile de comparer avec 2016 où de nombreuses heures portaient sur la remise en route de l'appareil suite à la pollution survenue lors de la mise en place d'une nouvelle molécule.

L'activité sur le SFD est en baisse, les procédés développés répondent à la plupart des demandes. Peu de développements ont eu lieu.

## EVOLUTIONS DE PROCEDES

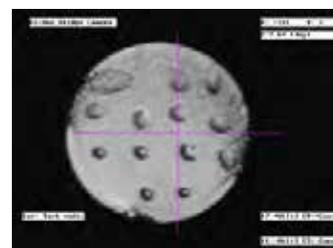
**Evolution des procédés conduits en 2017**

En jet d'encre nous avons développé l'impression d'encre argent pour imprimer des pistes conductrices (photo : lignes de 300 $\mu$ m de large). Ceci pour répondre à une demande Renatech et aussi en prévision de l'arrivée de la nouvelle machine de jet d'encre. La Ceradrop a été acquise dans le cadre du projet MultiFAB dans lequel nous devons imprimer de fines pistes conductrices à une distance de travail importante.



Nous avons aussi développé l'impression d'encres biologiques. Les sels des tampons phosphate très utilisés en biologie peuvent créer des problèmes sur la stabilité de l'éjection des gouttes et donc la précision du dépôt. Grâce à ce développement nous avons pu déposer une encre de streptavidine, marquée en fluorescence, en solution dans un tampon phosphate salin sur un tampon pdms (photo : fluo en vert et rouge, largeur de 5 $\mu$ m, après  $\mu$ contact printing sur lame de verre).

Nous avons aussi développé le jetting avec une buse de 15 $\mu$ m afin d'obtenir des gouttes plus petites. Nous avons ainsi pu déposer deux fois plus de gouttes sur une section de fibre optique de 300 $\mu$ m de diamètre. Nous pourrions déposer plus de matériaux différents sur la fibre et donc augmenter les capacités d'analyse de la fibre optique pour ce projet.



En electroless, nous avons travaillé sur le dépôt de cuivre directement sur la SU8 sans passer par une couche de nickel ; nous n'avons pas pu résoudre le problème d'adhérence du cuivre sur le nickel pour les films SU8 (chimie époxy).

Nous avons démontré qu'une fonctionnalisation au Spectroline (UV 254nm) suivie d'un dépôt APTES par SFD200 permet de déposer le cuivre directement sur la SU8. Par contre, la fonctionnalisation par le laser 266nm au lieu du Spectroline n'est pas concluante pour la SU8. Ces mêmes tests vont se poursuivre sur les films PET.

En traitement de surface nous avons développé dans le SFD le dépôt d'une couche mince (0,5-1 $\mu$ m) de pHEMA de façon conforme, pour la formation de sphéroïde pour la culture cellulaire. Ce développement a permis le dépôt d'une couche mince et homogène, en remplacement de la méthode habituelle de dépôt non contrôlé à la micropipette.

**Evolution des procédés prévus en 2018**

Pour 2018 les efforts de développements vont se concentrer sur le jet d'encre suite à l'arrivée de la nouvelle machine. Nous allons commencer par l'impression d'encre argent afin d'imprimer des pistes conductrices, tel que défini dans le cadre du projet MultiFAB.

En traitement de surface nous souhaitons mettre en place le traitement hydrophile dans le SPD pour répondre à certains problèmes de microfluidique.

En electroless nous continuons les développements principalement sur la fonctionnalisation de surface par le laser 266nm.

## SYNTHESE

**Jet d'encre**

L'arrivée de la Ceradrop va nous permettre de conduire de nombreux développements pour les années à venir. Son arrivée est importante puisque l'Altadrop subit des pannes que nous ne pouvons résoudre, faute de SAV. Sur la Ceradrop de nombreux modules sont disponibles, nous devons réfléchir au financement de ces options, aussi bien pour les petits modules de l'ordre de 15k€ que les gros modules de l'ordre de 150k€

### Traitement de surface

En traitement de surface l'activité s'est stabilisée, il reste à développer sur le SPD la ligne pour le traitement hydrophile. De nouvelles molécules seront développées à la demande sur le SFD. Nous réfléchissons à l'intérêt d'acquérir un équipement de traitement de surface par plasma.

### Electroless

Pour la SU8, nous avons optimisé le procédé de dépôt de cuivre directement sur la résine sans passer par une couche de nickel. La fonctionnalisation par le laser 266nm n'est pas faisable et donc la fonctionnalisation doit se faire par le spectroline pleine plaque.

Nous poursuivons les tests avec le laser 266nm sur les autres films (PET, DF).

## CARACTERISATION

### EQUIPEMENTS

#### Liste

Nom	Libre service	Année d'achat	Valeur d'achat (k€)	n° inventaire	Référence dans LIMS	Priorité
Hélios (FIB)	Oui	2012	985	10427_PO	C1	0
S-4800 (MEB)	Oui	2005	450	8046_W	C2	0
S-3700N (MEB)	Oui	2008	150	9301_PO	C3	0
Icon (AFM)	Oui	2011	161	10321_W	C4	0
Dimension (AFM)	Oui	2000	114	6896_PO	C5	1
Tensor (FTIR)	Oui	2015	21	115438_SE.01	C6	1
Uvisel (Ellipsomètre)	Oui	2005	150	7957_PO	C7	0
AutoEL (Ellipsomètre)	Oui	<2000	-	-	C8	1
Digidrop	Oui	2004	?	7036_EL	C9	0
Résistivimètre manuel	Oui	<2000	-	11163_ELM	C10	1
Résistivimètre auto	Oui	2003	~20	11162_ELM	C11	0
Wyko (interféromètre)	Oui	2001	229	6841_PO	C12	1
LEXT (confocal)	Oui	2008	117	9131_PO	C13	0
Leica (microscope)	Oui	2008	22	9300_PO	C14	0
Tencor P15	Oui	2000	92	06629C	C15	1
Tencor P16+	Oui	2009	82	9645_W	C16	0
PECS	Oui	2002	60	7016_P	C17	1
TXRF	Non	2013	-	104078W	C18	1
Tencor P17	Oui	2017	76	12105_PB.03	C20	1
Spectromètre UV-VIS	Oui	2017	12	12042_SE.11	C19	0
DSC	Oui	2017	75	12155_PB.01	C21	0
Balance	Oui	2018	10	En cours	C22	1

Dans le cadre du projet thermie, le Tencor P15 a été remplacé par le Tencor P17 (jouvence nécessaire) et la DSC (calorimétrie à balayage différentiel pour l'analyse des phénomènes endo et exothermique d'un matériau) a été installé.



De plus cette année, le TXRF va être sorti de salle blanche (vendu si possible pour

rembourser les frais d'installation) car les maintenances nécessaires pour le faire fonctionner sont très couteuses. De plus cet équipement n'a été sollicité qu'une fois en 4 ans.

## Maintenances significatives

### Année passée

Maintenance importante sur le FIB avec le changement de la colonne ionique en entier (assuré par le contrat de maintenance).

Maintenance sur les pompes primaires des MEB.

Réparation en interne de l'alimentation du microscope Leica (réglage de la luminosité compromise et passage de l'objectif X100 en photolithographie).

### Année à venir

Changement du canon à électron du S-4800

Rétrofit de la tête AFM du Dimension

## Prospectives

### EDX-XTREM – 80-110k€

Changement d'un EDX classique par un EDX X-TREM pouvant faire des analyses à basse tension (à partir d'1keV) ce qui permettrait les mesures sur verre et sur des nano-objets (à partir de 50nm<sup>3</sup> contre 1µm<sup>3</sup> aujourd'hui).

### Profilomètre optique – 200k€

Remplacement du profilomètre interférométrique Wyko qui n'est plus maintenu par un nouveau profilomètre interférométrique/holographique.

### Réfectomètre – 15k€

Appareil de mesure de couche mince en doublon de l'ellipsomètre moins précis mais pouvant mesurer jusqu'à plusieurs dizaines de microns.

### MEB HR – 450k€

MEB haute résolution en remplacement du S-3700N qui est peu utilisé permettant de soulager le FIB et le S-4800 (les 2 appareils sont utilisés >1200h /an). Une option cryogénique ou environnemental pour observer les échantillons biologiques et les isolants pourrait être un plus au vu du nombre de ce type d'échantillons mais demandera un investissement plus conséquent (prix de la machine et formation des utilisateurs).

### AFM fastscan – 400k€

AFM en remplacement du Dimension avec une option de scan rapide.

## ORGANISATION

### Personnel

- Benjamin Reig (IR) : responsable de zone
- Fabien Mesnilgrete (AI) : aide technique + formation Confocal et digidrop + soutien zone
- Franck Carcenac (IR) : aide technique + formation MEB/FIB
- Séverine Vivies (AI) : aide technique sur le Tencor P-17 et la DSC
- Cyril Cailhol (stagiaire DUT) : aide technique sur le spectromètre UV-VIS

Emmanuelle Daran va également s'impliquer sur la zone caractérisation à partir de 2018 avec une aide sur les AFM au début puis sur d'autres équipements.

### Gestion des activités

Passage obligatoire des utilisateurs pour entrer en salle blanche avec une présentation générale de la zone et une formation pratique sur le profilomètre mécanique.

Zone en libre-service après formation pour tous les appareils de caractérisation et réservation obligatoire dépendant des machines.

## Calibrations / validations des équipements et procédés.

### Existantes

Objectif	Nature de l'action conduite	Fréquence
Vérification de calibration AFM Dimension et Icon	Mesure étalon en XYZ, vérification des côtes et de la linéarité du piézo	1 fois par mois
Vérification de calibration Tencor P15 et P16+	Mesure étalon en XZ, vérification des côtes et de l'alignement de la pointe, calibration automatique de la force	1 fois par mois
Vérification de calibration résistivimètre	Mesure et vérification de résistance carrée par rapport à un étalon en or	1 fois par mois
Vérification de calibration ellipsomètre	Vérification des zéros des polariseurs, de l'intensité de la lampe et mesure de l'étalon	1 fois par mois
Vérification de calibration des profilomètres optique	Vérification des mesures de l'étalon XYZ	1 fois par mois

Les calibrations sont faites quand on remarque une dérive sur les appareils lors de la vérification ou sur demandes des utilisateurs.

Certaines calibrations sont directement demandées par la machine après un nombre d'heure d'utilisation ou au démarrage de la machine (spectromètre FTIR, UV-VIS et balance), il suffit de suivre les instructions données par le soft, ce que tout le monde peut faire.

### Qui vont être mises en place

Objectif	Nature de l'action conduite	Fréquence
Vérification des dérives de la balance	Mesure des poids étalons	1 fois par mois
Calibration de la DSC	Mesure des métaux étalons puis report des informations dans le soft	1 fois par semestre ou au changement de capteur

## BUDGET

### Exécuté l'année passée

2017	Fourniture	Consommables	Maintenances	Support	Sécurité
Montants En K€	3.5	8.5	47.5	0.6	0

Le budget de la zone caractérisation reste stable par rapport à 2016. La part la plus importante est le contrat de maintenance du FIB (~36k€).

### Prévisionnel année à venir

2018	Fourniture	Consommables	Maintenances	Support	Sécurité
Montants En K€	3.5	7.3	71	3.5	0

Cela représente un budget supérieur à celui de l'année 2017, cela provient du risque de devoir changer la pointe FEG du S-4800 et re calibrer les piézo de l'AFM dimension, ce qui entrainerait une facture de l'ordre 20k€ en plus.

## FORMATIONS

Type	Intitulé	Durée (h)	Nombre de sessions/an	Durée totale/an(h)	participants /an
<b>Cours TEAM</b>	Cours TEAM Caractérisation	1h+2h	1	3h	40
	Cours MEB	2h	1	2h	20
<b>Formation pratique</b>	Présentation de la caractérisation + formation Tencor	1h30	20	27h	60
	Formation AFM	3h30	5	17h30	8
	Formation LEXT	1h30	3	4h30	3
	Formation MEB-FIB	3-4h	15	44h	24
	Autres formations	0.5-2h	60	80h	60
<b>TOTAL</b>			132	178	215

Le temps de formation pratique de base est très important en caractérisation mais le suivi des utilisateurs (non comptabilisé) demande au moins autant de temps.

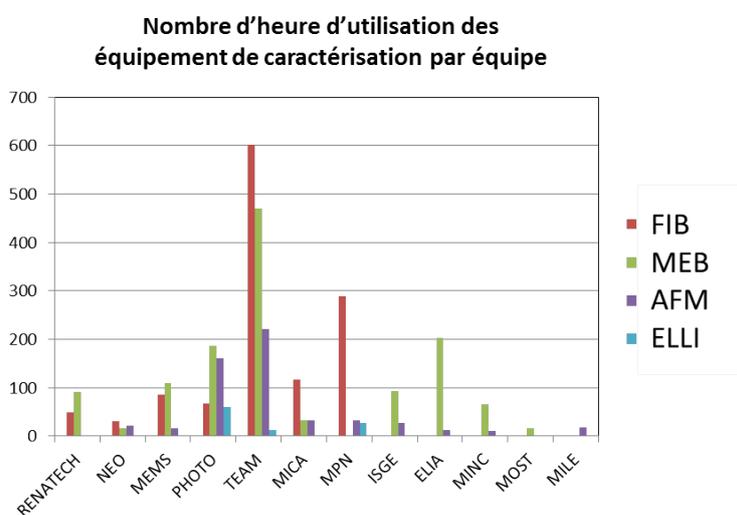
Une des évolutions en cours est la formation en 2 temps avec :

- une partie dématérialisé (cours type moodle)
- une partie pratique sur la machine

Afin de gagner du temps pour les formateurs, de donner plus d'informations sur les équipements pour les utilisateurs et qu'ils puissent y revenir quand ils veulent.

## BILAN

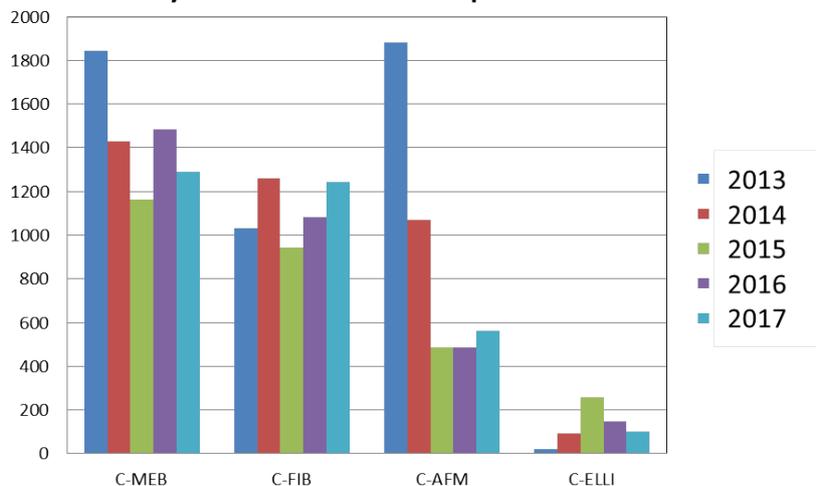
### Par équipement



Le constat est identique que l'année dernière. On remarque un grand nombre d'heure d'utilisation des équipements par TEAM, cela vient du fait que de nombreuses caractérisations sont faites par le personnel de TEAM que ce soit pour du développement de procédé ou en service pour des personnes non formées. Deux appareils, Le MEB S-4800 et le FIB Hélios sont énormément utilisés (>50% du temps de travail en caractérisation « réservé »). Le faible taux d'utilisation de l'ellipsomètre ne reflète pas la réalité car il est utilisé quotidiennement, de nombreuses personnes de doivent pas se noter sur LIMS car ne l'utilisant que des temps assez courts (~5 minutes par mesure).

## Evolution au cours des années

Evolution du nombre d'heure d'utilisation des moyens de caractérisation par année



On remarque que l'utilisation des équipements est assez stable depuis quelques années. Il est par contre très important de noter que ces chiffres ne reflètent que les utilisations des équipements « réservables » et que la zone compte beaucoup d'appareils d'utilisation de courte durée non reportée ici.

### EVOLUTIONS DE PROCEDES

Il n'y pas eu de grande évolution cette année car elle a été en partie consacré à l'arrivée des nouvelles machines (installations, procédures, notices, formations...).

#### Tomographie par FIB

Développement de tomographie par FIB (coupe + acquisition d'image Ok), notamment avec le travail sur le traitement de l'image associé.

#### Formation en 2 temps

Formation en 2 temps avec un travail autonome avec un support dématérialisé (formation moodle en cours) puis formation pratique sur l'équipement. Cette année, le but est de le réaliser pour la formation MEB.

### SYNTHESE

#### Budget

Le contrat de maintenance pour l'Hélios (FIB) et l'AFM ICON correspondent au  $\frac{3}{4}$  du budget de la zone. Cela est nécessaire si on veut pouvoir utiliser ces machines de manière intensive (immobilisé 4 mois en 2016 et avec l'investissement remboursé cette année avec le changement de colonne).

#### Formation utilisateurs

La formation et le suivi des utilisateurs demandent un investissement très important, il est donc nécessaire que les personnes qui ont suivi ces formations s'investissent pleinement et manipulent les appareils régulièrement pour s'assurer la maîtrise de ceux-ci.

#### Utilisation machines

Les personnes ont pris l'habitude de réserver les machines les plus utilisées ce qui permet d'avoir un décompte plus précis du nombre d'heure. On remarque une stagnation de l'utilisation des moyens de caractérisation ce qui reflète les travaux effectués dans la centrale de technologie.

## ASSEMBLAGE

### EQUIPEMENTS

#### Liste

Nom	Libre service	Année d'achat	Valeur d'achat (k€)	n° inventaire	Référence dans LIMS	Priorité
DAD321	Non	2001	65	6783_MEC	A1	0
KS HR 100	Oui	1989	10	-	A2	0
SET	Oui	1987	10	-	A3	0
MPS 2R300	Non	2005	60	7972_W	A4	1
Logitech PM5	Oui	1998	61	-	A5	0
Tresky 4907	Oui	1998	33,6	11144_PV	A6	1
Tresky 3000	Oui	2006	19	8096_W	A7	0
SET tr5230	Oui	1990	38	-	A8	0
K&S 6482	Oui	1985	23	-	A9	0
Tpt HB 16	Oui	2006	33,5	8333_O	A10	1
K&S 4526	Oui	2009	20	9736_W	A11	0
K&S 4700	Non	1988	23	9533_EV	A12	1
K&S 484	Oui				A13	0
K&S 484	Oui				A14	0
Delvotek 5330	Non	2005	27	7594	A15	0
Memmert	Oui	2000	0,5	8373_W	A16	0
Horo	Oui	1980	0,5	-	A17	0
Thetys	Oui	1999	0,5	-	A18	0
Logitech WSB1	Oui	1998	30,5	-	A19	0
Hottes 1	Oui	2006	20	7848_CV	A20	0
Hottes 2	Oui	2006	20	7849_CV	A21	0
SETsc910	Oui	1988	23	-	A22	0
IM 300	Oui	1999	1	9480W	A23	0
UH 115	Non	2006	40,2	8371_W	A24	0
UH 117	Non	2006	107,6	8372_W	A25	0
CDP41	Non	2005		8006_W	A26	0
FC 150	Oui	2001	244	7028_PV	A27	0
AML WB4	Oui	2005	110	7840_W	A28	1
Shipleys360	Oui	2004	4,5	8957_W	A29	0
DEK horizon01i	Non	2007	185	8957_W	A30	0
Fischione ultrasonique	Oui	2007	114	8478_W	A31	0
Plaque chauffante 350°C	Oui	2008	28	7859_W	A32	0
Four de refusion	Oui	2008	3,7	9480_W	A33	1
Viscosimètre	Oui	2009	2,7	8747_CM	A34	0
Jauge de mesure d'épaisseur	Oui	2010	10	10005_P	A35	0
Mesure de planéité	Oui	2010	15	10005_P	A36	0
Wafer bonder SUSS	Non	2011	376,7	10144_PV	A37	0
Lamineur Shipley 3024	Oui	2011	prêt	11143_O	A38	1
Polisseuse ESCIL ESC200	Non	2011	3,5	10040_W	A39	0
Encolleuse ESSILOR	Non		prêt	-	A40	0
Scribber AsGa	Non	2013		10638_W	A41	0
Tektronix TDS-2012	Oui				A43	0
Microscope Leica	Oui			7028_PV	A44	0
Etuve Memmert	Oui	2006	Prêt	8373_W	A45	0
Etuve Secasi	Oui	1996			A46	0
Aligner SUSS	Non	2011			A47	0
Hotte Wafer Bonder	Oui	2016	63	11837_HA.23	A48	0
Pull shear Testeur	Oui	2016	48	12024_PB.02	A49	0
Hotte solvant	Oui	2016			A50	0
Etuve Thermo	Non	2017			A51	0

## Maintenances significatives

### 2017

Tous les ans, nous répartissons et programmons des maintenances préventives sur différents équipements. Cette année, c'est l'équipement de flip chip qui a subi une lourde maintenance. Quelques pièces d'usure ne pouvant plus être approvisionnées ont été prélevées sur un vieil équipement stocké sous la salle blanche et servant à cet usage.

### 2018

Dans le déroulement des maintenances préventives programmée chaque année, en 2018 est prévue une maintenance sur l'équipement de lamination ainsi que le wafer bonder AML. Ces équipements sont en libre-service et très utilisés. Leurs maintenances remontent à quelques années.

## Evolutions significatives

Installation début d'année 2017 d'une protection générale de la polisseuse PM5 face aux particules qu'elle génère lors de son fonctionnement. De plus, l'installation de cette protection permet à présent l'utilisation d'agents chimiques pour un polissage CMP (chemical & mechanical polishing)



Protection plexiglass de l'équipement de polissage

Mise en place d'une hotte solvant en zone intégration (salle blanche) pour le nettoyage des masques de sérigraphie, des supports parylène, des supports des lamineurs ainsi que tous autres supports ou substrats.



Hotte solvants pour la zone intégration

Installation et mis en place d'une étuve chauffante sous vide en salle d'assemblage pour le remplissage de cristaux liquide dans des cavités.



Etuve chauffante sous vide

Installation d'un module « triple stack » sur l'équipement de Wafer Bonding AML permettant le scellement anodique de 3 substrats (verre/silicium/verre ou silicium/verre/silicium). Le premier scellement anodique se fait de manière classique puis on vient faire une deuxième soudure anodique en prenant le potentiel sur le substrat du milieu à l'aide de l'outil triple stack.

### Prospectives

#### Flip Chip 200 à 600 k€

Les petites pannes récurrentes de la machine de flip chip rendent son utilisation quotidienne difficile. L'achat d'un nouvel équipement permettrait de s'en affranchir et de développer de nouvelles techniques d'intégration (soudure ultrasonique ou thermo sonique, report précis par reflow, report par eutectique, plus de force sur une plus grande surface pour la thermocompression). Suivant les besoins et les critères exprimés, un équipement peut coûter entre 200 et 600k€. Une réflexion est menée en ce moment dans ce sens notamment à travers la définition de projets régionaux comme liés à la filière d'intégration de capteurs ou l'intégration sur verre.

#### Stéréo microscope 10k€

Après plusieurs demandes d'utilisateurs, nous avons identifié qu'un appareil de caractérisation permettant d'allier la mesure et la prise de photos ainsi qu'une grande distance focale pour la manipulation d'objets serait appréciable en salle de montage.

## ORGANISATION

### Personnel

- Charlot Samuel (IE) : responsable de zone
- Colin David (AI) 50%

David Colin est depuis 2016 à 50% dans la zone d'assemblage et à 50% dans la zone de lithographie laser. En 2017, la zone d'assemblage compte donc 1 ½ permanent pour effectuer les opérations d'assemblage et continuer à développer les procédés. Le fonctionnement de la zone se fait normalement. David Colin assure les tâches quotidiennes de découpe, report et soudure du lundi au mercredi midi et Samuel Charlot prend le relais jusqu'au vendredi soir.

## Gestion des activités

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. Les paramètres liés à chaque réalisation sont dorénavant répertoriés dans l'application LIMS lors de la réservation de l'équipement. Nous rappelons qu'aucune opération ne sera menée sans l'interaction directe entre le demandeur et l'intervenant. De plus, aucune opération ne sera menée sans l'enregistrement de celle-ci au préalable dans la fiche de process.

Certains équipements sont en libre-service pour un nombre de personnes limité. Ce choix de personnes se fait en prenant en compte le temps à investir pour la formation et le gain que cela entraîne par rapport au volume de travail à réaliser. Le libre-service de certains équipements se fera peut-être de plus en plus en fonction des besoins et des disponibilités des personnels encadrants.

Pour les opérations génériques, S Charlot et D Colin assurent le soutien de tous les groupes sans exclusivité. D Colin est plus particulièrement impliqué dans les réalisations de montage et S Charlot dans l'intégration.

### Calibrations / validations des équipements et procédés.

#### Existantes

Objectif	Nature de l'action conduite	Fréquence
Qualification report précis par flip chip	Réglage parallélisme du bras de report et auto collimation du microscope sur l'équipement FC150	A chaque changement d'outil et au début de chaque campagne de report
Qualification du report par wafer bonding	Réglage du parallélisme des plateaux et de la force appliquée	A chaque changement de plateau et au minimum 1 fois par mois
Qualification soudure anodique bonding	Validation d'un scellement anodique	1 fois par semestre
Qualification de la découpe	Réglage de la hauteur, de l'épaisseur et du thêta de la lame	A chaque changement de lame
Qualification des procédés de polissage	Mesure et rectification de la planéité du plateau	1 fois par semestre et à chaque utilisation
Qualification de la sérigraphie	Mesure en épaisseur, largeur et longueur de dépôt sérigraphiés suivant un masque et une carte témoin	Avant chaque dépôt
Qualification des procédés de grinding	Mesure de la dérive de rugosité et de l'épaisseur d'un wafer Si standard de 525 µm aminci à 300µm.	Avant chaque utilisation

#### Qui vont être mises en place

Objectif	Nature de l'action conduite	Fréquence
Qualification des procédés de wire bonding	Mesure de la force d'arrachement des fils de bonding (avec pull tester)	1 fois par mois

## BUDGET

### 2017

2017	Fournitures	Consommables	Maintenances	Support	Sécurité
Montants En K€	3	6,5	17	5	4

On peut noter que les prévisions liées au budget 2017 sont en concordance avec les dépenses effectuées. Seul l'item Maintenances a été dépassé de 5K€ due à un changement non prévu de plateau sur un équipement de Wafer Bonding.

## 2018

2018	Fournitures	Consommables	Maintenances	Support	Sécurité
<b>Montants En K€</b>	4	29	11	1	0

En 2018, un budget considérable en consommable (23K€) est nécessaire pour refaire le stock de film sec de type DF pour la lamination. Ces films servent à la réalisation de réseaux micro fluidiques, de couches de passivation ou de guides optique. Le dernier achat date de 2014. Enfin nous sommes contraints de commander une quantité minimum (300m). Il est donc primordial que les utilisateurs stockent correctement ces films pour leur assurer une durée de vie maximale.

## FORMATIONS

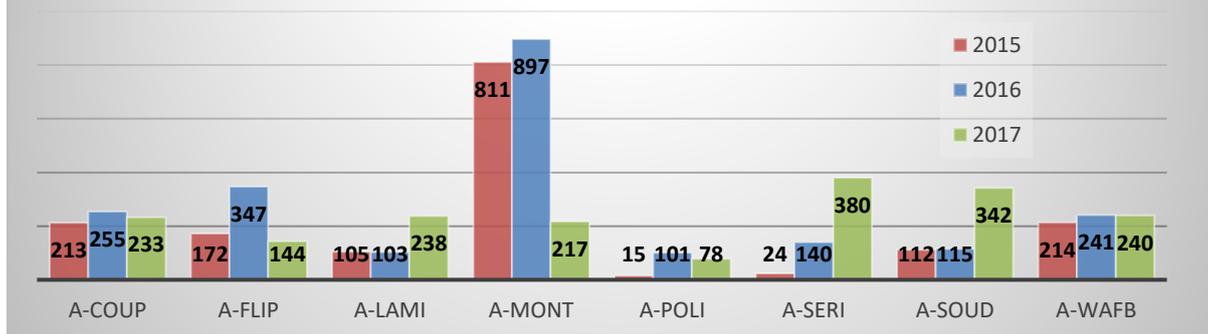
Type	Intitulé	Durée (h)	Nombre de sessions/an	Durée totale/an(h)	Nombre total de participants /an
<b>Cours TEAM</b>	<b>Procédés d'assemblage</b>	2h	1	2	10
<b>Formation pratique</b>	<b>Procédés de wire bonding</b>	4h	1	4	1
	<b>Procédé de lamination</b>	0,5h	6	3	6
	<b>Procédé de Pick&amp;Place</b>	2h	5	10	5
	<b>Procédé de wafer Bonding</b>	3h	3	9	3
	<b>Procédé de flip chip</b>	4h	1	4	1
<b>TOTAUX</b>			17	33	26

On note une stabilité dans le volume horaire dispensé pour les formations pratiques.

## BILAN

### Evolution au cours des années

## reservation horaire/code facturation



On note dans l'ensemble une stabilisation de l'activité générale avec environs 1900 heures de réservation à l'année. Pour les opérations classique d'assemblage, on note une stabilité dans les opérations de découpe contrairement à la soudure qui triple et au montage qui est divisé par 4.

En ce qui concerne les activités liées à l'intégration, elles fluctuent suivant les années. On note cependant une hausse des réservations horaires des lamineurs qui peut être due aux opérations nécessitant une température haute et donc un temps de réservation plus long. En ce qui concerne l'activité de sérigraphie, les chiffres élevés sont dues à la réservation sur des créneaux horaires très longs de la plaque chauffante à 300°C.

### EVOLUTIONS DE PROCEDES

#### Evolution conduites en 2017

##### Soudure anodique triple stack

Réalisation de soudure anodique triple stack sur l'équipement de Wafer bonding AML. Il s'agit de souder des sandwichs Silicium-Verre-Silicium ou Verre-Silicium-Verre. Au vue de la polarité de l'équipement, le premier cas est possible mais pas le second. C'est pourquoi un outil de triple stack pouvant prendre le potentiel au milieu du sandwich, sur le silicium, a été monté sur l'équipement. Il a été financé par le projet Caranuc de l'équipe MINC.

##### Capotage par résine de structures verre ou Si

Mise en place et utilisation d'une résine photo patternable « Perminex » servant au capotage de structures sur verre ou silicium. Cette résine permanente d'une épaisseur allant de 1 à 15µm peut être structurée par UV. Une fois réticulée, elle peut par thermocompression se coller à un autre substrat pour réaliser par exemple des scellements étanche.

##### Soudure directe verre/verre

Dans le cadre d'un projet externe, nous avons réalisé des scellements permanent entre 2 substrats de verre B33 préalablement structurés par plasma. Le scellement se fait par thermocompression à des températures proches de 400°C. Une étape de recuit à des températures légèrement supérieures à la Tg du verre pendant 6h vient sceller définitivement les deux substrats.

#### Evolution à conduire

##### Polissage mécano-chimique

Continuer le développement sur le polissage et notamment les procédés mécano chimique sur l'équipement de PM5. En effet, cet équipement est maintenant sécurisé par une enceinte en plexiglas qui nous permet d'utiliser des produits chimiques. Les développements porteront sur le polissage optique du silicium, verre et du cuivre.

## Wafer bonding

Continuer le développement des techniques de scellement par wafer bonder en utilisant d'autres matériaux comme le glass frit pour le scellement hermétique ou l'utilisation de métaux AlGe, AuSi pour l'obtention de contacts électriques.

### SYNTHESE

#### Activité

L'activité de la zone d'assemblage reste sensiblement stable depuis 2 ans dans son ensemble.

L'activité d'assemblage répond essentiellement à des demandes classiques de découpe, montage et bonding de composants et des demandes ponctuelles relatives à certains projets sur les opérations de wafer bonding, sérigraphie, flip chip et polissage.

Pour finir, la fabrication de dispositifs essentiellement fluide utilisant des résines photosensibles par lamination semble fiable et mature. L'activité est en pleine croissance depuis 2 ans.

#### Personnel

Depuis 1 an, David Colin travaille à 50% dans la zone de lithographie laser, et a émis le souhait de basculer à terme à temps plein sur cette activité. Ceci implique des changements d'organisation de la zone à venir comme la poursuite de l'ouverture en libre accès à certains équipements après formation. Quoi qu'il en soit il faudra pallier à cette situation. La zone d'assemblage ne pouvant reposer sur les épaules d'un seul membre permanent.

## CELLULE PRÉVENTION DES RISQUES EN SALLE BLANCHE

### OBJECTIF

Faire des propositions argumentées au responsable du service TEAM et au Directeur sur la prévention des risques en salle blanche afin d'améliorer la protection des usagers. Accompagner les divers personnels impliqués pour la mise en œuvre des décisions prises.

### ORGANISATION

#### Personnel

- Carcenac Franck..... responsable de la zone de lithographie électronique
- Charlot Samuel ..... Responsable de la zone "Assemblage"  
(Assistant de prévention)
- Doucet Jean-Baptiste ..... responsable de la zone chimie
- Gravelier Quentin ..... zone épitaxie par jets moléculaires
- Marrot Jean-Christophe . zone traitements thermiques et implantations ioniques

#### Fonctionnement

La cellule se réunit chaque fois que nécessaire pour faire le point sur les actions en cours et à suivre mais aussi sur l'évolution de la salle blanche et des risques associés.

Ceci nécessite :

- Une cartographie des risques existants
- La vérification de leur couverture actuelle et le suivi de leur évolution
- L'anticipation de la couverture des risques émergents : nouvelles installations d'équipements, nouveaux produits et nouvelles réglementations
- De la prospection pour proposer des solutions acceptables par les personnels, compatibles avec les réglementations ainsi qu'avec le budget du laboratoire
- D'informer les usagers et recueillir leurs remarques.

### ACTIONS EN COURS

#### Qualification des postes de chimie

Des modifications ont été apportées à quelques postes de chimie qui présentaient des défauts de protection des usagers (captage des produits manipulés insuffisant). Des mesures normalisées de conformité ont été effectuées pour vérifier l'efficacité des modifications apportées. Ces mesures ont conduit à un plan de modification des postes de travail concernés.

#### ARI

Une formation pour 15 personnes (~500€ - demande de financement à la DR14 demandé) concernant le maintien et l'actualisation des compétences pour l'utilisation de ces appareils est programmée pour 2018. Les personnes formées ne pourront être habilitées que si elle possède une habilitation au port de masque délivré par la médecine de prévention ou tout médecin agréé.

#### Bruit

Une cartographie du bruit en salle blanche a été réalisée et une première action de traitement est en cours pour la zone "Gravure Plasma". Des bouchons d'oreille sont disponibles dans le sas.

### **Champs électromagnétiques haute fréquence**

Les mesures sur l'ensemble des générateurs RF pertinents ont été réalisées et indiquent quelques défauts : un champ RF trop important sur la machine ALCATEL au niveau du hublot supérieur des chambres, l'affichage du risque réglementairement obligatoire pour les femmes enceintes et les personnes ayant un Dispositif Médical Implanté Actif (DMIA). Les actions sont en cours pour trouver une solution de blindage pour le premier problème et, dans les 2 cas l'amélioration de notre affichage des risques à des fins d'information, de prévention et pour faciliter l'indication des risques en salle blanche lors des visites : une grande affiche d'information dans le sas et un marquage au sol pour rappeler les risques (maquette en cours).

### **Réfrigérateur de la salle intégration**

Le réfrigérateur est plein : un inventaire a été réalisé. Seul 10% des produits sont déclarés dans RICH : une demande de mise à jour va être lancée. Les produits sans propriétaire, périmés et qui n'intéressent personne seront éliminés par la filière habituelle.

### **Remplacement des lampes à vapeur de mercure par des LED-UV**

Les constructeurs ne proposent pas d'adaptation sur les machines de lithographie UV anciennes ou les machines qui pilotent des générateurs d'UV sans doute à cause du coût de développement trop important par rapport au marché.

Cependant la nouvelle machine de lithographie UV de la zone photolithographie comportera un éclairage par LEDs : procédés à vérifier/recaler !

### **Cartographie des risques et spécialistes associés**

Pour améliorer le suivi des risques, il nous faut avoir une cartographie des risques ainsi qu'une liste des personnes compétentes pour les traiter : une visite de chaque zone de la centrale est entamée

### **Fiches individuelles d'exposition aux risques**

La validation annuelle de ces fiches est à priori une obligation pour tous les personnels des laboratoires. Après discussion avec le service de médecine et le service de prévention de la DR il ressort que le laboratoire doit organiser la complétion de ces fiches, et leur collecte annuelle. Une action doit être conduite avec le service IDEA pour développer une application en ligne qui permettrait de réaliser cela de la façon la plus simple possible.

### **Interdiction d'exposition des personnels non permanents à des risques chimiques définis par l'article D,4154-1 du code du travail**

Ce point a été abordé lors de la Comteam de décembre 2017. La tutelle a été sollicitée pour éclairer l'application de cet article dans le cadre d'un laboratoire de recherche. Nous sommes toujours en attente de réponse de sa part. Au cours de l'année 2018 nous allons néanmoins mettre en place les préconisations les plus accessibles et travailler aux aspects qui demandent plus d'investissements humains et financiers. Néanmoins il est essentiel que la tutelle réponde à notre sollicitation. Notons au passage que tous les laboratoires du réseau Renatech ont la même interrogation.

### **Création d'une cellule H&S au sein de Renatech**

Elle est animée par le C2N. Tous les membres de la cellule du LAAS y participent.

## CELLULE EQUIPEMENTS

### OBJECTIF

L'objectif de cette cellule est de construire avec l'ensemble du laboratoire une prospective en équipements au sein de la centrale de technologie ; puis de conduire l'ensemble des actions pour le déroulement effectif des acquisitions jusqu'à l'installation des machines. La cellule agit aussi en interne au service TEAM pour encore mieux structurer les informations disponibles au bénéfice de tous les utilisateurs.

### ORGANISATION

#### 1.1. Personnel

- Conédéra Véronique (IRHC); adjoint au chef de service en charge des équipements
- Arnoult Alexandre (IR1) responsable de la zone EJM;
- Dubreuil Pascal (IR1) responsable de la zone de gravure plasma ;
- Courson Rémi (IR2) responsable impression 3D haute résolution ;
- Salvagnac Ludovic (IE2) responsable de la zone PVD
- Do Conto Thierry (AI) membre de la zone support

#### 1.2. Fonctionnement

Afin d'avoir une vision d'ensemble des besoins en équipements et en infrastructure, la cellule provoque une réunion annuelle avec tous les responsables de zone qui annoncent leurs priorités en prospective équipements. La cellule rencontre aussi les personnes impliquées dans les domaines de savoir-faire technologique afin de collecter les demandes d'équipements liées au domaine.

La cellule présente ensuite au service TEAM une liste des équipements priorisés qui sera discutée et finalisée. Cette liste sera présentée en COMTEAM pour être ensuite discutée dans les départements. Ces mêmes départements pourront l'enrichir avec leur propre vision et proposer des arbitrages.

Une réunion sous l'égide de la direction réunira les responsables TEAM concernés, les responsables de départements afin d'arbitrer sur la prospective finale du laboratoire.

La cellule gère ensuite tous les aspects administratifs et techniques des procédures d'appel d'offre, depuis la définition précise du cahier des charges jusqu'à la commande des équipements

### ACTIONS INITIEES

#### 1.3. Prospective TEAM

Priorisation des futurs équipements à acquérir et/ou jouvence d'équipements.

#### 1.4. Apprentissage des procédures d'appel d'offre

Appel d'offre (CCP et RC) expliqué à la cellule afin qu'elle assure une veille sur les procédures et une aide pour leur montage auprès des responsables de zone

Les derniers suivis sont ceux de l'imprimante jet d'encre et les 2 imprimantes 3D par stéréo lithographie

#### 1.5. Capitalisation sur les procédures d'appel d'offre

Recensement sur Owncloud des dossiers administratifs machines (CCP, RC), leur plan d'installation détaillé (PID), l'infrastructure de la salle blanche (contrôle, dossiers des ouvrages exécutés, plan de référence machines et structures, sécurité) : ces informations sont accessibles par tout le service TEAM.

#### 1.6. Communication sur les nouveaux équipements

Dans le cadre du projet Thermie, les communications sur le bâti PVD « matériaux énergétiques », l'aligneur de masque, le « spin coter », le calorimètre DSC sont en préparation.

### 1.7. Edition d'étiquette « carte d'identité » des équipements

Sur l'étiquette « équipement » sont mentionnés le nom de la machine, le numéro inventaire LAAS, le numéro de priorité déterminé selon la procédure qualité de la plateforme Micro et Nano Technologie, la référence LIMS, le code de facturation et la qualité MOS ou NOMOS.

Exemple :



*Procédure Qualité*

Référence LIMS : **T1**

Plateforme Micro et Nano Technologies

Machine : **Four OXYPROP6**

Code facturation : **T-OXYD/T-RRD**

Inventaire : **7980\_W**

**Priorité 0**

**MOS**

## ACTIONS ENVISAGEES

### 1.8. Développement de l'argumentaire

Formaliser l'argumentaire de base pour chaque équipement de la prospective afin de l'avoir toujours disponible pour répondre rapidement à toute sollicitation ou opportunité de financement d'équipements (projets déposés par les chercheurs, réponse à des appels d'offres Région, ...)

### 1.9. Adaptation de l'infrastructure salle blanche pour les équipements

Diverses actions sont à conduire avec la zone soutien pour maintenir la qualité de l'infrastructure et assurer le fonctionnement optimum des équipements. Ainsi actuellement

- En photolithographie, étudier la déformation de la dalle en ciment due au poids du stepper sur 6 mois.
- Etude d'un nouveau SAS d'entrée des équipements en salle blanche.

## CELLULE RENATECH

### OBJECTIF

L'objectif de la cellule est de prendre en charge l'ensemble des demandes Renatech de la plateforme technologique. La cellule gère le traitement et le suivi des demandes.

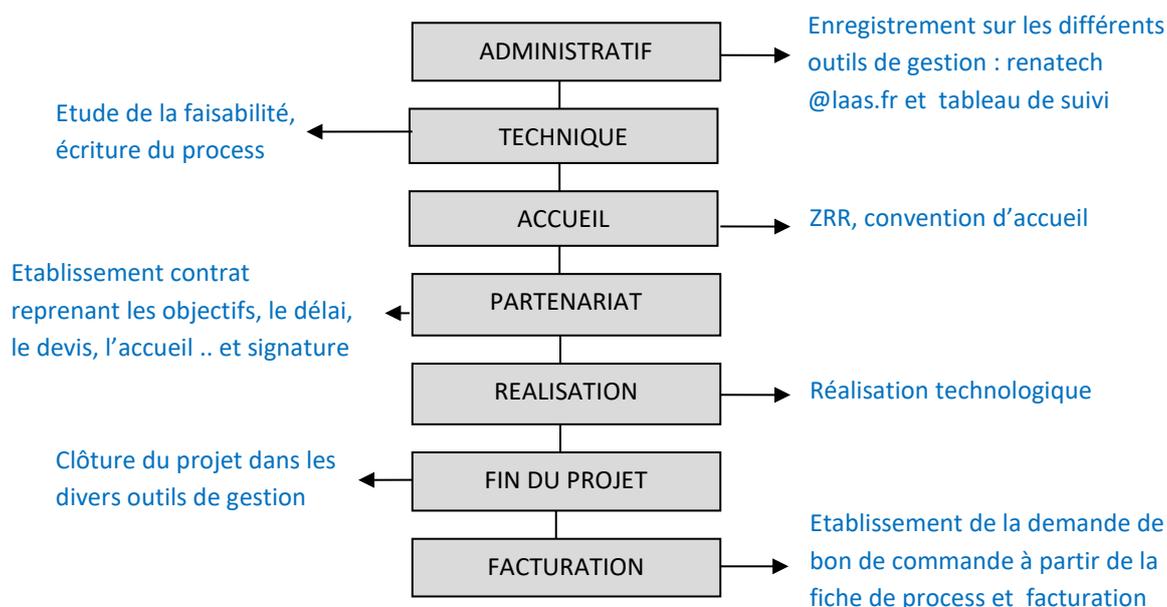
### ORGANISATION

#### Personnel

- Dilhan Monique (IRHC) : Responsable adjointe du service TEAM
- Bourrier David (IE) : Responsable de la Zone « Electrochimie »
- Imbernon Éric (IR) : Responsable de la Zone « Traitements thermiques »
- Mazenq Laurent (IE) : Responsable de la Zone « Photolithographie »
- Uhlmann Caroline (AI) : Secretariat TEAM, I2C

#### Fonctionnement

Le déroulement du traitement des demandes est indiqué dans le logigramme suivant :



La première étape de l'analyse des demandes est de vérifier qu'il n'y ait pas conflit d'intérêt avec les recherches menées au laboratoire. Si tel est le cas, nous mettons en contact le chercheur du LAAS et le demandeur pour voir si une collaboration est possible. Si non, le projet est refusé et renvoyé dans le réseau Renatech. Un bilan mensuel est adressé aux responsables d'équipes, de pôles, aux membres de la COMTEAM et à la Direction.

Le traitement se fait au fur et à mesure de l'arrivée des demandes qui doivent obligatoirement être déclarées dans l'application Renatech LIMS (<https://www.renatech.org/projet/>).

La répartition entre les membres de la cellule s'effectue en fonction de la problématique et de la disponibilité. La gestion des demandes Renatech nécessite l'intervention de différents services pour le traitement et le suivi. (RCP, Personnel, Gestion).

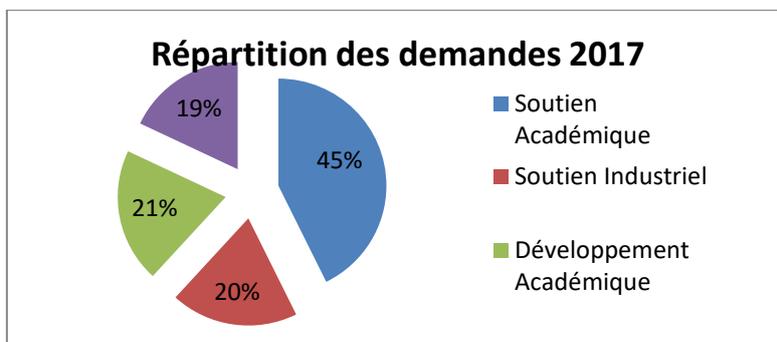
### BILAN

## Bilan des demandes de projets en 2017



89 demandes en 2017 :

- 8 abandonnées par le demandeur pour des motifs divers : coûts, report de projet... en proportion égale entre académique et industriel
- 40 projets terminés
- 34 pluriannuels qu'on retrouvera en 2018



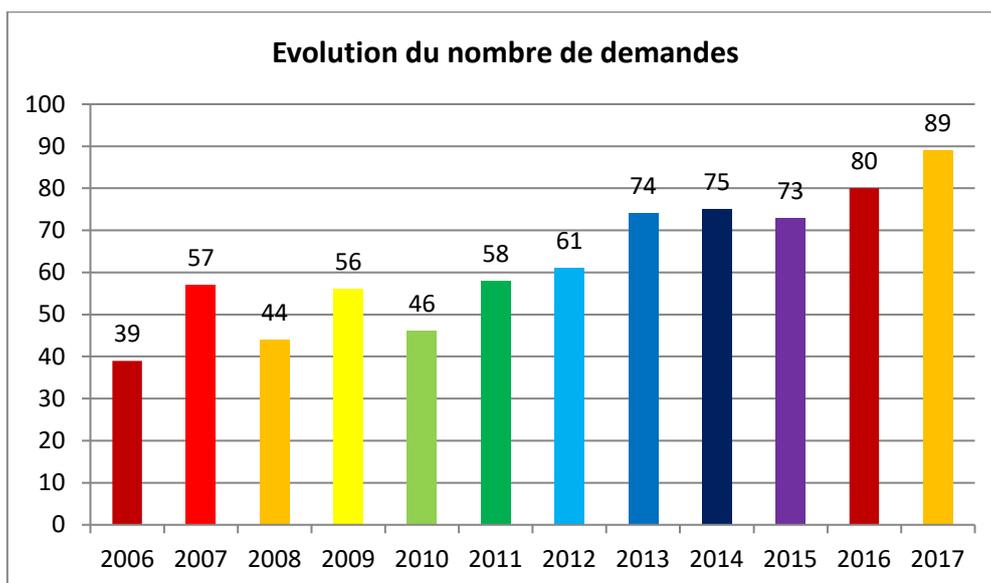
On note toujours une large majorité de demandes académiques (66%) bien que la demande industrielle progresse régulièrement (+7%)

Les projets nécessitant peu de développement sont toujours majoritaires (65%).

La demande internationale est faible 8 % (6 projets) mais stable depuis plusieurs années.



Le nombre de personnes accueillies est en hausse (+7). La demande de personnel industriels accueillies est d'environ 50%



Nouvelle hausse du nombre de demandes après une période de stabilité.  
 Cette augmentation du nombre de demande est due à une hausse de la demande industrielle (+7).

### Apports pour le laboratoire

Au-delà du fait que cette ouverture nous permet de recevoir le financement RTB pour le développement de notre capacité technique elle amène d'autres aspects très positifs.

#### Financier

Les sommes encaissées au titre de l'accueil Renatech sont reversées dans l'IG du laboratoire. Elles contribuent donc à un ensemble d'actions qui ne relèvent pas exclusivement de la salle blanche

- Bilan des sommes encaissées en 2017.

	2014	2015	2016	2017
Sommes encaissées	363082	305074	322005	382270

Il manque encore des sommes liées à des travaux en 2017 à encaisser qui le seront en 2018.

#### Autres

Il est aussi important de mentionner que l'accueil Renatech permet ;

- De nouer de nouveaux partenariats ou entretenir des partenariats existant et qui peuvent ensuite déboucher sur
  - Des projets de recherche collaboratifs (labo commun Essilor)
  - Des développements techniques (équipements) en partie financés par les externes (ex avec LEMOPTIX qui est maintenant INTEL)
- De trouver des débouchés temporaires voire définitifs à des doctorants ou post doctorants du LAAS (Nanomade, Innopsys)
- D'offrir un cadre au soutien des travaux technologiques sans objectif de recherche partagée avec les chercheurs du LAAS à des start-ups émanant du laboratoire (3DisTech, Smart catch)

## ACTIONS INITIÉES

### Gestion commune avec I2C

L'accueil de projets exogènes existe sur la plateforme de technologie depuis de nombreuses années. Il s'est intensifié avec la création du réseau Renatech. Au cours du temps, nous avons mis en place différents outils de gestion

administrative (contrat, accueil...). Nous avons mis ces outils en commun avec le service I2C de façon à unifier la gestion des demandes exogènes.

### **Gestion commune avec RCP,**

Les projets industriels sont préparés par la cellule Renatech pour la partie technique et par RCP pour la partie partenariale. Ils sont ensuite signés par la délégation régionale. Le délai de signature est long et difficile à accepter pour les partenaires. RCP a proposé un contrat type à la délégation de manière à limiter le temps d'étude avant signature. Ce contrat évolue régulièrement en fonction des demandes de la DR.

### **Etendre le partage avec Personnel et Gestion**

Le partage des documents de suivi avec le service RCP est positif. Il permet un meilleur suivi des projets et évite les relances entre service. Nous avons donc décidé de faire la même chose avec le service du personnel et le service gestion pour les aspects accueil et facturation.

Afin que tout le monde soit informé de l'état d'avancement administratif des projets, nous avons décidé de mettre le tableau de suivi en commun.

## **ACTIONS ENVISAGEES**

### **Gestion administrative**

Une part importante de la gestion des demandes Renatech est liée aux aspects administratifs : enregistrements de la demande, inscription sur les différents outils de gestion, convention d'accueil, contractualisation, facturation ... envoi de documents et suivi des retours. Ces étapes administratives sont chronophages mais essentielles. Elles nous permettent d'assurer correctement l'accueil, le suivi des projets et de répondre aux différentes demandes au niveau national.

La présence d'une assistante administrative est essentielle pour assurer le suivi et permettre d'approfondir la partie technique. (Etude et Réalisation)

## CELLULE FORMATION

### OBJECTIF

L'objectif de cette cellule est :

- Organiser des formations techniques salle blanche aux utilisateurs de la centrale de technologie du LAAS
- Élaborer et diffuser une offre de formations à destination de personnes potentiellement intéressées par l'ensemble des compétences liées à la salle blanche ; son fonctionnement, les équipements et procédés qu'elle met en œuvre

### ORGANISATION

#### Personnel

- Calmon Pierre-François (IR1); adjoint au chef de service en charge de la formation en salle blanche, responsable de la zone de lithographie laser
- Daran Emmanuelle (IR1); membre de la zone caractérisation
- Laborde Adrian (AI); membre de la zone photolithographie
- Charlot Samuel (IE) ; responsable de la zone assemblage
- Lecestre Aurélie (IR2) ; membre de la zone gravure
- Colin David (AI) ; membre de la zone lithographie laser

#### Fonctionnement

La cellule échange avec le service pour la mise en place de nouveaux outils de formation (MOODLE), l'organisation des « cours TEAM » en interne et l'opportunité de proposer d'autres actions de formation pour des personnels externes. Pour ce nouveau type de formation la cellule est en contact avec CNRS Formation Entreprise, la cellule de formation continue de l'INSA et l'AIME.

### ACTIONS INITIÉS

#### Cours TEAM

Une fois par an les « cours TEAM » sont dispensés au LAAS par une quinzaine de personnels TEAM. Un total d'une trentaine d'heures qui se décompose en une vingtaine de présentations techniques.

#### Formation générale aux nouveaux utilisateurs

Cette formation donne une vision globale de la centrale de technologie. Dispensée mensuellement, elle est obligatoire pour obtenir l'accès à la salle blanche.

#### Formation pratique obligatoire des zones en libre-service

Deux fois par mois les personnels des zones chimie, photolithographie, gravure plasma et caractérisation dispensent des formations pratiques obligatoires pour obtenir l'accès à la salle blanche.

#### Formation pratique à la demande

D'autres formations pratiques sont dispensées pour s'initier et acquérir l'autonomie sur des équipements spécifiques en gravures, PVD, traitements thermiques, assemblage, nanolithographie, caractérisations, dessin des masques, écriture laser... Ces formations représentent un volume de 500 heures en 2017.

Toutes les informations sur ces formations sont disponibles à l'adresse <https://www.laas.fr/plateformes/centrale-micro-nano/fr/les-formations-technologiques>

## ACTIONS ENVISAGEES

### Application MOODLE pour les formations salle blanche

En 2017, 15 personnels de TEAM ont été formés à l'UPS pour gérer et alimenter des contenus dans l'application MOODLE de l'Université. Prochainement les personnels TEAM pourront déployer des contenus de formation et des tests de connaissances liés à la salle blanche dans cette application. Cette application MOODLE permettra aux utilisateurs de la salle blanche un accès à des formations en ligne.

### CV LIMS

Gérer les formations TEAM avec l'application LIMS pour générer un CV aux utilisateurs de la salle blanche.

### Formation continue

- Le succès des deux projets de filière technologiques déposés à la Région (Thermie et MultiFAB) nous conduit à développer des formations à destination de l'extérieur (formation continue ou vers des académiques). Leur contenu sera centré sur les procédés et techniques déployés dans ces deux filières. Il est important de noter que la mise en place de ces formations est un des critères mis en avant par la Région pour le succès de la candidature.
- Des réflexions à l'état encore embryonnaire portent sur la mise en place éventuelle de formations sur le « clean concept » afin de valoriser nos compétences dans la gestion d'une infrastructure telle que la salle blanche. Elle pourrait d'ailleurs associer la plateforme de biologie qui a un fonctionnement un peu différent.

## ANNEXE 1 : ORGANIGRAMME SERVICE TEAM (AU 1<sup>ER</sup> AVRIL 2017)

### TEAM : TECHNIQUES ET ÉQUIPEMENTS APPLIQUÉS À LA MICROÉLECTRONIQUE

Responsable

Hugues GRANIER, IRHC 90 %

36 agents (13 IR, 5 IE, 15 AI, 2 T, 1 apprentie)

Pierre-François CALMON IET 10 % Adjoint en charge de la formation en salle blanche  
Franck CARCENAC IRHC 10 % Adjoint en charge de la sécurité en salle blanche

Véronique CONÉDÉRA IRHC 30 % Adjointe en charge des équipements  
Monique DILHAN IRHC 70 % Adjointe en charge des projets exogènes et du réseau Renatech

#### MISE EN SERVICE, DÉVELOPPEMENT, MAINTENANCE DES ÉQUIPEMENTS / FORMATION ENCADREMENT / ACTIONS D'INTÉRÊT GÉNÉRAL

La première personne nommée assure la fonction de responsable de zone

**ASSEMBLAGE**  
Samuel CHARLOT IE2 10 %  
René-David COLIN AI 40 %

**CARACTÉRISATION**  
Benjamin REIG IR2 70 %

**CHIMIE**  
Jean-Baptiste DOUCET IE2 10 %  
Nathalie LAUBER<sup>2</sup> TCS 40 %

**DÉPÔTS SOUS VIDE**  
Ludovic SALVAGNAC IE2 20 %  
Guillaume LIBAUDE AI 40 %

**ÉLECTROCHIMIE ET GRAVURE  
ANISOTROPE DU SI**  
David BOURRIER IE2 15 %  
Arnaud DURLACH<sup>1</sup> AI 50 %

**ÉPITAXIE PAR JETS MOLÉCULAIRES**  
Alexandre ARNOULT IR1 15 %  
Guy LACOSTE IEHC 40 %  
Quentin GRAVELIER<sup>1</sup> AI 50 %

**GRAVURE PLASMA**  
Pascal DUBREUIL IR1 65 %  
Aurélie LECESTRE<sup>3</sup> IGR2 30 %  
Laurent JALABERT IR1 30 %

**LITHOGRAPHIE LASER**  
Pierre-François CALMON IR1 25 %  
Vinciane LUQUE TCN 40 %  
René-David COLIN AI 40 %  
Lucie SÉVENO ALTER25 %

**NANOLITHOGRAPHIES**  
Franck CARCENAC IRHC 25 %  
Emmanuelle DARAN IR1 40 %  
Jean-Baptiste DOUCET IE2 10 %  
Alexandre LAUVERGNE<sup>1</sup> AI 50 %

**PHOTOLITHOGRAPHIE**  
Laurent MAZENQ AI 50 %  
Adrian LABORDE<sup>2</sup> ASI 50 %  
Arnaud DURLACH<sup>1</sup> AI 50 %

**JET D'ENCRE ET TRAITEMENTS DE  
SURFACE**  
Fabien MESNILGRENTE AI 35 %  
Véronique CONÉDÉRA IRHC 15 %

**SUPPORT ET SOUTIEN**  
Hugues GRANIER IRHC 10 %  
**SUPPORT**  
Laurent BOUSCAYROL AI 100 %  
Thierry DO CONTO AI 100 %  
Antoine MAIORANO AI 100 %  
**SOUTIEN**  
Vinciane LUQUE TCN 30 %

**TRAITEMENTS THERMIQUES ET  
IMPLANTATION IONIQUE**  
Éric IMBERNON IR1 40 %  
Jean-Christophe MARROT AI 40 %  
Bernard ROUSSET IRHC 35 %

#### SOUTIEN DIRECT AUX PROJETS DE RECHERCHE

Alexandre ARNOULT IR1 85 %  
David BOURRIER IE2 85 %  
Pierre-François CALMON IR1 65 %  
Franck CARCENAC IRHC 65 %  
Samuel CHARLOT IE2 90 %  
René-David COLIN AI 20 %  
Véronique CONÉDÉRA IRHC 55 %  
Emmanuelle DARAN IR1 60 %  
Alexandre DEZALAY<sup>1</sup> AI 100 %  
Monique DILHAN IRHC 30 %  
Pascal DUBREUIL IR1 35 %  
Jean-Baptiste DOUCET IE2 60 %  
Quentin GRAVELIER<sup>1</sup> AI 50 %  
MARION HARRIBÉY<sup>1</sup> AI 100 %  
Éric IMBERNON IR1 60 %  
Laurent JALABERT IR1 70 %  
Adrian LABORDE<sup>2</sup> ASI 50 %  
Guy LACOSTE IEHC 60 %

Nathalie LAUBER<sup>2</sup> TCS 10 %  
Alexandre LAUVERGNE<sup>1</sup> AI 50 %  
Aurélie LECESTRE<sup>3</sup> IGR2 70 %  
Guillaume LIBAUDE AI 60 %  
Vinciane LUQUE TCN 30 %  
Jean-Christophe MARROT AI 60 %  
Laurent MAZENQ AI 50 %  
Marion MÉCA<sup>1</sup> AI 100 %  
Fabien MESNILGRENTE AI 65 %  
Benjamin REIG IR2 30 %  
Bernard ROUSSET IRHC 65 %  
Ludovic SALVAGNAC IE2 80 %  
Lucie SÉVENO ALTER25 %

<sup>1</sup> Personnel contractuel  
<sup>2</sup> Personnel UPS  
<sup>3</sup> Personnel INPT  
Alter : apprenti en alternance



## ANNEXE 2 : VISION DES PROJETS INTERNES SOLLICITANT LA PLATEFORME

Référence du projet	P-17-02302 ISGE-01-17	P-17-02038 ISGE-04-11	P-13-00175 ISGE-05-12	P-17-02055 ISGE-08-17	P-15-01710 ISGE-09-15	P-16-01718 ISGE-10-16	P-17-02049 NEO-01-17	P-13-00209 NEO-06-06
Nom du projet	<a href="#">MOVeToDIAM</a>	<a href="#">3DCAP</a>	<a href="#">Cellules de commutation monolithique</a>	<a href="#">OPGAN</a>	<a href="#">HEMT GaN</a>	<a href="#">Exagan</a>	<a href="#">IDEX MUSE</a>	<a href="#">PyroMEMS</a>
Porteur du projet	Isoird	Pech	Bourenane	Moranchio	Moranchio	Moranchio	Rossi	Rossi
Objet	Composants de puissance sur diamant	Micro supercondensateurs	Cellules de type aiguilleur de courant	Optimisation des Performances électriques des composants de puissance GaN	HEMTs en Nitrure de Gallium présentant la fonctionnalité « normally-off »	Assemblé de HEMT de puissance	Intégration de nano-objets sur des surfaces pour réaliser des micro sources d'énergie	Micropyrosystèmes
Coordinateurs TEAM	Imbernon	Bourrier	Imbernon	Imbernon	imbernon	Colin	Mesnilgrete	Conedera
Ressources avec un verrou technologique identifié	litho lsar Photolitho PECVD, LPCVD gravure plasma chimie traitement de surface	Litho laser traitement de surface	Gravure plasma	Gravure plasma	gravure plasma		Photolithographie Fours	PVD

Référence du projet	P-13-00231 PHOTO-01-06	P-13-00232 PHOTO-02-13	P-14-00729 PHOTO-03-06	P-18-02505 PHOTO-04-18	P-15-01326 PHOTO-08-14	P-14-01282 PHOTO-05-15	P-14-01244 PHOTO-06-15	P-15-01404 PHOTO-07-15	P-17-02029 PHOTO-09-17
Nom du projet	<a href="#">Diodes laser à cristal photonique</a>	<a href="#">Composants photoniques AlOX</a>	<a href="#">Composants nanophotoniques sur verre</a>	<a href="#">Epitaxie de GaAsBi</a>	<a href="#">Réseaux optiques sol gel</a>	<a href="#">Score</a>	<a href="#">Composants Pour la photovoltaïque III-V</a>	<a href="#">EPIGRAVE</a>	<a href="#">Puces Atomes froids</a>
Porteur du projet	Gauthier Lafaye	Almuneau	Gauthier Lafaye	FONTAINE	Camon	Camon	Almuneau	FONTAINE	Gauthier Lafaye
Objet	Filière nano pour diode laser à cristal photonique et laser aléatoire	Composants photoniques AlOX	Filtres spectraux à cristal photonique sur verre	Développement alliages GaASBI	Réalisation de réseaxu optiques en sol gel	Fabrication structures photoniques	cellules photovoltaïques III-V	Validation chaine EJM+FIB	Puces magneto optiques
Coordinateurs TEAM	Dubreuil	Doucet	Daran / Dubreuil	Arnoult	Conédéra	Dubreuil	Arnoult	Arnoult	Dubreuil
Ressources avec un verrou technologique identifié	NIL Gravure profonde III-V photolithographie EJM	Stepper Nanoreplication Fours alOx PVD Electrochimie Plasma Chimie EJM Caractérisation	photolithographie PECVD BT gravure plasma nanoréplication	EJM		Gravure plasma Photolithographie Chimie	EJM Assemblage PVD RTP	EJM	Electrochimie

Référence du projet	P-13-00180	P-18-02464	P-17-02046	P-16-02002	P-16-01840	P-18-02463	P-16-01723
	MH2F-01-10	OSE-01-18	MOST-01-17	MOST-02-16	MINC-01-16	MINC-02-18	MINC-03-16
Nom du projet	<a href="#">HF BIO</a>	<a href="#">Capteur photonique intégré pour détection de gaz</a>	<a href="#">Intégration tridimensionnelle de circuits passifs RF</a>	<a href="#">GaNex circuit PA</a>	<a href="#">CARANUC</a>	<a href="#">Switch MEMS</a>	<a href="#">COCNANO</a>
Porteur du projet	Grenier	Tap	Viallon	Tartarin	Pons	Pons	Pons
Objet	Microdétecteurs hyperfréquence fluidiques et biologiques	Capteur photonique intégré pour la détection de gaz	Intégration de solénoïdes 3D à air	circuit hybride	Capteur de radiation nucléaire pour l'instrumentation du bâtiment réacteur	Switch mécanique bistable sur membrane Si déformée par fluage	capteurs d'onde de choc
Coordinateurs TEAM	Conedera	Conédéra	Bourrier	Charlot	Reig	Charlot	Reig
Ressources avec un verrou technologique identifié	Electrochimie		Electrochimie		PVD electrochimie gravure plasma wafer bonding	Photolithographie Fours PVD Electrochimie Assemblage Caractérisation	gravure plasma Assemblage Caractérisation

Référence du projet	P-13-00201			P-15-01337		P-16-01775	P-14-00710
	MPN-01-10			MPN-02-15		MPN-03-16	MPN-04-14
Nom du projet	Nanofils			<a href="#">MORLEX</a>	<a href="#">MOSDIA</a>	<a href="#">ORGADETECT</a>	<a href="#">NanOnSi</a>
Porteur du projet	Larrieu	Larrieu	Larrieu	Bedel	Bedel	Bedel	Plissard
Objet	<a href="#">Dispositifs bio</a>	<a href="#">Structuration NFs top down</a>	<a href="#">Transistors 3D</a>	Etude des défauts engendrés par le recuit laser sur silicium.	Structures effet hall	Elaboration et caractérisation de mélanges de semi-conducteurs organiques pour la photo détection	Croissance de nanofils III-V
Coordinateurs TEAM	Lecestre	Lecestre	Lecestre	Imbernon	imbernon	Salvagnac	Arnoult
Ressources avec un verrou technologique identifié	Lithographie électronique	plasma EJM Fours (croissance nanofils)	plasma Fours			nanoreplication	Lithographie ebeam

Référence du projet	P-13-00181	P-18-02445	P-18-02456	P-16-01940	P-13-00185	P-13-00186	P-14-00715	P-13-00189	P-13-00190	P-16-01754	P-13-00191
	MICA-01-12	MICA-02-18	MICA-03-18	MICA-05-16	MICA-06-08	MICA-07-12	MICA-08-14	MICA-09-06	MICA-10-06	MICA-12-16	MICA-15-10
Nom du projet	<a href="#">MOEMS VCSEL</a>	<a href="#">Actionneurs microfluidiques laminés</a>	<a href="#">Microrésonateurs optiques 850nm</a>	<a href="#">Capteurs microrésonateurs optiques</a>	<a href="#">DISPOS</a>	<a href="#">HYPPOCAMP</a>	<a href="#">ChemFET</a>	<a href="#">Eleccell</a>	<a href="#">Plateformes chauffantes</a>	<a href="#">DOCT VCSEL</a>	<a href="#">Intégration de nouveaux matériaux pour la filière capteurs de Gaz</a>
Porteur du projet	Bardinal	Raimbault	Raimbault	Raimbault	Seguy	Bardinal	Temple	Launay	Ménini	Bardinal	Menini
Objet	Etudes génériques et prospectives pour la réalisation de fonctions optiques en polymères (lentilles, MOEMS) sur composants optiques VCSELS	Actionneurs microfluidiques par lamination de films secs	Microrésonateurs optiques à couplage vertical et réseaux de couplage métalliques	Microrésonateurs optique pour applications capteur	Réalisation de composants organiques	VCSELS dont le faisceau est accordable spectralement	Transistors chimiques à effet de champ à base nitrure de silicium ISFET	Microcellules électrochimiques, intégration de micro-nano électrodes au sein de micro-puits	Mono et multi capteurs de gaz	microsystème SS-OCT pour l'analyse de la peau	Intégration jet d'encre de nouveaux matériaux pour capteurs de gaz
Coordinateurs TEAM	Reig	Mesnilgrete	Conédéra	Conédéra	Salvagnac	Doucet	Mazenq	Mazenq	Conédéra	Doucet	Mesnilgrete
Ressources avec un verrou technologique identifié	litho laser PVD Chimie jet d'encre EJM Caractérisation	Lithographie laser	photolithographie PVD Gravure plasma	Nano répliation	PVD Traitement de surface Assemblage	Photolithographie Nano imprint traitement de surface		Photolithographie Gravure plasma	Assemblage	Photolithographie nano replication fours PVD gravure plasma Chimie EJM Asemblage	

Référence du projet	P-17-02316	P-13-00205	P-16-01924	P-17-02328	P-18-02430	P-16-01748	P-16-01753	P-16-01735
Nom du projet	MILE-01-17	MILE-02-06	MILE-03-16	MILE-04-17	MILE-05-18	MILE-07-16	MILE-08-16	MILE-10-16
Nom du projet	<a href="#">Microfluidique pour membranes biomimétiques</a>	<a href="#">DIGIDIAG</a>	<a href="#">NEMESIS</a>	<a href="#">Couplage mécano-chimique des cellules</a>	<a href="#">Bactéries magneto</a>	<a href="#">Neuraxe</a>	<a href="#">DBO MEMS</a>	<a href="#">GENE EXTRACTOR</a>
Porteur du projet	joseph	Gue	joseph	Delarue	Gue	Joseph	Boukabache	Bancaud
Objet	Canaux microfluidiques pour étudier les membranes	Laboratoire sur puce à actionnement magnétique	microcanaux mimant la filtration	Biopuce microfluidique	Séparer des bactéries magnéto tactiques	puces microfluidiques pour croissance de neurones	Développement d'un microsystème pour analyse de l'eau	biopuce microfluidique
Coordinateurs TEAM	Mesnilgrente	Conedera	Dubreuil	Mesnilgrente	Conédéra	Mesnilgrente	Conédéra	Mesnilgrente
Ressources avec un verrou technologique identifié			lithographie laser traitement de surface collage moléculaire				Photolithographie	litho laser Photolithographie chimie assemblage

Référence du projet	P-13-00216	P-17-02276	P-13-00219	P-18-02504	P-13-00222	P-13-00225	P-14-01256	P-15-01401	P-15-01694
	ELIA-01-06	ELIA-02-17	ELIA-03-13	ELIA-04-18	ELIA-06-12	ELIA-09-07	ELIA-10-15	ELIA-14-15	S4M-14-15
Nom du projet	<a href="#">SANTECH</a>	<a href="#">MultiFAB</a>	<a href="#">NODENS</a>	<a href="#">IV-catch</a>	<a href="#">NANOMECELL</a>	<a href="#">Nanosystèmes a base de matériaux moléculaires</a>	<a href="#">MFG for MFM</a>	<a href="#">Cellules en 3D</a>	<a href="#">IRT Nano</a>
Porteur du projet	Vieu	Malaquin	Cerf	Cerf	Vieu	Thibault	Cerf	Malaquin	Fourniols
Objet	Détection optique d'interactions biomoléculaires	Plateforme de fabrication additive multi échelles et multi matériaux	Fabrication de microdispositifs en 3D par lithographie laser	Développement de dispositifs communicants pour la capture de cellules tumorales in vivo	mesures forces amas de sphéroïdes de cellules vivantes	Nanostructuration de matériaux moléculaires	Multi focus grating for Multi focal microscopy	micro environnement 3D pour culture cellulaire	Qualification pâte de sérigraphie
Coordinateurs TEAM	Carcenac	Courson	Bourrier	Bourrier	laborde	Carcenac	Mazenq	Calmon	Charlot
Ressources avec un verrou technologique identifié		Lithographie laser Jet d'encre	Nanoscribe Photolithographie Electrochimie Chimie	Lithographie laser Photolithographie Electrochimie	photolithographie nanolithographies gravure plasma FIB		Photolithographie gravure plasma	LEAF chimie	Sérigraphie

Référence du projet	P-17-02100	P-17-02330	P-13-00221	P-14-00709	P-13-00224	P-16-01766	P-13-00228	P-16-01772	P-15-01449	P-16-01771
	MEMS-01-17	MEMS-03-17	MEMS-05-06	MEMS-07-14	MEMS-08-10	MEMS-11-16	MEMS-12-12	MEMS-13-16	MEMS-15-15	MEMS-16-16
Nom du projet	<a href="#">MOLY</a>	<a href="#">Agile muscle osmotique</a>	<a href="#">Nanofils</a>	<a href="#">NEMS</a>	<a href="#">PSI</a>	<a href="#">Biodispositif implantable</a>	<a href="#">Muscles artificiels</a>	<a href="#">Soleil</a>	<a href="#">OLYMPIA</a>	<a href="#">Planarpore</a>
Porteur du projet	Leichle	Mansard	Bergaud	Leichle	Leichle	Bergaud	Bergaud	Leichle	Legrand	Leichle
Objet	laboratoire d'analyses moléculaires multiplexées sur fibre optique fonctionnant à distance, in situ et in vivo	Caractérisation de gels poreux	Dispositifs thermiques à nanofils pour chimie et biologie	Réalisation de NEMS	Réalisation de résonateurs NEMS pour la biodétection.	Réalisation d'électrodes implantables	études dépôts sur substrats divers	Intégration de nanofluidique sur multicouch	Sondes MEMS pour AFM	micro et nano canaux avec pores pour de la détection de sécrétions cellulaires
Coordinateurs TEAM	Mesnilgrentes	Reig	Carcenac	Mazenq	Bourrier	Laborde	Mesnilgrente	Bourrier	Mazenq	Mesnilgrente
Ressources avec un verrou technologique identifié	Jet d'encre			Electrochimie		ALD PECVD	PVd Jet d'encre	PVD Gravure anisotrope gravure plasma assemblage	Photolithographie gravure plasma FIB	Lithographie électronique gravure plasma

## ANNEXE 3 : PRESENTATION LORS DE LA COMTEAM DU 29 MARS 2018

16/04/2018

LAAS  
CNRS

### COMTEAM Bilan 2017 – Projections 2018

29 MARS 2018

LAAS  
Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes - CNRS

LAAS  
CNRS

### LES ZONES

[Document bilan des activités](#)

LAAS  
Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes - CNRS

LAAS  
CNRS

### Soutien

Faible marque 2017	En 2018
<ul style="list-style-type: none"> <li>Implication de 4 personnes</li> <li>Départ de C. Fourcade</li> <li>Approvisionnement consommables et fournitures (200 références)</li> <li>Contrat et gestion des lentilles (40)</li> <li>Approvisionnement SAS (quadrant)</li> <li>Gestion/formation nouveaux utilisateurs salle blanche (40 personnes)</li> <li>Gestion des fiches de processus (104 fiches)</li> <li>Gestion des dossiers Renatech (36 dossiers)</li> <li>Pré-étude et suivi des demandes d'achats (20)</li> <li>Facturation (71 internes + 47 externes)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proposition d'aide aux équipes dans le suivi de leurs contrats supports</li> <li>Réflexion en cours sur le service d'approvisionnement en fournitures</li> </ul>

**Diversité de tâches administratives essentielles et qui se complexifient**

LAAS  
Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes - CNRS

LAAS  
CNRS

### Support

Faible marque 2017	En 2018
<ul style="list-style-type: none"> <li>Maintenance de toutes les installations liées à l'infrastructure</li> <li>Interface avec prestataires</li> <li>Evolution infrastructure</li> <li>Installations machines</li> <li>Implication sécurité</li> <li>Maintenance</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Installations machines</li> <li>Infrastructure</li> </ul>

**Fin 2018 resteront deux personnes avec perspective de départ dans les 4-5 ans !!!!**

LAAS  
Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes - CNRS

### LITHOGRAPHIE LASER

**Faits marquants 2017**

- Fabrication des masques**
  - 40 % des réalisations sont destinées aux projets exogènes Renatech (30% en 2016)
- Nouveau laser DWL 200**
- Fabrication additive 3D multi-échelles**

**En 2018**

- MultiFab**
  - 1 nouvelle machine Dilase 3D multi-Resolution KLDE
- Chimie lithographie laser**
  - Intégration d'un bac chauffé piranha pour masques 7 pouces et réticules

**Permutation Zones Assemblage - Lithographie laser: Vinciane LUQUE - David COLIN**

### NANOLITHOGRAPHIES

- Développements de technologies :**
  - échantillon de calibration pour microscopie optique super-résolue
    - Lithographie électronique : 2.5D
    - Gravure ionique réactive : 2.5D
    - Nanoréplication : 2.5D
    - Résolution en Z : 5nm
    - Oral JNTE2017 : Alexandre Lauvergne (CDD)
- Investissements :**
  - Lithographie électronique : 2 modules d'insolation continue – 100k€
- Installations :**
  - Hotte à flux laminaire : tournette, plaque chauffante, pistolet ionisant (neutralisation des charges)
- Besoin en personnels :**
  - 1 AI car 1 IR en moins pour la partie expérimentale
  - CDD en fin de contrat

*Lithographie électronique 150 : diffusion de profils de 150nm entre deux cartes*

### PHOTOLITHOGRAPHIE (1/2)

**Faits marquants 2017**

- Moyens Humains :**
  - Départ d'Arnaud Durach
  - Arrivée de Julien Joriet
- Moyens matériels :**
  - Logiciel Gardys Lab
- Bilan 2017 :**
  - Activité :**
    - 4646h d'utilisation
    - 14966 pour les machines d'alignement, +6,2%
  - Formation :**
    - 68 nouveaux utilisateurs formés en 2017 (+7)
- Développements**
  - Procédés conventionnels :**
    - Résine Lift off Nlot 5 et 15µm déposée par spraycoating
  - Copolymère à blocs avec la société Arkiema, résolution 21nm**

### PHOTOLITHOGRAPHIE (2/2)

**Faits marquants 2017 (suite)**

- Développements réalisés :**
  - Lithographie par projection :**
    - Procédés sur substrats 2 pouces
- Développements pour 2018 :**
  - Tests de nouvelles résines**
    - AZ IPR 701, AZ IPR-6000
- Arrivée d'une nouvelle machine MA6 :**
  - Substrats : 3mm, 10mm, 2" et 100mm
  - Masques : 2,5", 4" et 5"
  - Système UV LED 365nm, 405nm et 435nm
  - (Projet Thermis)
- Sécurisation des pallasses :**

**Demandes très fortes des utilisateurs car la zone photolithographie est impliquée dans de nombreux développements transversaux avec d'autres ressources.**

### EPITAXIE PAR JETS MOLÉCULAIRES

<p><b>Faits marquants 2017</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Formation de Quentin Gravelier (AI CDD)</li> <li>Développement d'outils de mesure in situ (déformation – absorption atomique)</li> <li>Dépôt de brevet EpiX (mesure de courbure in-situ en cours de croissance)</li> <li>Démarrage et test du FIB ultravide</li> <li>Croissance de couches épaisses d'alliage quaternaire en accord de maille (GaInAsN, ...)</li> </ul>	<p><b>En 2018</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Départ à la retraite de Guy Lacoste</li> <li>Maintenance lourde du MBE412</li> <li>Dépôt FPI Absorption Atomique</li> <li>Automatisation de la croissance en fonction des paramètres mesurés in-situ – temps réel</li> <li>Fin du FUI Ultimatoot (FIB UHV)</li> </ul>
---	--



**En attente poste AI au concours suite au NOEMI Infrastructureux**

LAAS CNRS Université Toulouse et Contribution des systèmes à CNRS

### TRAITEMENTS THERMIQUES ET IMPLANTATION IONIQUE

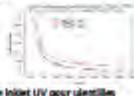
<p><b>Faits marquants 2017</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Stabilité de l'activité</li> <li>Equipements             <ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en fonctionnement du four LPCVD Tempres</li> </ul> </li> <li>Procédés             <ul style="list-style-type: none"> <li>LPCVD Tempres:                 <ul style="list-style-type: none"> <li>Test du contrôle du dopage. Bonne des dépôts Si-poly utilisés comme masque de gravure du verre par ISE.</li> <li>Automatisation de la sélectivité</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	<p><b>En 2018</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Equipements             <ul style="list-style-type: none"> <li>Retrofit du bâti PECVD STS par la société ApBy</li> </ul> </li> <li>Procédés             <ul style="list-style-type: none"> <li>LPCVD Tempres:                 <ul style="list-style-type: none"> <li>Collaboration de nanofils de Si à partir de plots d'Or</li> </ul> </li> <li>ICPECVD Oxford                 <ul style="list-style-type: none"> <li>Etude de faisabilité de dépôt de TiO2</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>Personnel             <ul style="list-style-type: none"> <li>Départ à la retraite de B. Roussel</li> <li>Implication progressive de P. Dubreuil.</li> </ul> </li> </ul>
--	--



LAAS CNRS Université Toulouse et Contribution des systèmes à CNRS

### Chimie

<p><b>2017</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Equipements:             <ul style="list-style-type: none"> <li>Installation : jauge solvant propre et jauge solvant POMS et dégrasse (rectification pompe en 316L)</li> <li>Installation solvants nanoMCS et solvants MCE</li> </ul> </li> <li>Développement de procédés : Gravure Si-V, résines nano (modification indice optique)</li> <li>Sécurité:             <ul style="list-style-type: none"> <li>Caractérisation aérodynamique et confinement de 12 postes de chimie en salle blanche</li> </ul> </li> </ul>	<p><b>2018</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Equipements:             <ul style="list-style-type: none"> <li>Installation: solvants nettoyage acide sans entrée</li> <li>Adaptation postes existants pour meilleur confinement (sécurité utilisateurs)</li> </ul> </li> <li>Développement de procédés : Gravure Si-V, résines NA résistances à la gravure, entre litjet UV pour lentilles</li> <li>Sécurité:             <ul style="list-style-type: none"> <li>Caractérisation aérodynamique et confinement de postes de chimie, notamment modifiés</li> </ul> </li> </ul>
--	--



**Besoins:**

- Urgent : porbonne acide conforme norme EN 14175 (HF concentré / vapeurs acides dangereuses)
- Personnel : départ Nathalie Lauber or **besoin permanent technicien ou AI ( aide gestion déchets dangereux , formation à l'utilisation des équipements, développement procédés gravure, gestion des stocks, présence sur zone et assistance utilisateurs, (a présence d'un permanent requise à proximité de docteurant utilisant de l'acide fluorhydrique «))**

LAAS CNRS Université Toulouse et Contribution des systèmes à CNRS

### ELECTROCHIMIE

<p><b>Faits marquants 2017</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Mise aux points des 2 réacteurs Yamamoto. <b>Mieux résultats que tous les autres équipements actuels</b></li> <li>Evolutions des procédés             <ul style="list-style-type: none"> <li>Nouvelles structures en Nickel</li> <li>Preuve de concept de dépôts dans moules 3D</li> <li>Développement d'Or poreux en courant</li> <li>Développement de structures sub-micronique &amp; microscopique</li> </ul> </li> </ul>	<p><b>En 2018</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Départ A.Durlach AI CDD à 60%</li> <li>Délaix sur les dépôts</li> <li>Moins de temps pour les calibrations = risque pour les bains et les process</li> <li>Développements ralentis</li> </ul> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p><b>Un seul permanent sur une zone où il est nécessaire d'en avoir deux</b></p> </div> <p><b>Développements prévus</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en place de la troisième génération d'équipements Yamamoto</li> <li>Nouveau bain de cuivre</li> <li>Développement des différentes analyses liées au nouveau bain de cuivre</li> </ul>
--	--



LAAS CNRS Université Toulouse et Contribution des systèmes à CNRS

### PVD

**Faits marquants 2017**

- L'activité est stable
  - Demande Renatech constante
  - Projet région FEDER
  - **Nouvel équipement** *Thermin*
    - PVD Thermie (TFE 644)



**En 2018**

- Equipement**
  - Maintenance des 6 pompes cryogéniques de l'UNIVEX
  - PVD III-V (prospective)
  - Indispensable pour la cohérence de la filière Photonique
- Développement**
  - Matériaux énergétiques
  - Matériaux organiques

**Evolutions de procédés**

- Mise au point des procédés dans l'équipement TFE 644.

LAAS CNRS Université d'Angers et Centre National de la Recherche Scientifique

### GRAVURE PLASMA

**Faits marquants 2017**

- Organisation** : L. Jalabert (juin à juillet) sur PUP4
- Investissement** : achat système de traitement des gaz chlorés (GRC)
- Développements de procédés** : Caméra couleur P1 + Labview, Labview DFA laser ICP3, transfert ICP2 vers S500
- Formation** : 74 nouveaux utilisateurs formés en 2017
- Equipements** : Parc machines Triton vieillissant Alcatel souvent en panne



**En 2018**

- Installation** : GRC sur ICP2 et S500
- Maintenance préventive** : PUP4 (30/07 au 03/08)
- Prospective ICP(ALE) (ex-IT ICP1)** : en cours (3 sociétés), tests (Mars)
- Investissement souhaité** : DFA OES (contamination)
- Stagiaire** : P1 (master/ avril-juillet) DRIE Si
- Développements de procédés** : ICP2 vers S500, process chlorés ICP3 vers ICP2
- Renatech** : réunion gravures à Grenoble (98c)

**En cours d'année**

- *Evolution de Pascal Dubouill vers les études CVD pour création d'une zone CVD en 2018*
- *Implication de L. Bouecayrol*

LAAS CNRS Université d'Angers et Centre National de la Recherche Scientifique

### JET D'ENCRE ET TRAITEMENT DE SURFACE

**Développements procédés**

- Impression de protéines dans PBS
- Impression avec buse 15µm
- Gouttes de glycérol/pbs espacées de 50µm (3 matrices entrabâchées)
- **Encres Argent** : Antenne imprimée en Argent sur Kapton (Signés de 300µm espacés de 300µm)




**Acquisition de la Ceradrop (multifab)**

- 4 slots (2 livres)
- 1 tête type Industriel
- 1 tête bas coût / recherche
- Développement d'impression de pistes en Ag
- Perspectives : option pour la Ceradrop
- **Spray optionnel** :
  - Distance de travail jusqu'à 10mm
  - Résolution ultra de 10µm





LAAS CNRS Université d'Angers et Centre National de la Recherche Scientifique

### ZONE CARACTÉRISATION

**Faits marquants 2017**

- 3 nouveaux appareils :
  - Spectromètre UV-VIS
  - Tencor P-17 en remplacement Tencor P-15
  - Calorimétrie (DSC)
- Utilisations et budget dans la zone: stable depuis 2 ans.
- Formations et suivi des utilisateurs: extrêmement chronophage donc nécessité d'être précis sur les demandes.
- Maintenance: nombreuses « petites » réparations qui demandent beaucoup de temps.

**En 2018**

- Arrivée d'Emmanuel Daren dans la zone (-1.6j/semaine)
- **Développements en cours** :
  - Formations en 2 temps pour le MEB (théorique sur support spécifique type moodle puis pratique sur machine)
  - Tomographie par FIB (slice and view) + reconstruction 3D
  - Changement tête du Tencor P-17 pour mesure jusqu'à 1mm d'épaisseur.

**Attention à penser aux caractérisations à mener dès la conception des masques**

LAAS CNRS Université d'Angers et Centre National de la Recherche Scientifique

## ASSEMBLAGE

**Fait marquant 2017**

- Stabilisation de l'activité dans tous les domaines
- Passage de l'activité de David Coffin en zone lithographie laser à 50%
- Mise en place des procédés de nettoyage pour le wafer bonding
- Achat et mise en place d'un équipement de shear/pull test
- Développement des procédés de triple stack
- Développement d'une nouvelle résine épaisse photo patternable pour l'assemblage
- Développement de la soudure directe de verre structuré

**En 2018**

- Passage de David Coffin en zone lithographie laser à 100%
- Passage de Vinciane Luque en assemblage à en remplacement de David Coffin
- Développement du polissage mécano chimique de divers matériaux
- Développement des techniques de wafer bonding
- Arrêt des activités d'IG de Rémi Courson sur la lamination des films sec DF -> transfert vers Fabien Mesnilgrands

LAAS CNRS Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des systèmes de CNRS

## ACTIONS D'INTERET GENERAL

LAAS CNRS Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des systèmes de CNRS

## CELLULE FORMATION

**Fait marquant 2017**

- Nouvelle organisation:**
  - Arrivée de Emmanuelle Caron, Samuel Charlot, Aurélie Leconte et David Colin.
- Formations dispensées:**
  - Com TEAM
    - Un tour d'acte initiale d'accueil et une session de présentations techniques sur les questions de l'ensemble TEAM
  - Formation générale aux nouveaux utilisateurs
    - Veux garantir de la qualité de formation. Méthode rigoureuse axée à la salle blanche
  - Formation pratique obligatoire zones libre-service
    - Deux fois par mois : zones propres, microtechnologie, gestion, sécurité et maintenance, équipements pour soude à la main, etc.
  - Formation pratique à la demande
    - Formations pratiques dispensées pour l'élève et assisté autonome sur des équipements spécifiques.
  - Toutes les informations
    - Site d'information de la cellule de formation

**En 2018**

- Actions envisagées:**
  - Mise en place de formations en ligne
    - Création de nouveaux contenus liés au fonctionnement, aux techniques et aux équipements de la salle blanche.
    - Accès aux utilisateurs de la salle blanche avec le MODULE de LIPS
  - CV LIMS
    - Gérer les formations avec l'application MyFab LIMS pour générer un CV aux utilisateurs de la salle blanche.
  - Formations continues
    - Prévaloir et techniques liées aux équipements des projets Thémis et Mollisio
    - Révisions à l'état avancé embryonnaire
      - « clean concept »
      - Associer la plateforme de biologie.

Indicateur	2017	2018	2019	2020
Formation dispensée	144	144	144	144
Formation dispensée	144	144	144	144
Formation dispensée	144	144	144	144

LAAS CNRS Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des systèmes de CNRS

## PRÉVENTION / SÉCURITÉ

- Membres**
  - F. Carcenac, S. Charlot, Q. Gravelier, JB Doucet, D. Colin, JC Marrot
- Les risques évalués :**
  - Risque chimique : mesures de l'aéraulique des hottes**
    - Évaluation des risques
    - Plan d'action en cours en lien avec le rapport d'expertise :
      - Identification des zones de travail dangereuses
      - Mise en conformité suite aux modifications sur les postes représentatifs
      - Généralisation des modifications sur tous les postes de salle
  - Risques liés aux champs électromagnétiques**
    - Mesure au 26 et 30 Juin 2017
    - Plan d'action en cours :
      - Modification du plan de prévention de la salle blanche
      - Indication des dangers à l'entrée de la salle blanche
      - Mise en place de zones dangereuses (câble pour les postes)
  - Risques liés au bruit**
    - Mesure le 19 septembre 2017
    - Plan d'action en cours :
      - Audit des machines
      - Création des zones dangereuses pour éviter la transmission directe du bruit
  - Risques liés aux rayonnements ionisants**
    - Visite de l'autorité de santé nucléaire
    - En attente de rapport
    - A priori toutes les consignes administratives à reprendre
- Visites dans les zones : mise à jour de la connaissance des risques**

LAAS CNRS Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des systèmes de CNRS

### PRÉVENTION / SÉCURITÉ

- Formation à l'utilisation des ARI :**
  - Organisation de la formation en cours (mai 2018 – 15 personnes)
- Enquête pour le remplacement des lampes à vapeur de mercure par des LED-UV**
  - Ca ne sera pas possible sur les machines de photolithographie anciennes ni sur les machines qui pilotent des générateurs d'UV (il faudrait changer le programme : coût très important/amélioration/risque si les consignes sont suivies)
  - La nouvelle machine de lithographie UV comporte un éclairage par LEDs : procédé à vérifier/écarter !
- Gestion des stockages froids**
  - réfrigérateur/bonificateur :
    - inventaire machines : gas de 200 produits
    - inventaire des produits déclarés dans RICH -MS
    - À faire
    - Déclaration des produits non déclarés par les propriétaires
    - Recensement des produits avec ou sans prospectives, pétroles alors non déclarés dans un bilan d'un stock**
- Déploiement de Fiches Individuelles d'exposition**
  - Action à mener avec IDEA pour une application en ligne
  - Ce besoin concerne tout le laboratoire

### CELLULE EQUIPEMENTS

- Objectifs principaux**
  - Alimenter les réflexions collectives sur la prospective équipements
  - Aider à l'exécution des procédures administratives quand financements obtenus
- Actions initiées**
  - Prospective TEAM
  - Apprentissage des procédures d'appel d'offre
  - Capitalisation sur les procédures d'appel d'offre
  - Communication sur les équipements « THERMIE »
  - Edition étiquette « carte identité » des équipements
- Actions envisagées**
  - Formaliser l'argumentaire de base pour chaque équipement de la prospective afin de l'avoir toujours disponible
  - Adaptation de l'infrastructure pour assurer le fonctionnement optimum des équipements.
    - En photolithographie, étudier la déformation de la dalle en ciment due au poids du stepper sur 6 mois
    - Etude d'un nouveau SAS d'entrée des équipements en salle blanche.

### EQUIPEMENT

**Finalisés 2017 1245,4 k€**

Equipements	Montant (k€)	Financements (k€)
PVD Nano	836,1	RTR
Hottes de chimie	158,7	RTR / IOR / MINCO
PVD à Thermo	335	Région FEDER Thermo
Salle coates-plaque recuit	53	Région LIDL Thermo
Soudure à gaz	79	Région FEDER Thermo
Appareil 750	84,84	Région FEDER Thermo
Profilomètre 3D	76,46	Région LIDL Thermo
Spectrophotomètre	15	SAICA / G. DANET / G. KIB / RTR
Traitement des gaz chlorés	87,35	RTR
Optimiseur et perceuse R esum	100	RTR
Tour à ultrasons DW	38,7	RTR

### EQUIPEMENT

**Achats en cours de finalisation 886,3 k€**

Equipements	Montant (k€)	Financements (k€)	Mise au service
Machine MARGENT	178,4	Région FEDER Thermo	Just
Hotte à gaz ultrasonique	19	Région FEDER MultiLab	17 / 2018
Spectrophotomètre BR	25	Région FEDER MultiLab	10 / 2018
Perceuse ultrasonique	200	Région FEDER MultiLab	10 / 2018
Spectro PEGVD	95,48	RTR	10 / 2018
Hotte multistage	104,41	RTR	10 / 2018
Tour à ultrasons DW	70	RTR	03/18-04/18

### PROSPECTIVE

- > En cours d'expertise
  - Bâti de dépôt ALD (spécifique RuO2) Financement ERC (D.Pech)
  - Bâti RIE en remplacement de l'ICP1 Financement RTB
- > A moyen terme
  - Bâti de pulvérisation cathodique pour les contacts III-V Financement RTB
- > A plus long terme
  - Réflexion menée dans le cadre de Renatech+ pour jouvence des équipements existants et équipements dédiés à de nouvelles techniques

### CELLULE RENATECH

- > **Participants :**
  - Dihan Monique
  - Bourrier David
  - Imberts Eric
  - Mécary Laurent
  - Ulmann Caroline
- > **Interventions multiples :**
  - Interne : TEAM, I2C, Personnel, RCP, Gestion
  - Externe : DR14
- > **Objectifs principaux**
  - Prendre en charge l'ensemble des demandes Renatech
  - Gérer le traitement et le suivi des demandes

**Besoin d'informations pour le suivi de la demande**

- > **Actions mises en place**
  - Gestion commune avec I2C
  - Gestion Intégrée avec RCP, le service gestion et le service du personnel
    - Dossiers partagés
    - Suivi des actions ( accueil, facturation...)
    - Contrats types (concentration nationale)
- > **Suivi commun des demandes**

**Nécessité d'un soutien administratif fort et pérenne**



LAAS  
CNRS

## SAVOIR FAIRE TECHNOLOGIQUE

LAAS-CNRS  
Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des systèmes (LAAS)

LAAS  
CNRS

BIOÉLECTRONIQUE, BIOSYSTÈMES, BIOPHYSIQUE

- > Pas d'actions spécifiques
- > Travail au sein de l'axe

LAAS-CNRS  
Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des systèmes (LAAS)

LAAS  
CNRS

## MEMS

- > Séminaire interne sur les technologies développées
- > Réflexion sur des briques technologiques spécifiques qu'il faut calibrer régulièrement
  - Photolithographies : 3 procédés résines identifiés
  - Métallisation : dépôt Ti/Au
  - Gravure : Profonde du Si et SiO<sub>2</sub>/SiN<sub>x</sub>
  - Fours : SiO<sub>2</sub> et le SiN<sub>x</sub> déposés par plasmas (Icpecvd et Pecvd)
- > **Nécessité que tous les acteurs (chercheurs/doctorants) participent à ces calibrations qui ne peuvent reposer sur les seuls IT**

LAAS-CNRS  
Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des systèmes (LAAS)

LAAS  
CNRS

## Micro nano électronique

- > Discussions sur les équipements spécifiques
  - En activité ou à maintenir en activité
  - Qui seraient nécessaires
  - En maintenance
- > Points sur les procédés en cours et leurs problèmes
- > Définition de véhicules tests

LAAS-CNRS  
Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des systèmes (LAAS)

LAAS  
CNRS

### Photonique / optique

- > Séminaire interne automne 2018
- > Séminaire spécifique Epix
- > Discussions sur les points bloquants en technologie

LAAS  
CNRS  
Laboratoire Associé de l'Institut National des Sciences et des Techniques de l'Air et de l'Espace

LAAS  
CNRS

## VALORISATION

LAAS  
CNRS  
Laboratoire Associé de l'Institut National des Sciences et des Techniques de l'Air et de l'Espace

LAAS  
CNRS

### Publications

- > TEAM ASSOCIÉ À 52 PUBLICATIONS\* DONT
  - 2 CONFÉRENCES INVITES
  - 15 MANIFESTATIONS AVEC ACTE
  - 4 RAPPORTS DE CONTRAT
  - 10 RAPPORTS LAAS
  - 18 REVUES SCIENTIFIQUES

\* RÉFÉRENCÉES AU LAAS SANS AUGURER D'AUTRES PUBLICATIONS AVEC DES EXTERNES

LAAS  
CNRS  
Laboratoire Associé de l'Institut National des Sciences et des Techniques de l'Air et de l'Espace

LAAS  
CNRS

### Équipement Alox

- > Travail fondamental de Photonique (G.Almuneau),
  - avec le soutien de TEAM (Zone Fours, Zone Epitaxie),
  - plus l'aide d'I2C (Bernard Franc) pour le logiciel
- > L'activité Équipements Alox représente actuellement près de 30% du chiffre d'affaire de la société française AET, société qui a construit en suivant nos plans le premier prototype au LAAS
- > Présenté au salon international SPIE Photonic West à San Francisco



LAAS  
CNRS  
Laboratoire Associé de l'Institut National des Sciences et des Techniques de l'Air et de l'Espace

LAAS  
CNRS

# LE PERSONNEL

LAAS  
Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des systèmes (CNRS)

LAAS  
CNRS

## Organigramme / personnel

> ÉLÉMENTS D'ANALYSE DES BESOINS SUR LES 5 PROCHAINES ANNÉES

- Permanents : sur les 5 dernières années solde -3 (Benoit, Jalabert, Fourcade)
- Départ : Guy LACOSTE mi 2018
- DÉPART : Bernard Roussel mi 2018
- DÉPART : Thierry Doornik (mi 8h 2018)
- Autres départs (-2,5 ETP)
  - N. LAUBER : AVT LRS 2018
  - A. DURLACH : CDD photolithographie / électrochimie non renouvelé en février 2018
  - S. LAURENT : CDD nano lithographie non renouvelé en septembre 2018

A fin 2018 nous serons à -5 permanents et -2,5 CDD/temps partiels sur 5 ans

LAAS  
Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des systèmes (CNRS)

LAAS  
CNRS

## Besoins en personnel

- > EJM (AI Bap B 3F26)
  - Départ Guy Lacoste (EHC) mi 2018
  - Assurer la continuité de l'activité dans une zone avec des équipements très complexes et le développement de nombreuses thématiques de recherches.
  - Présence d'un CDD depuis 1 an renouvelé en 2017.
- > Traitement de surface / chimie des polymères (IR Bap B 1F26)
  - Départ de B. Roussel (RHC) mi 2018
  - Les compétences de B. Roussel dans les matériaux « classiques » transférées vers d'autres membres du service et au vu des développements des années passées et de la prospective il est essentiel d'en développer vers les « nouveaux » matériaux polymères.
- > Electrochimie (AI Bap B 3F26)
  - Départ de M. Benoit (AJ) en 2015
  - Continuité de l'activité : un seul permanent
- > Chimie : nanoréplication (AI Bap B 3F26)
  - Continuité de l'activité dans la zone chimie : un seul permanent
- > Lithographie laser (IR Bap B 1F26)
  - Développement des compétences LEAF et Multilab
- > Assistant en gestion administrative (AI Bap B 3X21)
  - Mutation interne de C. Fourcade
  - Assistance à la gestion administrative.

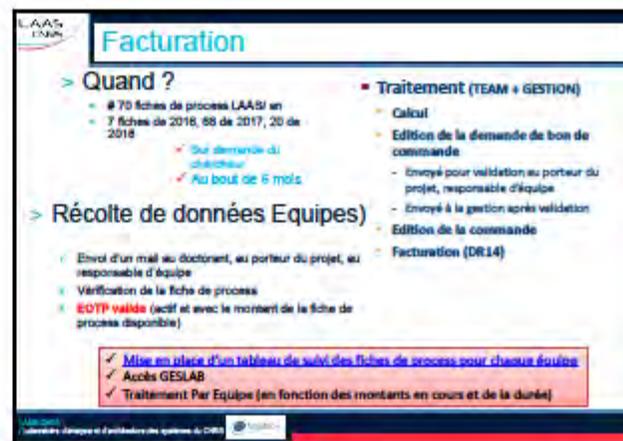
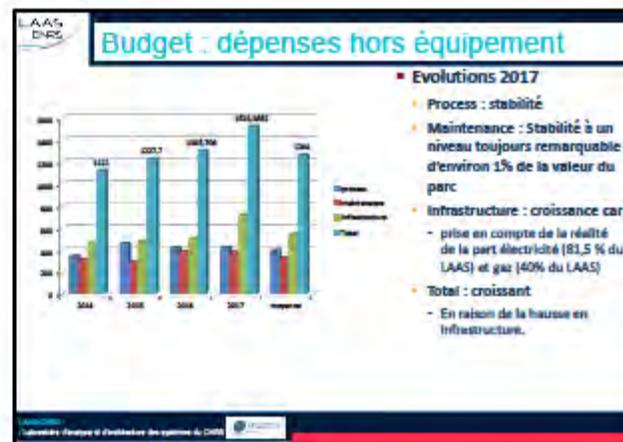
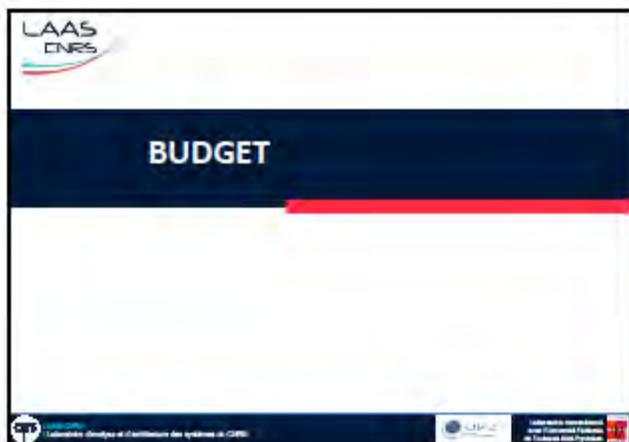
LAAS  
Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des systèmes (CNRS)

LAAS  
CNRS

## Evolutions de l'organigramme

- > Lithographie laser / assemblage
  - Implication David Colin à 100% en lithographie laser
  - Implication Vinciane Luque à 70% en assemblage
- > Caractérisation / nanoréplication
  - Implication de Emmanuelle Daran en caractérisation 50%
- > Gravure plasma / fours / support
  - Implication progressive de Pascal Dubreuil vers les fours (équipements et procédés CVD)
    - Transition définitive au 2<sup>ème</sup> janvier 2019 et création poste CVD
  - Implication progressive de Laurent Bouscayrol en gravure plasma
    - Transition définitive au 3<sup>ème</sup> janvier 2018
  - Au 1<sup>er</sup> janvier 2019 A. Lecestre prendra la responsabilité de la zone de gravure plasma

LAAS  
Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des systèmes (CNRS)



### Eligibilité de la facturation auditable dans les projets

- Eligible auprès des financeurs
  - Pré requis : recouper systématiquement avec RCP pour tenir notamment compte des spécificités des règlements des appels à projet
  - Région (en fonction de l'appel à projet)
  - ANR
  - FCDD
  - Contrats directs
- Exemple des fonds FEDER gérés par la Région (financiers de 80% des coûts des projets Théma et Multi-fo)
  - Il faut prouver que l'activité économique de la plateforme est inférieure à 20% de l'activité totale.
    - Activité économique = prestation avec obligation de résultat ou formation continue
  - Un tableau de suivi des activités économiques de la plateforme demandé par le financeur (Région) pour chaque projet.
    - Ce suivi ne peut se faire que selon trois modalités par ordre de priorité :
      - Traçabilité de toutes les dépenses (comptabilité analytique = lignes de dépenses justifiées à la plateforme)
      - Évaluation des temps d'utilisation des équipements affectés à l'activité économique vs activité non économique
      - Fournir un grille tarifaire des coûts complets (facturation forfaitaire) à titre justificatif

**Sans ce tableau de suivi économique les justificatifs pourraient être rejetés**

## Demandes 2018

### Demandes internes : Analyse globale

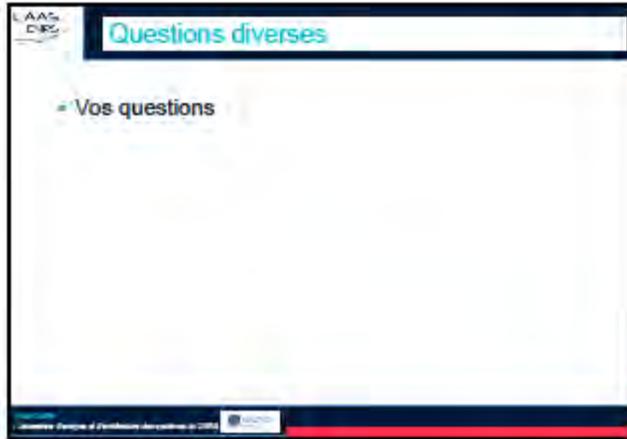
Evolution of projects origins

Evolution of internal projects origins

- Augmentation du nombre total de demandes autour de 160 projets. (+10)
- Légère baisse en interne
- En termes de nombre de projets (différent du volume d'activité)
  - MINBT (+ de 50 %)
  - Stabilité ou légère baisse des autres départements

## Divers

16/04/2018



## ANNEXE 4 : COMPTE RENDU DE LA REUNION DU 29/03/2018

Présents: Pierre-François CALMON, Hugues GRANIER, Liviu NICU, Laurent BARY, Pierre JOSEPH, Monique DILHAN, Laure DE VIGUERIE, Laurent BLAIN, David PECH, Patrick PONS, Christophe ESCRIBA, Josiane TASSELLI, Laurent MAZENQ, Franck CARCENAC, Lyne PILLEMONT, Guilhem ALMUNEAU, Guilhem LARRIEU, Thierry LEICHLE, Benjamin BOISNARD

### 1- LES ZONES

#### A- Support (slide 4)

*Q : Est-ce que les économies d'énergie vont permettre de baisser les coûts de la salle blanche?*

R : Effectivement une fois qu'on aura intégré ces économies en électricité et gaz dans des tarifs audités cela contribuera à une baisse des coûts liés à ces dépenses. Mais elles ne sont qu'une partie des coûts parmi une multitude d'autres pris en compte dans les calculs.

#### B- Photolithographie (slide 7)

*Q : Est-ce qu'il faudra une étape de calibrage avec le logiciel de simulation « GENSYS LAB » pour l'adapter à nos résines ?*

R : On travaille déjà avec les développeurs de la société Gensys pour proposer un calibrage avec nos paramètres. L'avantage de ce logiciel est qu'il permet de simuler les procédés de lithographie ; s'en servir donc préalablement au développement d'un nouveau procédé permet de réduire les coûts en minimisant les étapes de mise au point.

*Q : Comment le logiciel gère le changement de taille de l'épaisseur du substrat?*

R : Ces paramètres sont pris en compte dans une certaine mesure ; la simulation se faisant toutefois en considérant un substrat sans effet de bord. Il ne prend donc pas en compte par exemple les effets de « bourrelet » liés aux très petits substrats. Mais la simulation est bonne sur les parties non affectées par ces bourrelets

#### C- Epitaxie par Jets Moléculaires (slide9)

*Q : Brevet Epix : Quand pourrons-nous communiquer largement sur ce nouveau procédé ?*

R : Cette invention est protégée par un brevet. De plus il y a des discussions avec un industriel très intéressé par son déploiement. Pour des raisons de confidentialité il faut donc attendre mais la valorisation se fera dès que possible. Cette valorisation doit aussi et d'abord se faire en interne au laboratoire car la technologie Epix peut à priori être déployée sur de très nombreuses techniques. Nous nous félicitons à ce sujet du travail fait entre le service TEAM et les automaticiens/roboticiens du laboratoire pour développer encore plus les capacités de cette technologie.

#### D- Gravure Plasma (slide14)

*Q : Organisation de la journée Renatech gravure 2018 Est-ce pertinent que ce soit Pascal Dubreuil qui porte ces réunions sachant qu'il va changer de zone ?*

R : Pascal fait valoir une expérience de plus de 20 ans dans la gravure plasma, il est connu et reconnu dans la communauté du domaine il est donc parfaitement légitime dans cette action. En outre il est responsable de la zone jusque fin 2018. Il en assume donc toutes les prérogatives jusque-là. De plus Pascal Dubreuil souhaite finaliser ce qu'il a déjà entrepris et nous le soutenons complètement dans cette action. Enfin le rôle est là purement organisationnel.

*Q : Est-ce que l'implication de Laurent Bouscayrol sera 100% dans la zone ?*

R : Oui, il sera affecté dans la zone, mais comme tous les personnels de TEAM il aura des actions d'intérêt général qui pourront ponctuellement l'amener à intervenir ailleurs en salle blanche. Enfin la volonté est qu'il développe aussi les compétences de coordinateur technique de projet, ce qui l'amènera à utiliser d'autres moyens de la salle blanche. Mais tout cela comme la très grande majorité des membres du service et selon l'organisation maintenant éprouvée d'expertises dans une zone et de coordination de projets.

## **2- ACTIONS D'INTERET GENERAL**

### **A- Cellule de formation (slide 19)**

*Q : Est-ce que toutes formations seront accessibles en anglais ?*

R : Elles seront d'abord en français avec la volonté ensuite de les déployer en anglais.

### **B- Slide Prévention/Sécurité (slide 20)**

Suite à une discussion sur la mise en place d'un outil type OS Ticket réalisé par le service IDEA pour le service TEAM il apparait maintenant opportun de formaliser cette demande auprès d'IDEA.

La Direction a demandé une étude des coûts pour améliorer encore la sécurité des postes de chimie dans le cadre de la CHLSCT. Parallèlement à cette demande instruite en CLHSCT le service TEAM conduit des actions sur le sujet qui ont été abordées lors des deux COMTEAM précédentes. Un devis est notamment en attente pour l'adaptation de postes. Une fois ce devis obtenu il sera dégagé des ressources financières pour faire les travaux. La sécurité étant une priorité les travaux seront faits en priorité, ce qui pour tenir compte des ressources disponibles entrainera des arbitrages sur d'autres engagements moins « essentiels ».

### **C- Cellule RENATECH (slide 26)**

*Q : Est-il possible de refuser une demande Renatech ?*

R : Si c'est réalisable techniquement, on ne refuse pas. La raison la plus forte sur un refus serait que cette demande soit clairement du copié-collé ou entre en concurrence de compétences scientifiques internes. Dans ces cas la cellule Renatech met le demandeur en contact avec le chercheur du LAAS

concerné pour tenter d'initier une collaboration. Si cela n'est pas possible l'arbitrage appartient alors au chercheur qui indique soit qu'il ne faut pas soutenir la demande externe, soit qu'elle peut être soutenue car pas réellement en compétition avec les développements internes, soit que la demande se transforme en projet collaboratif interne. Au cours des 10 dernières années seule une demande a été refusée car elle faisait écho à une compétence interne.

Enfin il y a diverses sécurités pour éviter de ne pas détecter de telles situations. D'abord le fait que les membres de la cellule Renatech couvrent un très large spectre des domaines de savoir-faire technologiques en salle blanche permet d'avoir une vision très étendue des technologies disponibles. Enfin mensuellement un tableau de toutes les demandes externes est diffusé aux responsables d'équipes du champ disciplinaire des micros et nanotechnologies afin qu'ils puissent contrôler et alerter si besoin.

*Q : Est-ce que le nombre de demandes est plafonné ? comment vous réglez les demandes ?*

R : Non, les demandes ne sont pas plafonnées en nombre. Tout d'abord parce que c'est une obligation des centrales ReNaTech (charte du réseau) et un corolaire à l'obtention du financement de plus de 15M€ reçu depuis 2003 pour de l'équipement et de l'infrastructure. Néanmoins pour tenir compte de l'augmentation régulière de ce nombre de demandes nous favorisons pour les travaux chronophages l'accueil des demandeurs externes pour qu'ils réalisent eux-mêmes les opérations. Si ce n'est pas possible une variable d'ajustement dans nos discussions avec les demandeurs est l'allongement du délai de réalisation. Le demandeur décide alors d'attendre ou de trouver une autre solution. A ce jour dans leur immense majorité les demandes externes n'affectent pas le soutien aux travaux internes ; si cela se produit c'est très marginal et très ponctuel. Enfin n'oublions pas que ces demandes externes sont aussi la source de développements technologiques qui servent toute la communauté interne et une source de revenu pour le fonctionnement de la salle blanche.

Les chercheurs redirigent vers la cellule ReNaTech certaines demandes de leurs partenaires. Cette redirection se fait lorsque la demande n'intéresse pas le chercheur (prestation de service par exemple) et elle permet de conserver un lien direct avec le partenaire pour de futures collaborations de recherche. Cette situation se retrouve de plus en plus régulièrement.

D- Demands externes 2017 (slide 27):

*Q : Est-ce que nous avons accès aux répartitions des projets dans les autres centrales ?*

R : Non, nous n'avons qu'une vision globale au travers du rapport annuel sur les activités du réseau remis au panel international qui expertise ReNaTech. Il y a encore des discussions en interne à ReNaTech pour formaliser encore mieux la dénomination des divers types de projets.

*Q : Savez-vous estimer la part du service TEAM sur les projets Renatech ?*

R : 15/20 % du temps

La Direction fait remarquer que la salle blanche peut en sorte être vue comme une PME avec un chiffre d'affaires, des recettes et des dépenses. Attention d'être conscient de la possible tentation extérieure

au laboratoire de vouloir extraire la centrale du laboratoire pour en faire une entité propre. C'est pourquoi il est essentiel que chaque membre du laboratoire concerné réponde finement et complètement aux sollicitations et obligations liées au travail en salle blanche. Par exemple la phrase à mettre systématiquement dans les remerciements des publications permet de montrer la force et la nécessité du rattachement de la centrale au laboratoire.

*Q : Pendant les travaux est-ce que la salle blanche sera complètement fermée ?*

R : oui car il n'y aura plus d'extraction d'air. On pourra entrer pour récupérer un échantillon ou un cahier mais on ne pourra pas y travailler durant cette période. Comme cela a déjà été indiqué si vous avez vraiment une obligation de réalisations nous nous ferons le relais de vos demandes vers les autres centrales du réseau ReNaTech. Ainsi il serait possible de faire réaliser, ou d'aller vous-même réaliser des procédés. Mais il faut anticiper ces situations, d'autant que deux autres centrales seront fermées en même temps (IEF et LPN). Nous sommes à votre disposition pour faire ce relais.

*Q : Est qu'il y aura toujours un nettoyage pendant les travaux ?*

R : Oui. Si le contrat signé avec la société de nettoyage le permet (instruction en cours avec l'aide du service gestion et de la DR) nous paierons toujours une personne au lieu de trois pour maintenir le niveau de propreté. Ce passage de trois à un permettra de réduire les coûts. Enfin dans les couts des travaux il est prévu une mise à blanc si nécessaire. On fera donc un contrôle propreté de la salle blanche avant les travaux puis après le passage des entreprises.

### 3- **BUDGET**

#### A- Budget : dépenses hors équipement (slide42)

*Q : Quelles sont les actions pour maîtriser les maintenances à 1% de la valeur du parc ?*

R : Les personnels de TEAM développent les compétences pour mener les maintenances à minima de premier niveau, voire de plus haut niveau. Ceci permet par exemple de détecter l'origine des pannes, puis en interaction avec les équipementiers de commander les pièces et les changer nous-même. Nous n'avons que quelques contrats sur les équipements les plus utilisés et/ou les plus complexes. Enfin le recours aux contrats reste aussi limité du fait des politiques des équipementiers qui nous proposent des contrats de type industriel avec changement systématique de pièces, ce qui n'est pas adapté à nos utilisations et pèse d'un poids considérable sur les prix proposés

*Q : En choisissant cette option, avez-vous noté une multiplication de pannes sur certains équipements ?*

R : Quelques-unes mais rien de vraiment notable. Plus largement cette question se pose lorsque la panne survient sur un équipement essentiel, très utilisé et pour lequel la réparation prend du temps. Cette situation très pénalisante reste rare. La seule récemment était due notamment à des retards d'ordre administratif (concordance de la panne avec la fin de l'exercice financier, de la mise en place du nouveau budget, de la disponibilité du SAV)

#### B- Budget : revenus et solde (slide 43)

*Q : Est ce que les 241 K€ manquants seront répercutés sur la facturation ?*

R : Non, ils ne seront pas répercutés. De par le principe même de la facturation auditable on ne facture que ce qui est noté sur les fiches de process. D'où l'importance de noter tout ce que l'on fait.

Le Directeur demande à être mis en copie de l'envoi du message aux responsables d'équipe qui n'ont pas répondu à la proposition de TEAM de se rencontrer pour présenter le tableau de suivi de la facturation.

#### C- Facturation (slide 44):

Propositions :

-Le fait de renseigner les montants estimés pour la technologie à l'avance permettrait d'échanger sur les contrats valides de l'année en cours.

- Par souci d'efficacité, il serait opportun d'alimenter le tableau en début d'année puis quand le chercheur juge nécessaire de faire une mise à jour

- Proposition de facturation par équipe et non plus fiche par fiche ? cela permettrait une réflexion interne à l'équipe sur les supports utilisés. Il y aurait donc un seul email collectif. Cela permettrait par exemple la mutualisation de factures et limiterait les bons de commandes.

-Le tableau ne change en rien la flexibilité sur l'origine du financement des fiches procédées, c'est juste un outil de suivi simple et alimenté en temps réel sans avoir à aller chercher des informations dans Geslab OTP par OTP.

-Il est envisagé de créer une COMTEAM d'arbitrage si des problèmes persistent mais au préalable on fera un point au bout de 6 mois pour connaître les problèmes réels avant de mettre en place cette COMTEAM d'arbitrage. Pour ce faire Team a besoin d'avoir le tableau renseigné avec les montants. La Direction insiste pour que cela soit organisé, à terme, par tous les responsables d'équipes mais avant d'attendre le consensus généralisé, nous pouvons d'ores et déjà commencer à expérimenter ce processus avec les équipes volontaires.

- Il est rappelé que les données restent au niveau des équipes. Chacune ne voit que sa situation et n'a pas accès à celle des autres équipes

- Pour simplifier encore les choses il est proposé par des chercheurs d'indiquer dans le tableau le montant global prévu pour la technologie jusqu'à la fin du support financier. Car de toute façon ce montant peut à tout moment être modifié dans le tableau au gré de la vie du contrat support.

#### 4- Divers

*Q : Peut-on proposer des indicateurs pertinents qui permettent une corrélation entre le volume facturé et le volume d'activité des équipes / départements ?*

R : On pourra avoir des indicateurs, il faudra juger de leur pertinence car des facteurs autres que financiers et de volume horaire rentrent en ligne de compte. Par exemple à volume horaire identique il existe des technologies plus « chères » que d'autres car utilisant des équipements plus complexes et des matériaux plus coûteux. Nous ferons des propositions lors de la prochaine COMTEAM intermédiaire.

Si vous rencontrez des difficultés avec l'application Renatech contactez ou envoyez un e- mail à Monique qui vous aidera et/ou transféra pour correction à Paris.