



**HAL**  
open science

## **Bilan des activités 2021 de la plateforme de micro et nanotechnologies du LAAS-CNRS**

Alexandre Arnoult, David Bourrier, Laurent Bouscayrol, Pierre-François Calmon, Franck Carcenac, Samuel Charlot, David Colin, Véronique Conédéra, Emmanuelle Daran, Monique Dilhan, et al.

► **To cite this version:**

Alexandre Arnoult, David Bourrier, Laurent Bouscayrol, Pierre-François Calmon, Franck Carcenac, et al.. Bilan des activités 2021 de la plateforme de micro et nanotechnologies du LAAS-CNRS. 2022. hal-03646902

**HAL Id: hal-03646902**

**<https://laas.hal.science/hal-03646902v1>**

Submitted on 20 Apr 2022

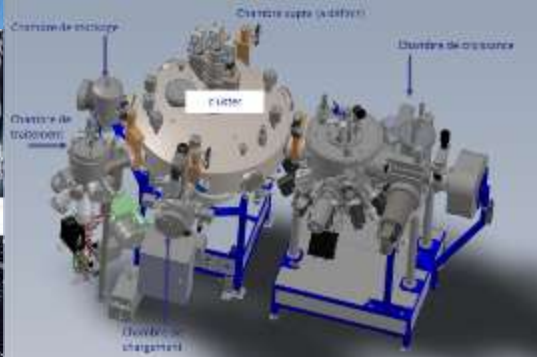
**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

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.



# 2021

## Bilan des activités de la centrale de micro et nanotechnologies et du service TEAM



Service TEAM

LAAS-CNRS

Mars 2022

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| <b>PREAMBULE</b>            | <b>1</b>   |
| <b>LE PERSONNEL</b>         | <b>2</b>   |
| <b>LES PROCEDES</b>         | <b>11</b>  |
| <b>BILAN DES ACTIVITES</b>  | <b>50</b>  |
| <b>LES EQUIPEMENTS</b>      | <b>68</b>  |
| <b>FORMATIONS</b>           | <b>79</b>  |
| <b>SECURITE</b>             | <b>88</b>  |
| <b>BUDGET</b>               | <b>92</b>  |
| <b>PARTENARIAT RENATECH</b> | <b>103</b> |
| <b>DEMANDES INTERNES</b>    | <b>115</b> |
| <b>SYNTHESE</b>             | <b>122</b> |
| <b>ANNEXE</b>               | <b>129</b> |

## PREAMBULE

La plateforme de micro et nanotechnologies du LAAS fait partie du réseau  et coordonne pour le Grand Sud-Ouest les plateformes 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. (<https://www.laas.fr/public/fr/plate-forme-de-micro-et-nanotechnologies>).

La gestion et le développement de l'infrastructure, des équipements et procédés ; le soutien aux projets de recherche sont assurés par le service TEAM. (<https://www.laas.fr/public/fr/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 2021 et se projette sur des actions à conduire en 2022 dans les différentes zones gérées par le service TEAM.

Le projet  cité dans ce document est cofinancé par la Région Occitanie et les fonds Européens Feder.



PROJET CO-FINANCÉ PARTI FONDÉ EUROPÉEN DE DÉVELOPPEMENT RÉGIONAL

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

L'équipex Nanofutur a bénéficié d'une aide de l'État gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du programme d'Investissements d'avenir portant la référence « ANR-21-ESRE-0012 » 

# Le personnel

Structure de fonctionnement du service TEAM

Organigramme fonctionnel

Evolutions en 2021

Carrières

Analyse pluriannuelle des postes permanents

Quels axes de réflexion pour pallier aux manques ?

Expression des besoins

## STRUCTURE DE FONCTIONNEMENT DU SERVICE TEAM

### Les responsabilités assumées par les personnels

L'organisation décrite lors des bilans précédents est issue d'évolutions successives mais n'a pas évolué en 2020.

La dernière définition précise des responsabilités et rôles de chacun remonte à une dizaine d'année. L'environnement a depuis, beaucoup évolué tant en terme d'étendue des techniques proposées, de nombre et de nature des projets soutenus, que d'origine des utilisateurs en salle blanche.

En outre les perspectives de l'emploi technique pérenne sont préoccupantes.

Pour répondre à ces évolutions et tenter d'en anticiper de nouvelles le service TEAM mène une réflexion interne quant à son mode d'organisation.

### Implication dans les actions d'intérêt collectif.

Il s'agit d'implications dans des activités qui débordent des implications précédemment décrites.

Elles peuvent avoir lieu à différents niveaux. Sans exhaustivité :

#### Service :

- Maintenances au-delà de sa zone du fait de compétences particulières (électronique, informatique, vide, etc.)
- Participation aux quatre cellules pilotées par les adjoints au responsable de service.
- Gestion des stocks d'intérêt collectif (substrats, consommables divers, etc.)
- Etc.

#### Laboratoire :

- Participation aux instances du laboratoire (conseil de laboratoire, CLHSCT, etc.)
- Assistant de Prévention
- Personnel Compétent en Radioprotection
- Correspondant handicap
- Correspondante à l'égalité Femme/Homme
- Participation au groupe sur l'éthique dans la recherche

#### National :

- Participation au pilotage du réseau Renatech
- Coordination de Renatech+ GSO
- Membres de jury de concours internes / externes / sélection professionnelle
- Etc.

# ORGANIGRAMME FONCTIONNEL (au 1er janvier 2022)



## TEAM : TECHNIQUES ET ÉQUIPEMENTS APPLIQUÉS AUX MICRO ET NANO TECHNOLOGIES



### Responsable

Hugues GRANIER, IRHC 90 %

28 agents (12 IR, 8 IE, 6 AI, 2 apprenties)

Personnel CNRS : 21  
 1 Personnel contractuel : 3  
 2 Personnel UPS : 1  
 3 Personnel INPT : 1  
 Alter : apprenti en attente : 2

Pierre-François CALMON IRHC 10 % Adjoint en charge de la formation  
 Franck CARCENAC IRHC 10 % Adjoint en charge de la prévention des risques/ sécurité

Véronique CONÉDÉRA IRHC 40 % Adjointe en charge des équipements  
 Monique DILHAN IRHC 50 % Adjointe en charge des projets exogènes et Renatech

### RESPONSABILITES TECHNIQUES DANS LES ZONES

- Gestion des ressources (techniques financières, humaines)
- Mise en service, développement, maintenance des équipements
- Formation
- Actions d'intérêt général au sein du service

La première personne nommée assure la fonction de responsable de zone

**ASSEMBLAGE**  
 Samuel CHARLOT IEHC 20 %  
 Maman BORAH<sup>1</sup> AI 20 %

**CARACTÉRISATION**  
 Benjamin REIG IR2 70 %  
 Emmanuelle DARAN IRHC 20 %  
 Mairame DIALLO<sup>1</sup> IECN 40 %

**CHIMIE**  
 Jean-Baptiste DOUCET IEHC 28 %  
 Justine BONNEAU<sup>1</sup> AI 30 %

**CVD**  
 Pascal DUBREUIL IR1 30 %  
 Éric IMBERNON IR1 10 %  
 Jean-Christophe MARROT IECN 10 %

**DÉPÔTS ÉLECTROLYTIQUES, GRAVURE ANISOTROPE DU Si**  
 David BOURRIER IR2 50 %  
 Justine BONNEAU<sup>1</sup> AI 30 %

**DÉPÔTS SOUS VIDE**  
 Ludovic SALVAGNAC IEHC 20 %  
 Guillaume LIBAUDE AI 40 %  
 Adrian LABORDE<sup>2</sup> ASI 10 %

**ÉPITAXIE PAR JETS MOLÉCULAIRES**  
 Alexandre ARNOULT IRHC 15 %  
 Quentin GRAVELIER AI 49 %

**GRAVURE PLASMA**  
 Aurélie LECESTRE<sup>3</sup> IGR2 60 %  
 Laurent BOUSCAYROL IECN 30 %

**JET D'ENCRE ET TRAITEMENTS DE SURFACE**  
 Fabien MESNILGRENTE IECN 35 %  
 Véronique CONÉDÉRA IRHC 15 %

**LITHOGRAPHIE LASER**  
 Pierre-François CALMON IRHC 25 %  
 René-David COLIN AI 25 %  
 JEANNE AIGOIN Alter 30 %

**NANOLITHOGRAPHIES**  
 Emmanuelle DARAN IRHC 40 %  
 Franck CARCENAC IRHC 25 %  
 LAURENT MAZENQ IECN 25 %  
 Jean-Baptiste DOUCET IEHC 20 %  
 Clothilde PERA Alter 30 %

**PHOTOLITHOGRAPHIE**  
 Laurent MAZENQ IECN 25 %  
 Adrian Laborde<sup>2</sup> ASI 50 %  
 Mairame Diallo<sup>1</sup> IECN 10 %

**TRAITEMENTS THERMIQUES ET IMPLANTATION IONIQUE**  
 Éric IMBERNON IR1 30 %  
 Jean-Christophe MARROT IECN 30 %

**SUPPORT ET SOUTIEN**  
 Hugues GRANIER IRHC 10 %  
 Monique DILHAN IRHC 20 %

### RESPONSABILITES EN SOUTIEN DIRECT AUX PROJETS DE RECHERCHE

- Coordination technique, management de projet
- développement de procédés,
- Encadrement, valorisation

JEANNE AIGOIN Alter 70 %  
 ALEXANDRE ARNOULT IRHC 85 %  
 JUSTINE BONNEAU<sup>1</sup> AI 40 %  
 MAMAN BORAH<sup>1</sup> AI 80 %  
 DAVID BOURRIER IR 50 %  
 LAURENT BOUSCAYROL IECN 70 %  
 PIERRE-FRANÇOIS CALMON IRHC 65 %  
 FRANCK CARCENAC IRHC 65 %  
 SAMUEL CHARLOT IEHC 60 %  
 RENÉ-DAVID COLIN AI 70 %  
 VÉRONIQUE CONÉDÉRA IRHC 45 %  
 EMMANUELLE DARAN IRHC 40 %  
 MAIRAME DIALLO<sup>1</sup> IECN 50 %

MONIQUE DILHAN IRHC 30 %  
 JEAN-BAPTISTE DOUCET IEHC 50 %  
 PASCAL DUBREUIL IR1 70 %  
 QUENTIN GRAVELIER AI 49 %  
 ÉRIC IMBERNON IR1 55 %  
 ADRIAN LABORDE<sup>2</sup> ASI 40 %  
 AURÉLIE LECESTRE<sup>3</sup> IGR2 40 %  
 GUILLAUME LIBAUDE AI 60 %  
 JEAN-CHRISTOPHE MARROT IECN 60 %  
 LAURENT MAZENQ IECN 45 %  
 FABIEN MESNILGRENTE IECN 63 %  
 Clothilde PERA Alter 20 %  
 BENJAMIN REIG IR2 30 %  
 LUDOVIC SALVAGNAC IEHC 80 %

### ACTIONS D'INTÉRÊT GÉNÉRAL AU DELÀ DU SERVICE

SAMUEL CHARLOT IEHC 20 %  
 RENÉ-DAVID COLIN AI 5 %  
 JEAN-BAPTISTE DOUCET IEHC 2 %  
 Quentin GRAVELIER AI 2 %  
 ERIC IMBERNON IR1 5 %  
 LAURENT MAZENQ IECN 5 %  
 FABIEN MESNILGRENTE IECN 2 %

ASSISTANT DE PRÉVENTION  
 CORRESPONDANT HANDICAP  
 CLHSCT  
 CLHSCT  
 PCR ET CLHSCT  
 CONSEIL DE LABORATOIRE  
 CLHSCT



## EVOLUTIONS EN 2021

### **Préambule**

Pour la clarté du propos nous précisons quelques termes :

- Permanents : personnels titulaires du CNRS, l'UPS ou l'INPT
- Contractuels IG : personnels contractuels financés par le budget du laboratoire et impliqués pour la très grande majorité de leur temps dans des zones
- Contractuels projets : personnels contractuels financés par le budget de projets et impliqués quasi exclusivement dans ces projets

### **Mouvements de personnels**

#### *Départs*

##### **1 permanent**

- A Maiorano, AI, zone support

##### **3 contractuels**

- G. Ardit, AI, zone assemblage
- S. Vivies, AI, zone PVD à 10%
- L. Séveno, IR2, laboratoire commun OPALE

#### *Arrivées*

##### **1 permanent**

- Daniel Ferri-Angulo, IR2, zone chimie. Recruté en 2021 il a pris ses fonctions en février 2022.

##### **2 contractuelles**

- Julia Borah, AI, zone assemblage
- Mairame Diallo, IE, zones caractérisation 80% et photolithographie 20%

##### **1 apprentie**

- Jeanne Aigoin, Apprentie Ingénieur ENSIACET, zone lithographie laser et plateforme MultiFab (I2C)

L'effectif du service est resté stable en 2021 après des années de baisse. Cette stabilité est principalement due aux efforts du laboratoire qui permet le recrutement de postes CDD pour pallier à des besoins pérennes non remplacés lors des années précédentes.

### **Evolutions dans l'organisation**

Pour continuer à mener à bien ses missions, développer le support apporté à la recherche, et permettre le développement professionnel du plus grand nombre de ses agents tout en prenant en compte ces mouvements de personnel le service TEAM tente de faire preuve « d'agilité ». Pour cela il adapte sa structure, ajuste le déploiement des personnels, redistribue les responsabilités laissées vacantes par les partants.

#### *Support :*

A. Maiorano la dernière personne affectée à temps plein sur cette zone a quitté le laboratoire en mai 2021. Cela pose le problème du suivi de l'infrastructure salle blanche. De plus compte tenu des conditions actuelles le recrutement de personnel Bap G affecté uniquement à la salle blanche paraît très hypothétique. Plusieurs voies sont explorées.

- A court terme les opérations de surveillance des installations ont été réparties sur les membres du service TEAM et le service Logistique.
- En 2022 les efforts de développement d'un suivi des paramètres à distance (Gestion Technique Centralisée) permettront de limiter l'implication d'un grand nombre des membres de TEAM. Mais cette GTC ne pourra nous affranchir d'une présence physique pour les interventions de première nécessité
- La sous-traitance a été accrue (station d'eau DI, station de neutralisation, maintenance de la licence du logiciel de GTC) ce qui occasionne un surcoût de fonctionnement ; une réactivité dégradée en situation de problème.



- Une réorganisation au niveau du laboratoire ; à savoir que les actions reposeraient sur le seul service logistique. Sous réserve qu'il dispose des moyens humains pour cela.

### **Lithographie électronique**

En prévision du départ de Franck Carcenac envisagé dans un délai maximum de 3 ans nous anticipons la situation en explorant deux voies

- Laurent Mazenq se forme à cette technique pour prendre le relais de Franck Carcenac avec une période de biseau. Laurent Mazenq prendra la responsabilité de la zone, ce qui l'éloignera de la photolithographie, qui se trouvera alors avec un déficit de personnel permanent. Cette solution permet toutefois de sécuriser la lithographie électronique. Elle est de plus cohérente avec le point suivant.
- Dans une certaine mesure, et sous réserve de confirmation définitive du PEPR électronique, l'investissement dans un masqueur électronique de nouvelle génération devrait permettre modifier la nature du soutien direct aux utilisateurs (cf. Chapitre activités / nanolithographies)

### **Evolutions dans les responsabilités**

L'année 2021 n'a pas vu d'évolutions dans les responsabilités de zones au sein du service.

#### **Support :**

Comme mentionné précédemment des personnels se sont répartis les actions de surveillance des installations.

- Suivi traitement d'air
  - Avec service logistique + contrat SNEF+GTC
  - Guillaume Tanneau + Hugues Granier
- Centrale eau DI
  - Suivi régulier TEAM + Contrat Veolia + extension 2022 GTC
  - David Bourrier + Hugues Granier
- Approvisionnement en Azote liquide
  - Contrat avec Linde
  - Quentin Gravelier + Hugues Granier
- Boucles de refroidissement
  - Suivi régulier de TEAM + extension GTC 2022
  - Quentin Gravelier + Adrian Laborde
- Centrale de neutralisation
  - Suivi régulier TEAM + Contrat Veolia + extension 2022 GTC
  - David Bourrier + Jean-Baptiste Doucet + Justine Bonneau
- Réseau air sec et centrale de vide
  - Suivi régulier TEAM + Contrat Some + extension 2022 GTC
  - Ludovic Salvagnac + Benjamin Reig
- Détection gaz + stock gaz
  - Suivi régulier de TEAM+ contrat Secur'IT
  - Eric Imbernon + Laurent Bouscayrol
- Portes automatiques
  - Contrat Portalp
  - Emmanuelle Daran + Laurent Mazenq
- Prestation ménage
  - Suivi régulier TEAM
  - Hugues Granier + Monique dilhan
- Contrôles conformités
  - Avec service logistique
  - Samuel Charlot + Hugues Granier

- Installation de nouveaux équipements
  - Responsables de zones
  - Jean-Christophe Marrot + Hugues Granier.

## CARRIERES

### 2021

Nous nous félicitons de la promotion de :

- David Bourrier, IR2, concours interne
- Laurent Bouscayrol IECN, promotion au choix
- Pierre-François Calmon, IRHC, promotion au choix
- Franck Carcenac, IRHC Esheb, promotion au choix
- Samuel Charlot, IEHC, promotion au choix

**2021 a été une année particulièrement prolifique en terme de promotions ; avec notamment des changements de corps qui sont toujours extrêmement difficiles à obtenir**

### Evolutions pluriannuelle

Entre 2018 et 2021 le service a connu 13 promotions de corps, de grade ou d'échelon parmi ses personnels CNRS. Si l'on rapporte ces succès au nombre actuel de permanents CNRS (21) cela donne un taux de promotion de 62%.

Cette réussite est surtout due à la qualité des candidats mais aussi au fait qu'ils bénéficient du soutien actif de toutes les composantes du laboratoire pour les accompagner dans leurs prises de responsabilités, leurs évolutions et la préparation aux promotions.

Enfin nous y voyons aussi une certaine confirmation de la visibilité de l'organisation actuelle du service TEAM. Cet aspect doit être pris en compte dans les réflexions que mène le service sur son organisation future

Il faut poursuivre tous les efforts de soutien aux personnels car compte tenu de la faiblesse du nombre de postes offerts à travers les procédures de promotion du CNRS ces succès sont très ardues à obtenir. Poursuivre ces efforts permet de maintenir la motivation, et évite de créer une compétition négative pour le bien-être individuel et le savoir-vivre collectif.

**Le gros point noir concerne les deux personnels de l'UPS et de l'INPT.** Les perspectives sont peu optimistes à la fois quant au nombre de poste et du fait du déroulement des procédures de promotion.

Une voie alternative est de postuler aux promotions internes au CNRS. C'est administrativement possible même si un succès se traduirait pour le CNRS par l'équivalent d'un recrutement.

## ANALYSE PLURIANNUELLE DES POSTES PERMANENTS

### Eléments pris en compte

L'analyse se focalise sur les personnels permanents car eux seuls assurent la pérennité de fonctionnement du service TEAM. **Toutefois il convient de noter l'effort perpétué sur le budget IG du laboratoire pour l'emploi CDD**

Il permet actuellement le recrutement

- De 3 personnels pour palier à des manques pérennes
  - Chimie/électrochimie,
  - Assemblage
  - Caractérisation
- De 2 apprenties pour développer de nouvelles compétences

- Matériaux biocompatibles, bio sourcés pour la nano impression
- Matériaux pour la stéréolithographie 3D appliquée au vivant.

### Evolution de l'effectif 2012-2021

Sur la période 2012-2021 le solde en postes permanents est de -5

- 8 départs :
  - 2 pour des mutations internes.
  - 5 pour des départs à la retraite.
  - 1 pour départ FSEP.
- 3 recrutements.

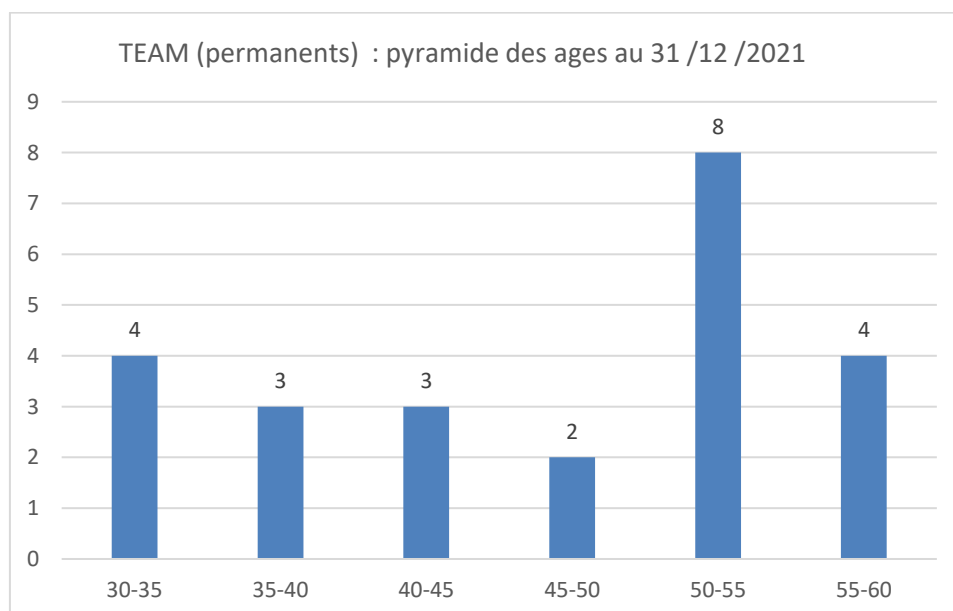
Si les évolutions dans l'organisation et dans les responsabilités ont permis de minimiser l'impact sur le soutien à la recherche, cette « agilité » atteint des limites

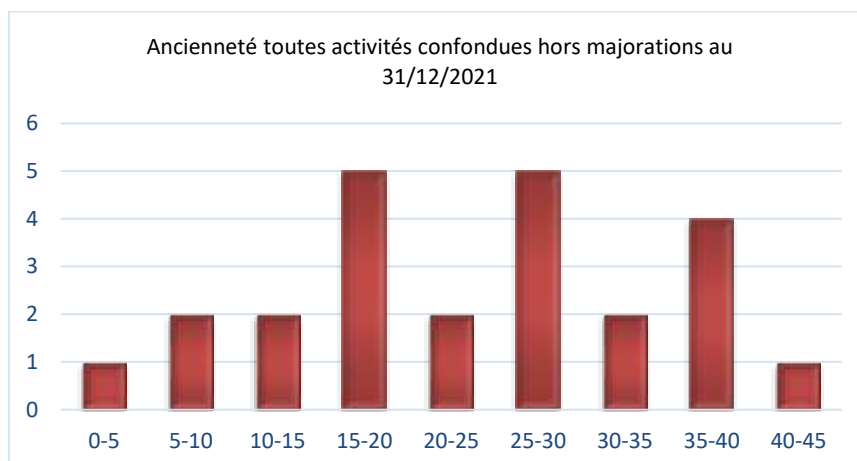
- **Des zones reposent sur une seule personne**
  - Électrochimie,
  - Assemblage,
  - Caractérisation
- **Des zones sont vides de tout personnel dédié** et n'apparaissent que parce que ses actions sont conduites par les personnels du service au détriment de leurs responsabilités premières.
  - Soutien
  - Support

Il est **extrêmement complexe de poursuivre des développements de procédés ambitieux** car les personnels doivent en priorité assurer les fonctions essentielles au fonctionnement quotidien. Cet appauvrissement aura des répercussions à court terme à la fois sur les innovations proposées mais aussi sur la motivation des personnels qui seraient cantonnés à des tâches ingrates.

### Projection à 3 ans

Deux graphiques permettent d'éclairer la situation dans les années à venir.





### D'ici fin 2024, deux agents au minimum vont faire valoir leurs droits à la retraite

- **Lithographie électronique** : nous avons déjà évoqué la situation. La prise de responsabilité de Laurent Mazon en lieu et place de Franck Carcenac créera un manque en zone de photolithographie. Cette zone est centrale et ne peut reposer sur une seule personne.
- **Jet d'encre et traitements de surfaces**. Après le départ de Véronique Conédéra fin juin 2023 nous nous retrouverons avec un seul expert avec les mêmes conséquences que dans les zones vivant cette situation. Si la technique de jets d'encre est très spécifique celles des traitements de surfaces sont plus génériques.

### Projection à long terme

Au-delà de 2024 quelques départs s'échelonneront régulièrement pendant plusieurs années. Un nouveau départ massif de 4 à 5 agents en deux ans est à prévoir d'ici une dizaine d'années.

**Si la politique de recrutement n'évolue pas et garde le rythme actuel une refonte profonde des responsabilités des agents restants est inévitable. Cette refonte ne pourra pas consister à ne laisser que les tâches ingrates aux agents (maintenances, gestion du quotidien, ...) sous peine de voir une démotivation totale, qui conduirait à amplifier encore le mouvement de départs. C'est un enjeu majeur de la politique de soutien scientifique du laboratoire, et du soutien aux demandes issues du réseau Renatech.**

## QUELS AXES DE REFLEXION POUR PALLIER AUX MANQUES ?

Afin d'alimenter la réflexion nous poursuivons la mise en place de plusieurs pistes. Elles sont engageantes à divers niveaux (humain, financier, technique, scientifique) et présentent chacune des avantages et des inconvénients

- Evolution de l'organisation du service TEAM.
- Abandon d'actions de soutien et/ou de service
- Sous traitance accrue
- Contribution plus grande des étudiants aux actions d'intérêt collectif
- Recrutement de CDD plus pérennes
- Réduction du soutien aux demandes Renatech
- Amplification de l'accueil d'utilisateurs externes
- .....

## EXPRESSION DES BESOINS

L'ensemble des éléments présentés soutiennent l'expression de nos demandes de postes à destination du CNRS et de nos partenaires.

**Assistant-e Ingénieur-e / Technicien(ne) en élaboration des matériaux - B3D44/B4D43\***  
Dépôts électrolytiques

**Assistant-e Ingénieur-e / Technicien(ne) en élaboration des matériaux - B3D44/B4D43**  
Assemblage

**Assistant-e Ingénieur-e / Technicien(ne) en élaboration des matériaux - B3D44/B4D43**  
Photolithographie

**Assistant-e Ingénieur-e / Technicien(ne) en science des matériaux / caractérisation - B3C43/B4C42**  
Caractérisation

**Assistant-e Ingénieur-e / Technicien(ne) en élaboration des matériaux - B3D44/B4D43\***  
Chimie / Traitements de surface

**Ingénieur(e) de recherche en science des matériaux / élaboration - B1D44**  
Matériaux avancés (semi-conducteurs, oxydes métalliques, ...)

\*Actuellement un CDD est partagé entre les zones des dépôts électrolytique et la chimie. Si l'on ajoute la problématique à venir sur les traitements de surface en toute rigueur il faudrait obtenir 3 postes sur ces profils. Ces trois profils ayant une forte connotation « chimie » et dans un effort de minimisation des demandes et en acceptant une dégradation du support aux projets de recherche ces trois profils pourraient peut-être se réduire à deux. La présentation dépôts électrolytiques d'un côté et binôme chimie/traitements de surface de l'autre n'est que l'une des combinaisons possibles.

# Les procédés

Développements conduits en 2021  
Développements envisagés en 2022  
Calibrations  
Valorisation

## DEVELOPPEMENTS CONDUITS EN 2021

Le développement continu de procédés innovants permet d'alimenter les projets de recherche en proposant de nouvelles pistes technologiques.

Ces développements ont globalement deux origines, ils sont réalisés

- Dans le cadre des projets
- En amont des projets quand une nouvelle voie technologique semble prometteuse. Ils sont dans ce cas souvent mais pas exclusivement conduits par des personnels du service TEAM

Quelle que soit la voie choisie ils sont après valorisation mis à disposition de l'ensemble des utilisateurs.

### Assemblage

#### *Mise au point de la sérigraphie de pâte à fritter (Sérigraphie sur silicium REN20-28)*

Dans le cadre d'un projet Renatech, nous avons développé le dépôt par sérigraphie de pâte à fritter sur silicium ainsi que son recuit par frittage. Après découpe, l'assemblage hermétique des puces millimétriques s'est fait par flip chip. La sérigraphie s'est faite sur un wafer 8 pouces avec l'obtention de lignes de 300µm de large espacées de 100µm sur 150mm de long.



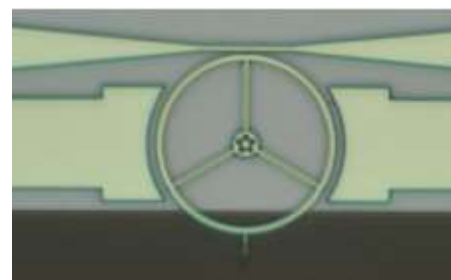
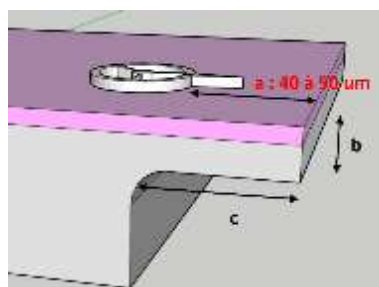
Sérigraphie de pâte à braser sur wafer silicium 8 pouces



Report flip chip de puces millimétriques par frittage de pâte à fritter

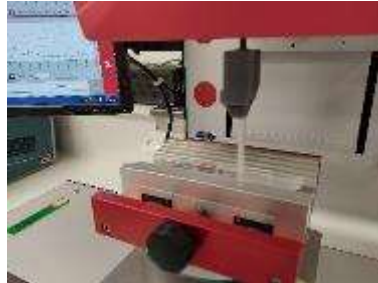
#### *Découpe contrôlée à la scie diamantée (Olympia P-15-01449)*

Dans le cadre du projet Olympia (Bernard Legrand) et en coopération avec la zone gravure, nous avons précédé et aminci des barres de SOI en face arrière afin d'obtenir par gravure plasma une libération des pointes d'AFM.



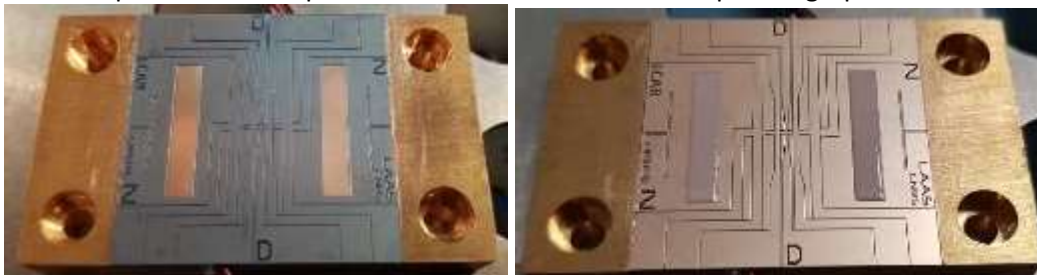
### **Pincers Tweezer (IG développement assemblage)**

Dans le but de caractériser la délamination de certains films en surface de substrat ou de couches métalliques, nous avons fabriqué par impression 3D une tête comprenant des mâchoires et pouvant s'insérer dans l'équipement de traction. Celui-ci opère grâce à un programme un mouvement de traction et de cisaillement entraînant le film adhérent au substrat et calculant sa force d'arrachement. Les premiers résultats de couches de métal arraché par des films calibrés sont encourageants. Nous devons maintenant améliorer le système et lancer une campagne de test sur différents matériaux.



### **Caractérisation des Tapes pour la découpe Graphtec (IG développement assemblage)**

L'équipement [Graphtec](#) permet la découpe de films minces adhésifs ou non. En fonction des caractéristiques des films, les paramètres de découpe ainsi que les outils peuvent changer. Nous avons caractérisé tous les paramètres de découpe de tous les matériaux présents en salle de montage afin d'obtenir la résolution optimale. Le document présentant les paramètres à adapter en fonction du film à découper est présent près de la machine et dans l'ordinateur de commande. Ci-après, un exemple de découpe d'un adhésif pour le transfert de colle localisée par sérigraphie.



Collage film adhésif découpé

film de colle sérigraphiée après retrait du film adhésif

## **Caractérisation**

### **3D (ELIA + IG)**

Stage d'un élève ingénieur sur la photogrammétrie (de la 2D vers la 3D) à partir d'images MEB pour la reconstruction d'objet en 3D. Utilisation d'une macro pour l'acquisition automatique des images sur le MEB S-3700 puis reconstruction de l'objet en 3 dimensions avec l'aide de Metashape.

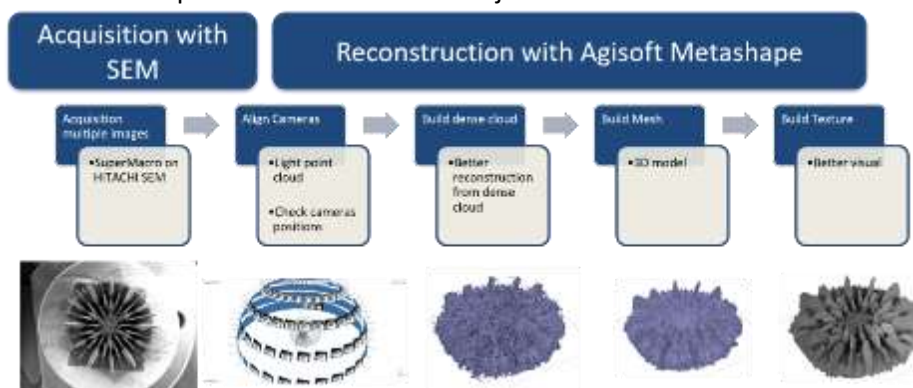


Figure 1: reconstruction d'une image en 3D de corail à partir d'images MEB



### Formation Tomographe X de l'IMFT (IG + ELIA)

Formation à la tomographie X sur le tomographe présent à l'IMFT (accès ouvert) pour proposer cette technique à l'ensemble du LAAS.

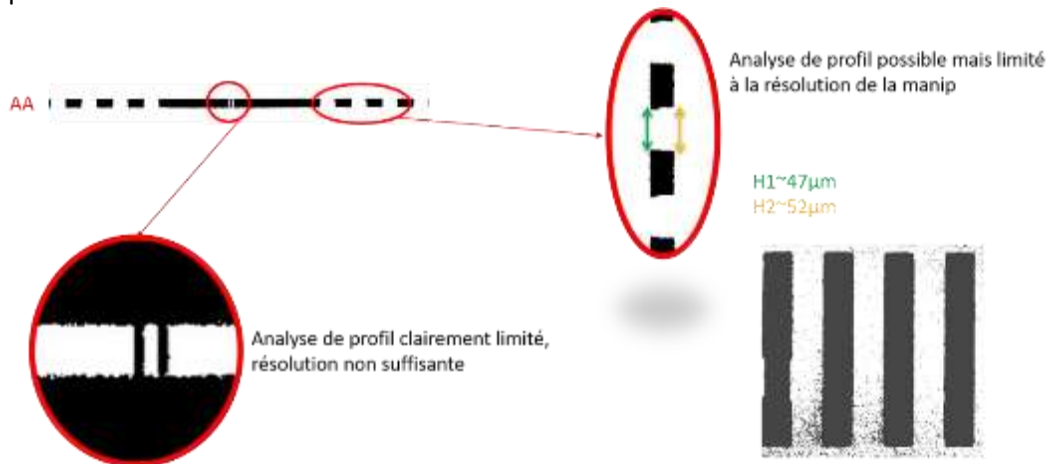


Figure 2: analyse de gravures profondes sur silicium

Des acquisitions de données ont été faites régulièrement pour l'équipe ELIA sur leurs échantillons (coraux) avec succès. Les tests ont également été menés sur des wafers Si et verre mais avec plus de limitations (actuellement voxel minimum de 5 μm mais évolution prévu de la source pour obtenir un voxel de ~500nm).

Contactez Benjamin Reig pour plus d'informations.

### Chimie

#### Mise au point et standardisation des conditions permettant les structurations de métaux (gravures humides, lift-off) (action IG Développements de procédés en chimie P-22-03767)

Après avoir repris et précisé les conditions de gravure humide de l'or pour se familiariser avec ces techniques, Justine Bonneau a travaillé sur :

- Les conditions de gravure humide du chrome manuellement et par spray sur la machine HAMATECH un document reprenant les résultats de ces tests est disponible sur MYfab sur le poste de gravure humides de métaux :  
<https://lims.laas.fr/WebForms/Getfile.aspx?ticket=SrtMQXwGCJeGI1gTrv9jzsViTbb%2fb76V>
- Les conditions de gravure humide du titane par acide fluorhydrique tamponné (BOE 7-1/HF 5%) qui ont permis la mise en place des recommandations et une procédure simple disponible sur Myfab pour la boîte à gants :  
<https://lims.laas.fr/WebForms/Getfile.aspx?ticket=50iUZ4MB7N8r%2bkUHtrZx6%2fvJue4rCnXS>
- Les conditions de solvant (acétone/DMSO) et de température (DMSO) pour la réalisation des lift-off.

Ce travail a donné lieu à des recommandations et une procédure simple disponibles sur MYFAB pour les postes où ces techniques sont utilisées :

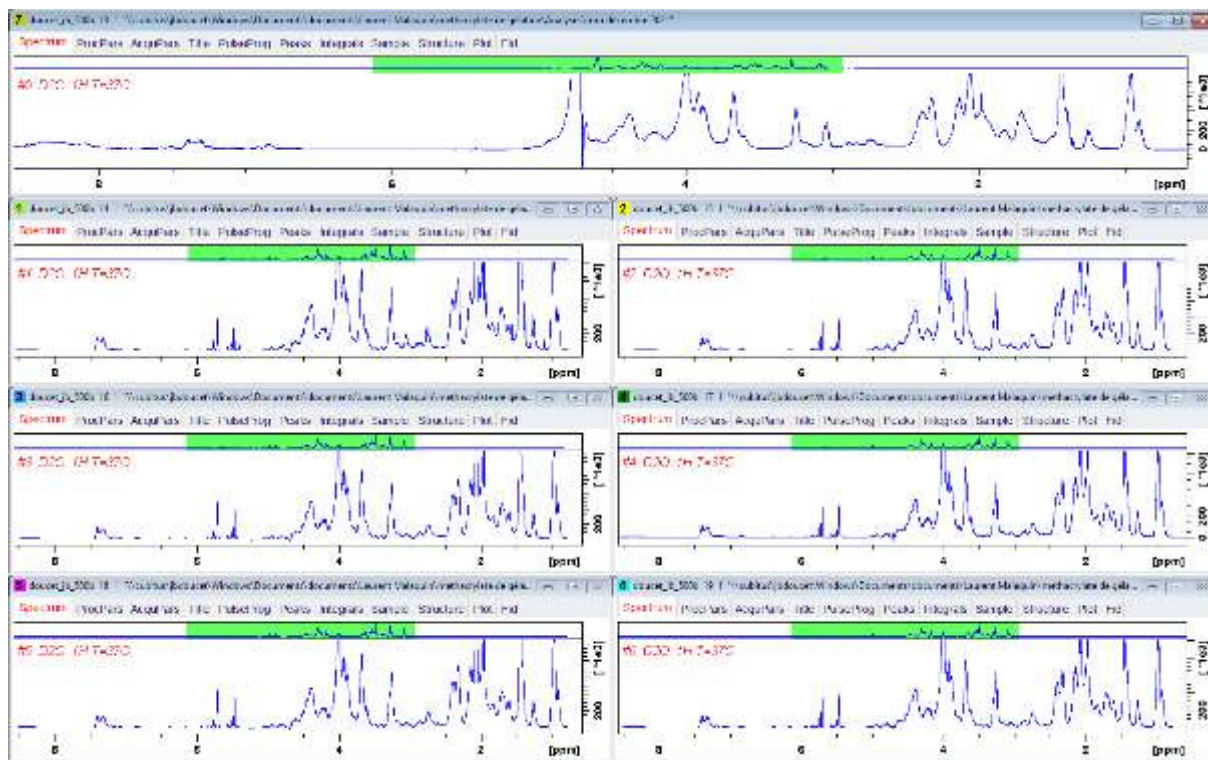
<https://lims.laas.fr/WebForms/Getfile.aspx?ticket=DNfLJEdQoI2eao7vDqpEFItBgd6ycspU>  
<https://lims.laas.fr/WebForms/Getfile.aspx?ticket=GKrjNPfmFZ5nl4%2bJHhQwvrQixkshjSly>  
<https://lims.laas.fr/WebForms/Getfile.aspx?ticket=KbaNpbJu4wFFDWMjoIMwLsaR4CvVNeK0>

<https://lims.laas.fr/WebForms/Getfile.aspx?ticket=S0XnNdwQzXd6po1N0pHqeuHp3rxzcdxv>

Elle a en outre commencé à reprendre le travail sur la gravure humide du cuivre.

### **Préparation de méthacrylate de gélatine de peau de porc. (Projet cellules en 3D P-15-01401)**

La croissance de cellules doit se faire dans un milieu qui soit le plus compatible possible avec leur physiologie. Dans le même temps la structuration spatiale par lithographie 3 D faisant appelle à la photochimie nécessite des fonctions capables de réticuler par exemple selon un mécanisme radicalaire initié par un photo amorceur. Le greffage de fonctions méthacrylate sur la gélatine de peau de porc permet d'obtenir un matériau prometteur pour la réalisation de structures en hydrogel compatibles avec les objectifs du projet « cellules en 3D »).



Spectres en RMN  $^1\text{H}$  de la gélatine de peau de porc brut (#0 en haut) et de cette gélatine après greffage selon diverses conditions de greffage ou d'isolation (#1-#6) des fonctions méthacrylate permettant de la rendre photoréticulable. La signature spectroscopique des protons méthacrylates insaturés est bien visible dans la région 5,2-6 ppm après greffage. Les variations dans les conditions de préparation ne se traduisent pas dans les spectres RMN $^1\text{H}$

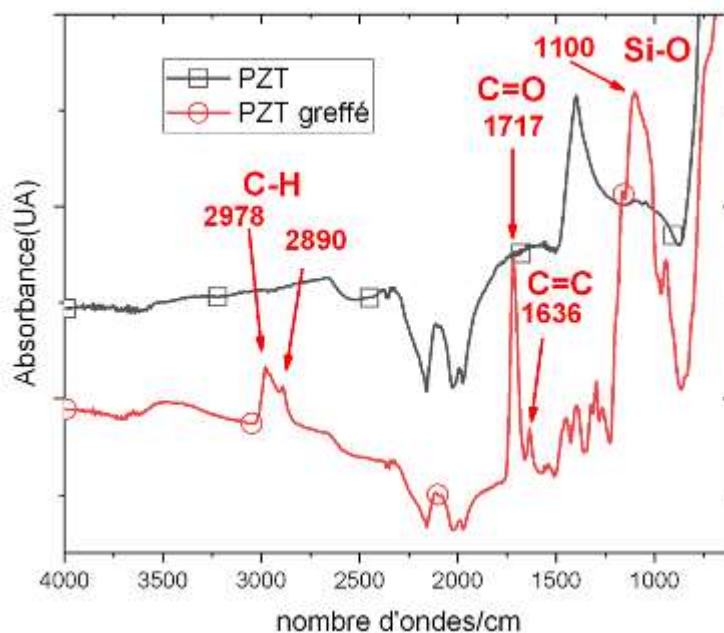
D'autres projets faisant appel à ce même matériau sont envisagés, Il est donc prévu en 2022 de simplifier et standardiser cette fabrication pour être en mesure de produire ce matériau commercial mais onéreux de manière stable et fiable. Il est également prévu de varier certains paramètres (Bloom de la gélatine de départ).

Il est également envisagé de travailler sur d'autres matériaux aux propriétés similaires.

### **Greffage de fonctions méthacrylate sur des nanoparticules de PZT. (Projet ERC Advanced Grant 2020 E-MOTION P-21-03641)**

Dans ce projet, un matériau composite à base de nanoparticules de PZT (titanate-zirconate de plomb présentant d'intéressantes propriétés, notamment piézoélectrique) dans une matrice acrylate polymérisable est structuré par lithographie optique 3 D. La structure complexe réalisée doit permettre d'exalter les propriétés piézoélectriques du composite. Un paramètre déterminant semble être la qualité d'un greffage de fonctions méthacrylate en surface des nanoparticules de PZT pour assurer une bonne dispersion et surtout une bonne adhérence entre les nanoparticules et la matrice polymère finale.

Une méthode de fonctionnalisation a donc été testée sur un premier lot de nanoparticules



Spectre en infra-rouge à transformé de fourrier (IRTF) des particules avant (—□—) et après (—○—) fonctionnalisation. La signature spectroscopique des fonctions méthacrylate greffées est bien visible après greffage.

En 2021 un premier lot de 10 g de particules fonctionnalisées a été préparé au laboratoire. Pour 2022 des discussions sont en cours permettant de savoir s'il y a lieu de poursuivre cette activité au laboratoire ou chez des partenaires chimistes et si elles doivent être conduites sur les mêmes ou d'autres particules.

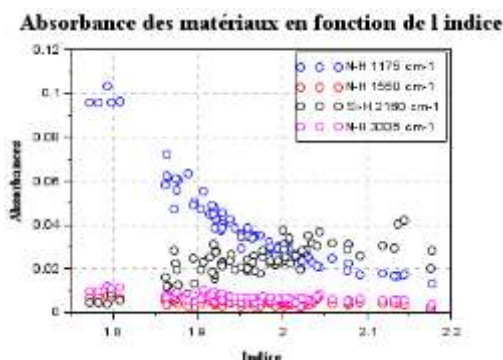
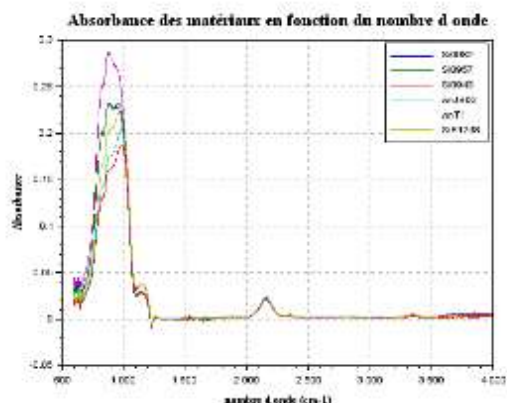
## CVD

### *Procédé de RuO<sub>x</sub> dans ALD NOMOS (MICROSUPERCAP 3D / P-17-02038)*

L'objectif est d'obtenir des capacités surfaciques de l'ordre du F/cm<sup>2</sup>. Pour arriver à cela, la stratégie utilisée dans ce projet est de réaliser une structuration 3D de l'électrode en déposant par ALD un matériau pseudocapacitif RuO<sub>2</sub> sur un collecteur de courant métallique extrêmement poreux. Le défi à relever maintenant consiste à accentuer la surface exposée du matériau actif sur des substrats de forme très complexe avec l'objectif d'accroître simultanément la densité énergétique et la densité de puissance. Actuellement, la principale difficulté est d'obtenir des épaisseurs de 100nm (plusieurs milliers de cycles) et de caractériser finement le matériau déposé. Alors, des caractérisations par XRR et ellipsométrie seront faites en 2022, en externe via une collaboration avec un enseignant-chercheur de l'université de Bretagne Sud. Cela fait suite à la formation suivie par P. Dubreuil sur la réflectivité par rayons X et neutrons en 2021. Les premiers résultats, 15nm RuO<sub>x</sub> déposés sur du Pt ou de l'au avec une densité capacitive de 7 mF cm<sup>-2</sup> (abstract à EMRS 2022).

### *Procédé de SiN<sub>x</sub>:H avec variation d'indice de réfraction dans CCPECVD (DIMENSION / P-19-02966)*

Il s'agit d'identifier les conditions de dépôt CCPECVD des films SiN<sub>x</sub>:H avec une quantité minimum d'hydrogène [H], un indice de réfraction à λ=632nm autour de 2 (dépôt riche en Si ou SiH<sub>4</sub>/NH<sub>3</sub> élevé), une absorption faible pour λ=800nm et λ=1550nm. Les dépôts SiN<sub>x</sub>:H ont été caractérisés par ellipsométrie spectroscopique (indice de réfraction), par FTIR ATR (composition du matériau déposé).

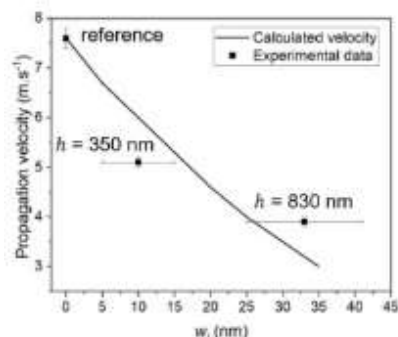
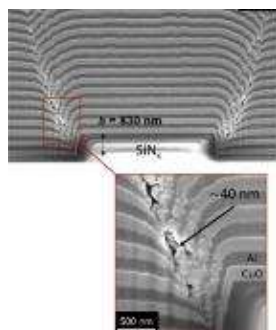


Les figures ci-dessus FTIR ATR et ellipsométrie spectroscopique montrent le lien, entre les pics N-H à  $1175\text{ cm}^{-1}$  et Si-H à  $2160\text{ cm}^{-1}$ , et l'indice de réfraction de chaque film  $\text{SiN}_x\text{:H}$ . La valeur de cet indice est liée au rapport Si/N (gaz  $\text{SiH}_4/\text{NH}_3$ ), à la quantité d'hydrogène [H]. Les quantités Si-H et N-H mesurées ont une évolution contraire en fonction de l'indice de réfraction (rapport technique en 2022).

### Procédé $\text{SiN}_x\text{:H}$ très contraint dans CCPECVD (NANOLAMINES / P-20-03072)

Les multi couches Al/CuO déposées en phase vapeur (PVD, machine TFE), sont très réactives (densité d'énergie  $4\text{ kJ/g}$ ) lors d'une réaction d'oxydo-réduction dans des temps très brefs. Il a été étudié l'effet des micro-stress induit par la structuration du substrat hôte sur les propriétés réactives des multicouches.

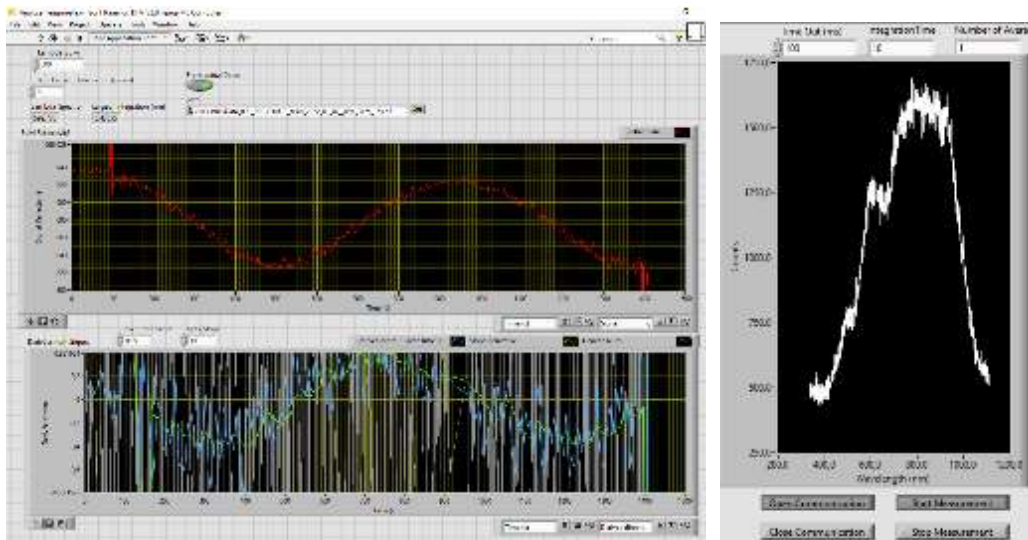
Des plots  $\text{SiN}_x\text{:H}$  contraints en tension (500MPa) préalablement déposés par CCPECVD sur du verre vont ensuite fragiliser mécaniquement et chimiquement la microstructure métallique Al/CuO. En fonction des paramètres des plots de  $\text{SiN}_x\text{:H}$  (dimensions, épaisseurs), on réduit par 3 les vitesses de propagation de l'énergie dans l'empilement des matériaux énergétiques.



Effect of substrate-induced localized stress on the combustion properties of Al/CuO reactive multilayer films  
(Thin Solid Films Volume 740, 31 December 2021 / hal-03431059)

### Développement d'un outil de suivi in-situ des dépôts dans ICPECVD (IG et les projets pour la filière photonique)

Pour suivre en temps réel les dépôts ICPECVD, une piste envisagée est de développer en interne avec l'équipe PHOTONIQUE, un outil optique multi-longueur d'onde à partir d'une lumière blanche qui permettrait de suivre in-situ et en temps réel l'évolution de la réflectivité des dépôts au cours du temps et de run à run.

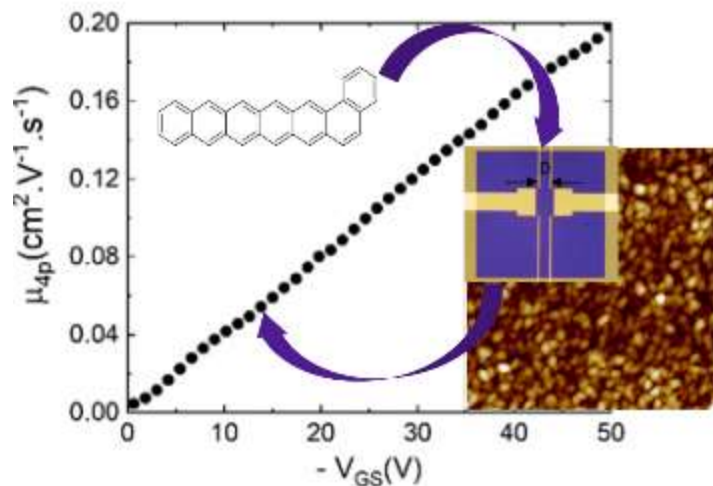


Cet outil est composé d'un spectromètre [450nm à 1100nm], d'un obturateur optique contrôlable (shutter) et d'une source blanche. Le contrôle de ce montage optique s'opère à partir d'un programme LabVIEW et permettra de faire l'acquisition en direct de la réflectivité de l'échantillon. Il est possible d'observer l'évolution de cette réflectivité au cours du temps et pendant le dépôt du matériau. Cette première version de l'outil permet les acquisitions des signaux, direct et dérivé, de réflectivité émis au cours du dépôt, ainsi que le spectre optique émis par le plasma de dépôt.

### Dépôts sous vide

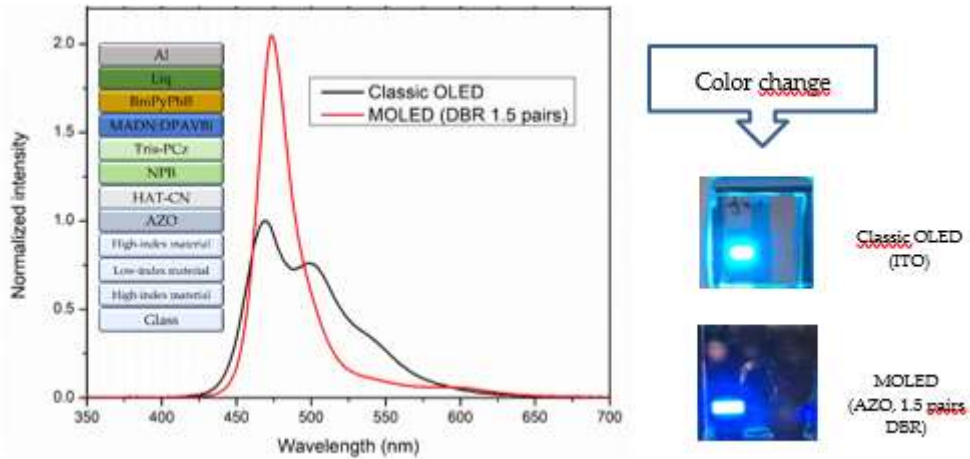
#### Electronique organique ( *MOBInACENE (P20-03290), Dispo (P-13-00185), MENS Orga (P-20-03115)* )

Dans le cadre de l'étude de la mobilité des charges dans des films minces (50 nm) constitués de benzoheptacène, nous avons déposé cette molécule par évaporation thermique pour la réalisation d'un transistor organique. Projet MOBInACENE (P20-03290)



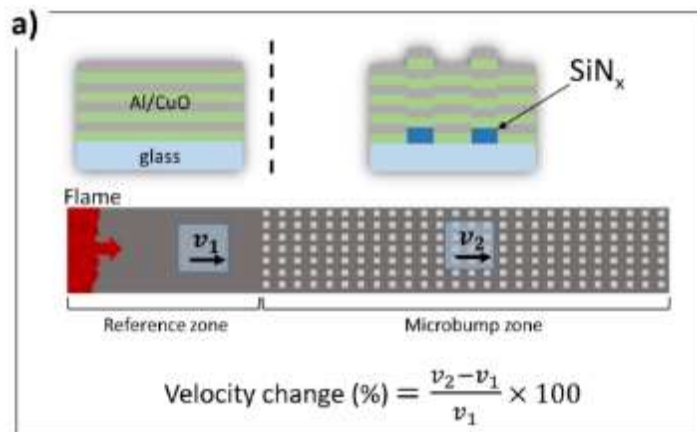
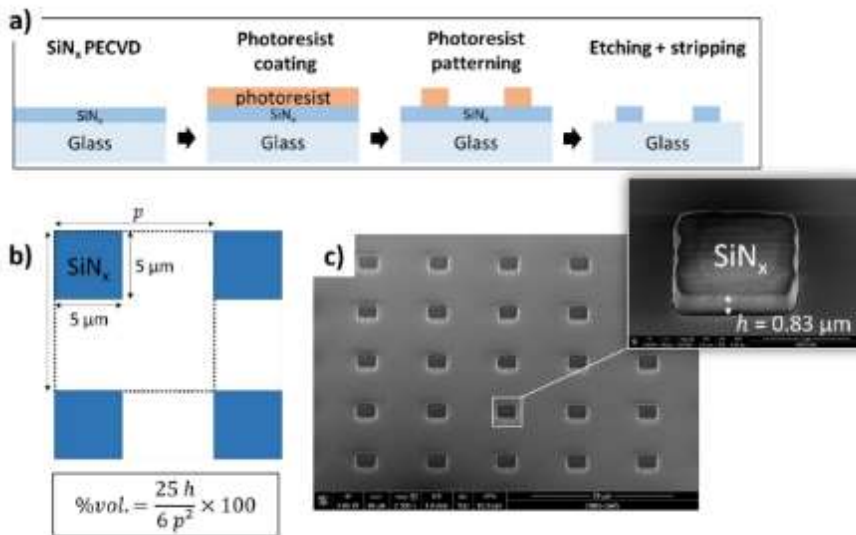
Four-probes mobility vs  $V_{GS}$  in the linear regime ( $V_{DS} = -10$  V) for benzoheptacene based transistor

Réalisation d'une MOLED (microcavité OLED) qui en comparaison avec une OLED classique a un spectre lumineux réduit et une intensité plus forte. Ce qui dans le cadre du projet Dispo P-13-00185 nous permet d'avoir une réponse plus importante des algues excitées par cette nouvelle source.

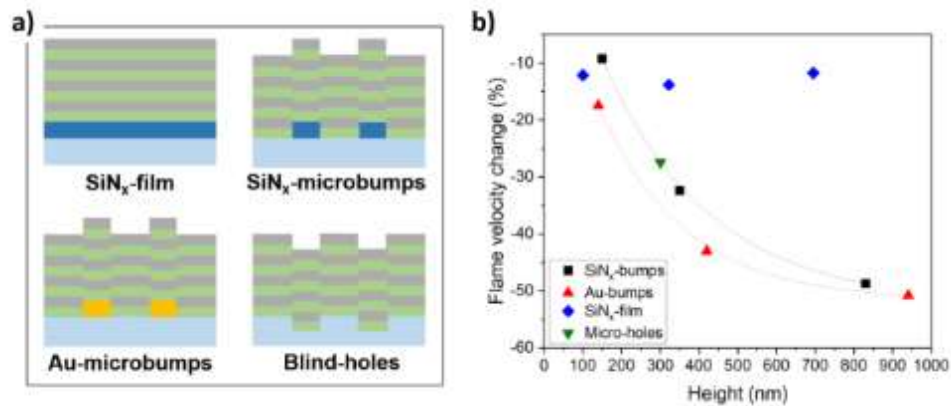


**Actionneurs a nanothermites (P-20-03073)**

L'objectif est d'étudier les influences de la contrainte localisée induite par le substrat sur les propriétés de combustion des bi-couches d'Al/CuO. Pour cela des microbosses carrées sont modelées sur des substrats en verre pour servir de facteur de stress intégré.



Ce travail démontre que l'adaptation des distributions de contraintes en structurant le substrat avant le dépôt de multicouches peut être un moyen efficace de contrôler la réaction des couches minces Al/CuO sans changer la stratification du système lui-même.



### Dépôts électrolytiques

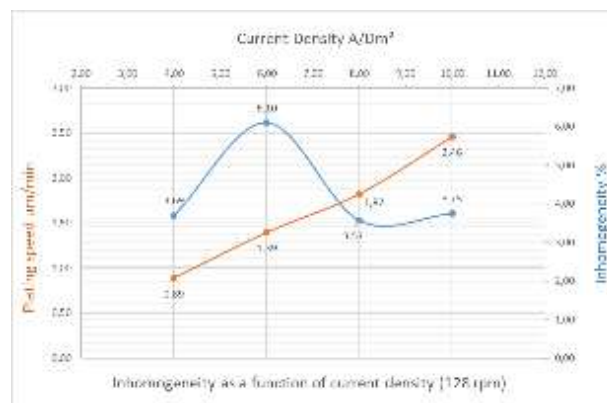
#### Mise au point 4<sup>ème</sup> génération d'équipement Yamamoto (Société Yamamoto & action IG Développements électrochimie P-14-00971)

Dans le cadre de notre collaboration avec l'équipementier Yamamoto nous avons développé avec eux une 4<sup>ème</sup> génération d'équipement. Grâce à de grosses modifications de la géométrie du réacteur de dépôt nous avons pu augmenter la vitesse d'agitation de 18 % (105 rpm à 128 rpm) sans perte de bain à l'extérieur du réacteur.

Grâce à ce nouveau réacteur nous avons pu diminuer encore l'inhomogénéité des dépôts de 50 % sur un wafer 4 pouces et pour une épaisseur de 50 µm. Nous sommes passé de 7% à 3.5% d'inhomogénéité.

Il nous a également permis de multiplier par 3 la vitesse de dépôts tout gardant l'inhomogénéité inférieure à 4%.

L'augmentation de la vitesse de dépôt devrait nous permettre de réaliser plus de dépôts par jour et d'adresser des nouvelles demandes d'épaisseurs plus importante 300-500 µm



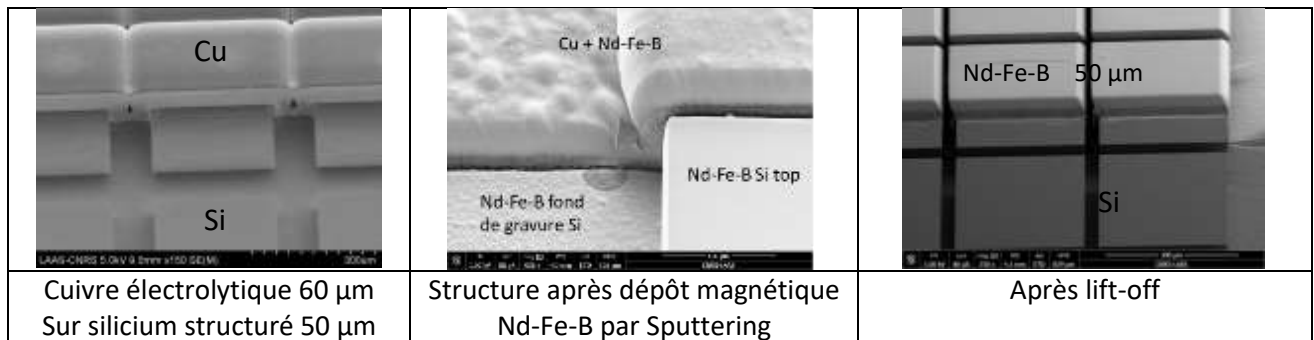
Ces résultats nous placent à l'état de l'art pour ces fortes épaisseurs de nickel avec des vitesses de dépôts importantes (> 2.5 µm/min) tout en gardant une très bonne homogénéité.

#### Lift-off de dépôt magnétique avec un dépôt épais de cuivre électrolytique (projet MEMS P-14-00709)

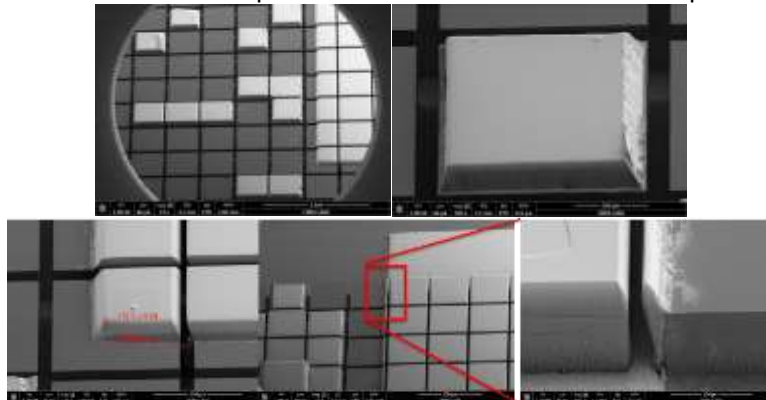
Dans le cadre du projet Pomade qui est un projet ANR du LPCNO en collaboration avec le groupe MEMS, nous avons développé une solution qui permet de faire un lift-off épais > 50 µm de matériaux magnétiques Nd-Fe-B qui est réalisé par dépôt sputtering entre 500 et 700 °C au laboratoire Néel. A

ces températures et ces épaisseurs il est impossible d'utiliser les résines comme pour les lift-off classiques.

Nous avons mis au point un dépôt de Cu épais résistant à ces températures qui fera office de couche sacrificielle et une solution de gravure de cuivre sélective au Nd-Fe-B pour réaliser le lift-off de la couche magnétique.



Les premiers résultats ont été au-delà des espérances car jusqu'à présent il était impossible de déposer ce matériau sans shadow masque et avec des tailles sub millimétriques.



Avec cette méthode nous avons même réussi à déposer des aimants à l'état unique et avec des dimensions d'une vingtaine de μm. Ces premiers résultats ont besoin d'être consolidés mais ils constituent déjà une très bonne base pour nous permettre la réalisation du récupérateur d'énergie dans le cadre du projet ANR Pomade

### Epitaxie par jets moléculaires

#### Mise au point de la croissance du BiSb sur GaAs (111) (projet P-18-02694 - Nanoscale BiSb topological Insulator)

Ce travail a été mené en 2021 par Dima Sadek et son directeur de thèse, Sébastien Plissard. Il s'agit de réaliser la croissance de  $\text{Bi}_x\text{Sb}_{1-x}$  dont la stœchiométrie est maîtrisée afin d'obtenir des propriétés originales : des isolants topologiques. Il a donné lieu à une publication ([Integration of the Rhombohedral BiSb \(0001\) Topological Insulator on a Cubic GaAs \(001\) Substrate](#); D Sadek et al. ; ACS Applied Materials & Interfaces 13 (30), 36492-36498 ; <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03407922/document>).

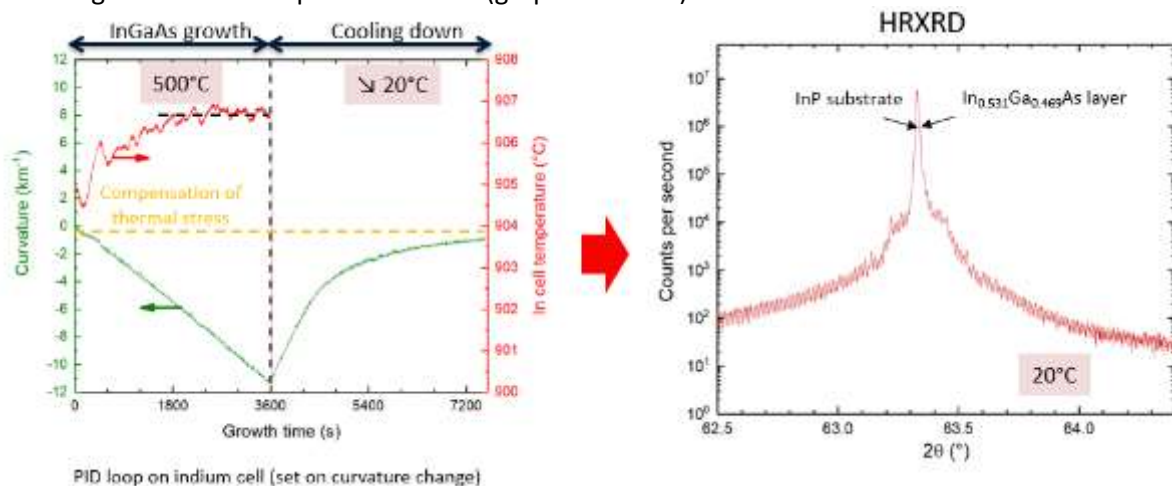
#### Accord automatique du paramètre de maille d'un alliage en croissance (IG)

Le paramètre de maille d'un alliage dépend directement de sa stœchiométrie. L'outil de suivi de la courbure développé dans la zone et transféré à Riber (EZ-CURVE) permet de suivre la courbure, et donc la contrainte dans les films en cours de croissance.



Un nouveau développement consiste à utiliser cette mesure in situ et en temps réel de la courbure pour contrôler automatiquement le désaccord de maille via la mesure de courbure en asservissant directement la température d'une cellule d'effusion de l'un des constituants de l'alliage grâce à une boucle PID. L'outil de mesure de courbure doit pour cela communiquer directement avec le logiciel de contrôle de la chambre de croissance.

Dans l'exemple donné dans la figure suivante, une couche d'InGaAs a été réalisée en asservissant la température de la cellule d'In (en rouge, graph de gauche) afin que la variation de courbure (en vert, graph de gauche) lors de la croissance s'équilibre parfaitement avec la variation de courbure due au refroidissement du substrat après croissance, qui est quant à elle due à la différence des coefficients de dilatation thermique de la couche et du substrat. Ainsi, un accord de maille parfait, à la température ambiante, entre le film et le substrat est atteint, comme l'atteste le diffractogramme réalisé après croissance (graph de droite).



PID loop on indium cell (set on curvature change)

Accord de maille automatique, en croissance, d'un film d'InGaAs sur InP. A gauche, la variation de courbure mesurée in situ pendant la croissance et le refroidissement à la température ambiante (vert), et la température de la cellule d'In asservie à la variation de courbure via une boucle PID. A droite, la mesure en HRXRD montrant un accord de maille parfait entre le film d'InGaAs et le substrat d'InP à la température ambiante.

Cette technique a été mise à profit avec succès pour le contrôle de la quantité d'azote dans les alliages de GaInAsN en accord de maille sur le GaAs, pour les cellules solaires (thèse de M. Levillayer).

### **Développement d'un banc de cartographie d'épaisseur d'un film mince sur toute la surface d'un substrat 100 mm par colorimétrie (IG)**

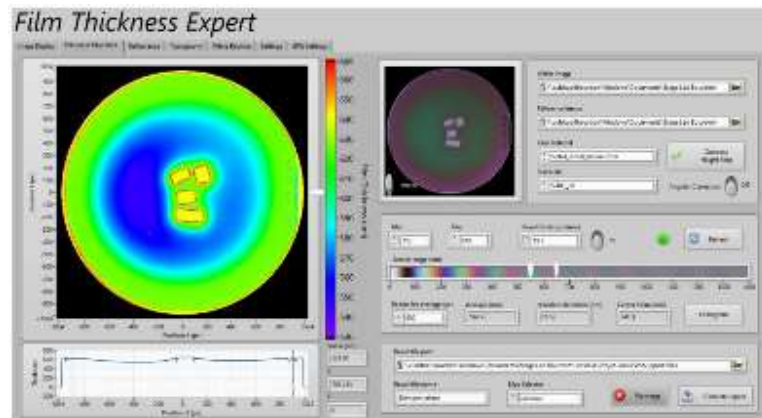
La couleur d'un film mince permet d'en déterminer l'épaisseur. Il faut cependant connaître les indices du film et du substrat, et surtout maîtriser parfaitement l'éclairage. Si on veut réaliser une cartographie d'épaisseur, l'éclairage devra être maîtrisé en chaque point de mesure. Pour contourner ce problème, on mesure classiquement le spectre de réflectivité point par point, dont on déduit des épaisseurs, avec une tête optique qui balaye la surface. On peut aussi réaliser des mesures de réflectivité X ou d'ellipsométrie points à points. La cartographie est donc longue et peu résolue spatialement.

Une technique originale développée en interne, permet cependant de s'affranchir de la maîtrise parfaite de l'éclairage, et propose d'utiliser une caméra pour déduire sur chaque pixel de l'image acquise l'épaisseur du film mince. Une cartographie complète est ainsi obtenue avec la prise d'une seule image.

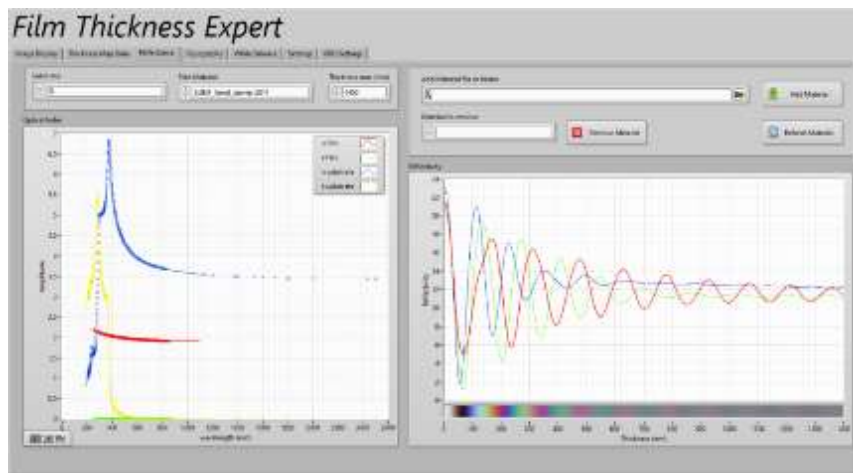
Nous avons accueilli un stagiaire INSA (4<sup>ème</sup> année), Léo Bourdon, qui a développé un logiciel exploitant cette technique originale. Ce logiciel calcule les épaisseurs pour chaque pixel en s'appuyant sur un GPU (Graphics Processing Unit), permettant une restitution complète en ~100 ms pour une image de 4 MP.

La résolution obtenue est meilleure que le nanomètre en épaisseur, et de l'ordre de 40  $\mu\text{m}$  latéralement sur un substrat 100 mm (dépendant du capteur de la caméra et de son champ de vision). La technique a aussi été testée avec succès dans un microscope optique, ce qui permet d'améliorer grandement la résolution latérale.

Une base de données évolutive des indices optiques a été implémentée dans le logiciel. Elle permet en outre de charger directement les fichiers d'indices générés par l'ellipsomètre spectroscopique de la salle blanche du LAAS (Jobin Yvon UVISEL).



Interface du logiciel développé par L. Bourdon (Stage INSA). A gauche, la cartographie d'épaisseurs déduite directement de l'image couleur (au centre), s'appuyant sur la carte de couleurs calculée en fonction des indices du film mince et du substrat.



Calcul de la réflectivité et de la table des couleurs en fonction des indices et de l'épaisseur du film mince.

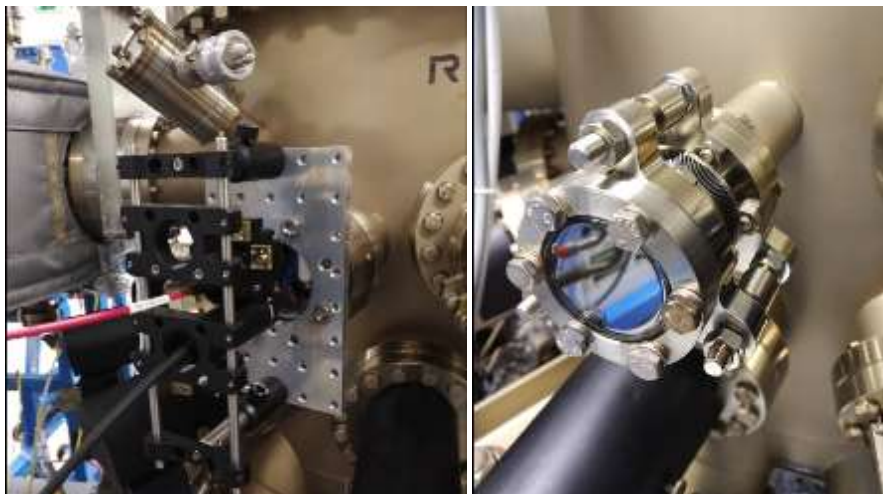
La limite de la technique réside dans les grandes épaisseurs de films minces (typ.  $> 1,2 \mu\text{m}$  pour le  $\text{SiO}_2$  ou le  $\text{Si}_3\text{N}_4$  sur Si) pour lesquelles leur couleur ne varie plus assez avec l'épaisseur du film pour pouvoir permettre sa mesure.

### **Mesure de flux par absorption atomique - double passage (IG)**

L'outil de mesure de flux par absorption atomique développé dans la zone EJM souffre d'une trop faible sensibilité pour pouvoir donner des informations permettant un rétro contrôle des cellules d'effusion. Afin de gagner un facteur deux sur cette sensibilité, nous avons mis en œuvre un double passage de la lumière absorbée par les flux grâce à un miroir de renvoi. Afin d'éviter les multiples réflexions parasites sur les hublots, nous avons testé une astuce qui consiste à laisser se métalliser un hublot. Monté sur un soufflet UHV, ce dernier permet de réfléchir la lumière sans ajouter d'interfaces supplémentaires sur le trajet lumineux.

Nous avons développé une nouvelle tête optique orientable et utilisé un hublot chauffant ayant une ouverture de 50 mm pour l'injection et la collecte de lumière.

Les résultats obtenus confortent cette stratégie. Avec le spectromètre utilisé, on passe d'un bruit de l'ordre de  $\sim 12\%$  de la mesure (aller simple) à  $\sim 6\%$  (aller/retour), conformément à la loi de Beer-Lambert. Nous avons réalisé des tests avec un spectromètre de plus grande sensibilité, prêté par le fabricant, qui permet d'atteindre  $1\%$  de sensibilité en aller simple. On devrait donc avoir un bruit de l'ordre de  $0.5\%$  de la mesure du flux avec un tel spectromètre, ce qui permettrait d'atteindre un niveau de sensibilité compatible avec un rétrocontrôle du flux pendant les croissances.



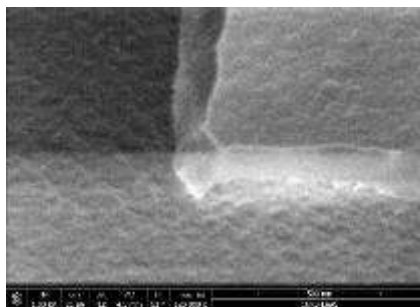
Gauche : tête optique d'injection/collecte de la lumière absorbée. Droite : hublot métallisé sur sa face interne, monté sur soufflet orientable pour le renvoi de la lumière - montage sur MBE412

## Gravure plasma

### *Optimisation de procédés de gravure dans l'équipement SI500 chlorée :*

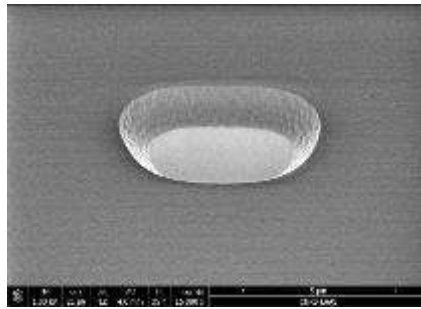
#### **Gravure du Si sélectivement par rapport au SiO<sub>x</sub> (MPN : Dispositifs Bio P-13-00201-a)**

Un procédé a été optimisé pour graver  $120\text{nm}$  de Si de façon isotrope (flanc incliné) en s'arrêtant sélectivement sur  $500\text{nm}$  de SiO<sub>x</sub>, dans le cadre du projet Européen Neureka.



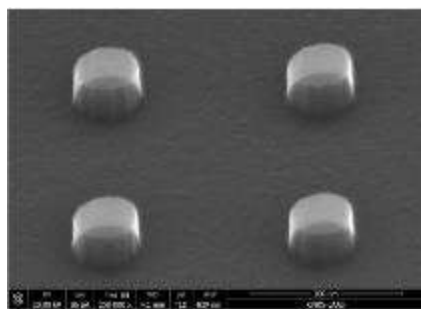
#### **Gravure de vias (MPN : Dispositifs Bio P-13-00201-a)**

Un procédé de gravure a été optimisé pour graver un tri-couche avec des flancs inclinés : SiO<sub>x</sub>/SiN/SiO avec de l'AZ4562 ( $6\mu\text{m}$ ). De plus, un protocole sur le retrait de la résine après gravure a été mis au point (DMSO + Plasma O<sub>2</sub>), pour retirer tous les résidus carbonés dus à la gravure et à la résine.



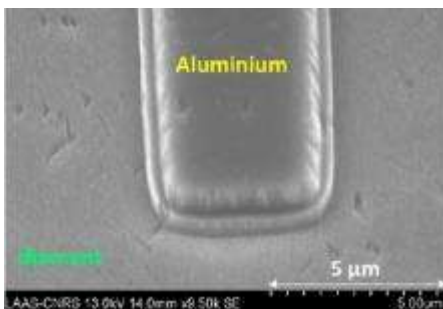
**Gravure de nanofils Si (MPN : Structures NFs top down P-13-00201-b)**

Des tests de gravure de nanofils Si avec un masque en HSQ (100nm) ont été effectués. Une sélectivité de 1 :1 a été obtenue. Une optimisation de ce procédé est nécessaire afin d’obtenir des nanofils à plus haut rapport de forme, de 200nm de haut sur 30 de large.

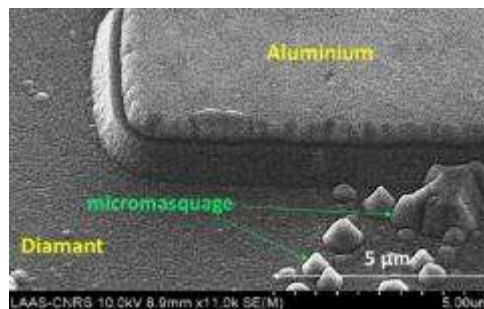


**Gravure du diamant (ISGE : MOVeToDIAM P-17-02302)**

Des tests de gravure de diamant avec de l’Oxygène et un masque en Al (700nm) ont été réalisés. Des gravures avec une vitesse d’attaque très faible (8nm/min) et une faible rugosité de surface ont été obtenues pour une puissance ICP de 500W et une puissance de polarisation de 5W. Des vitesses de gravure plus élevées, de l’ordre de 4µm/h, ont été obtenues pour une puissance de polarisation de 35W, sans apparition de trenching. Cependant il est à noter un phénomène de micromasquage non négligeable, lié au redépôt du masque en Al.



5 W de polarisation : 500nm en 1h

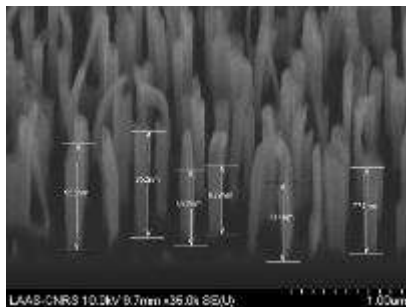


35W de polarisation : 1µm en 15min

***Optimisation de procédés de gravure dans l’équipement Alcatel P1 :***

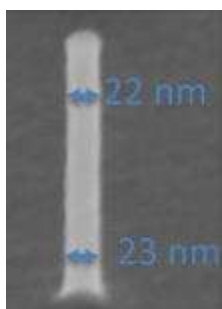
**Black Si (ELIA : EXOBIOLOGIE P-18-02623)**

Suite à des problèmes de reproductibilités de formation du Black Silicon, les paramètres (débits O<sub>2</sub>/SF<sub>6</sub>, puissance Source, puissance Bias) du procédé ont été étudiés pour connaître leur influence sur le résultat de gravure.

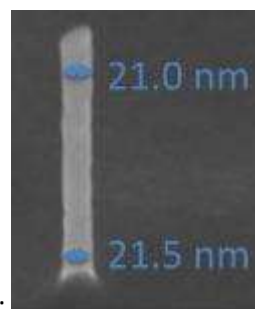


**Gravure de nanofils SiGe (MPN : MundFabab-essai P-20-03114-b)**

Des procédés de gravure ont été développés pour obtenir des nanofils SiGe à haut rapport de forme (H=240nm, Ø=23nm). Dans le cadre du projet Européen Mundfab.



: SiGe 20%

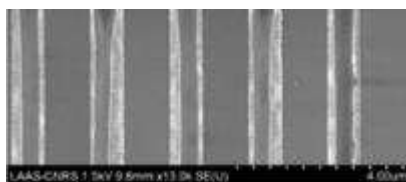


SiGe 50% :

**Optimisation de procédés de gravure dans l'équipement ICP3 :**

**Gravure de couches minces à base de Cu (TEconnectivity : RICell P-19-02791-REN19-11)**

Des tests de gravure à base d'Ar et de Cl<sub>2</sub> ont été effectués pour graver des couches minces à base de Cu (10nm).



Réseau de lignes de 80nm de large définis au Stepper

**Jet d'encre et traitements de surface**

**Réalisations d'antennes RF (optenloc P-19-02783)**

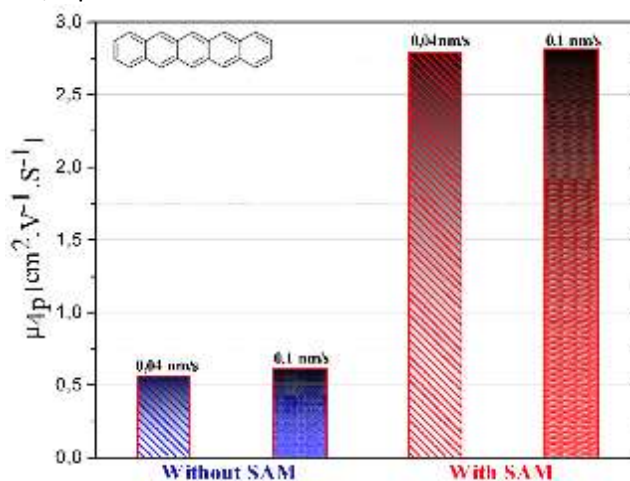




Nous avons mis au point un procédé de dépôt par jet d'encre d'Argent avec recuit par infrarouge afin de réaliser des antennes RF. Les caractéristiques du dépôt sont concluantes en dimension et en résistivité. Les caractéristiques RF seront comparées avec celles d'antennes réalisées par d'autres technologies.

### Dépôts de couches minces d'acènes (MOBInACENE P-20-03290)

Avec l'aide de Mouaad Alliouat, post-doct sur le projet MobInAcene, nous développons le dépôt jet d'encre de molécules synthétisées au CEMES. Nous avons mis au point un procédé de traitement de surface en phase gazeuse spécifique aux molécules à déposer. Nous avons également formulé une encre qui n'est pas toxique tout en ayant une bonne solubilisation des acènes et une bonne homogénéité des dépôts. Le traitement de surface, un greffage de SAM de trichloro(phenethyl)silane, a permis d'améliorer la mobilité dans les OFETs réalisés par PVD.



### Lithographie Laser

#### Procédés d'écriture 3D pour la fabrication de dispositifs de culture cellulaire (projet Cellules en 3D / P-15-01401)

Un nouveau fichier de commandes spécifiques permet de piloter directement le faisceau laser et les mouvements des substrats dans l'équipement Nanoscribe. Cela permet d'avoir une meilleure maîtrise du procédé d'insolation sans utiliser de fichier 3D au format STL. Cette programmation avancée est nécessaire pour la réalisation de larges filets très denses (figure 1).

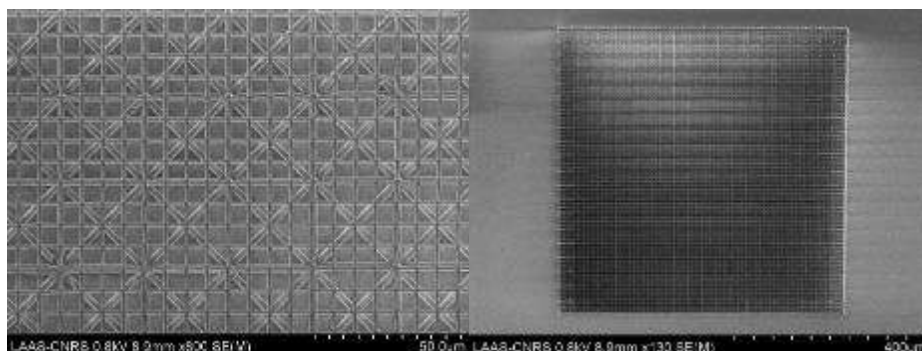


Figure 1: Impression de large filets pour la culture cellulaire, constitués de fibre de diamètre 1  $\mu\text{m}$ , présentant des porosités allant de 2 à 15  $\mu\text{m}$  (Bastien Venzac).

L'adhérence des piliers supportant ces larges filets suspendus sur des substrats a été améliorée en utilisant des couches épaisses de films secs (DF) collés avec l'équipement Nanonex. Cela permet une meilleure accroche des résines Nanoscribe et une dissipation des stress.

Il est aussi possible de fabriquer des structures 3D en séquençant plusieurs insolations lasers avec les équipements DWS, D3D et Photonic Professional. L'équipement Photonic Professional de Nanoscribe intègre un système de vision pour aligner l'écriture laser des motifs 3D les plus résolus (figure 2).

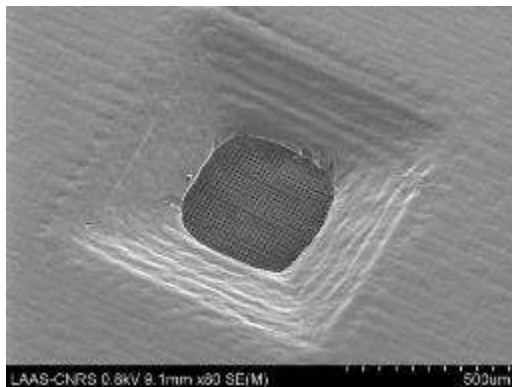


Figure 2: Impression de filets avec l'équipement Nanoscribe dans des cadres imprimés avec la Dilase 3D (Bastien Venzac).

**Procédé de gravure de plots de chrome par spray (projet Dispositifs bio / P-13-00201-a).**

Un procédé de gravure chrome par spray sur wafer 4 pouces a été optimisé avec l'équipement HMP90 pour l'obtention de plots de diamètres 200 - 300 nm. L'uniformité de gravure entre le centre (figure 3) et les bords (figure 4) du substrat 4 pouces est améliorée avec ce procédé de dispense de l'acide.

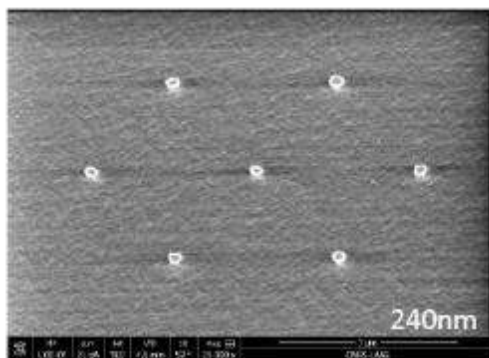


Figure 3: Plots de chrome d'épaisseur 100 nm au centre d'un wafer 4 pouces (Aziliz Lecomte).

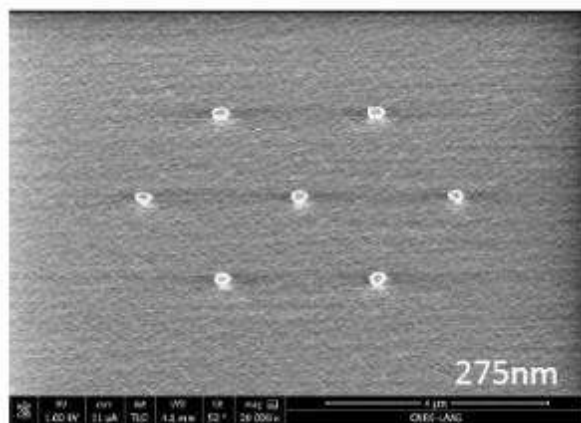


Figure 4: Plots de chrome d'épaisseur 100 nm au bord d'un wafer 4 pouces (Aziliz Lecomte).

### ***Nouvelles résines Nanoscribe (projets MultiFab / P17-02276 – DOCT VCSEL / P-16-01754)***

La résine IP-Visio de Nanoscribe est une résine de type méthacrylate qui est transparente dans la gamme du visible et très peu fluorescente. Des premiers tests de photo polymérisation ont permis de réaliser des microlentilles (figure 5).

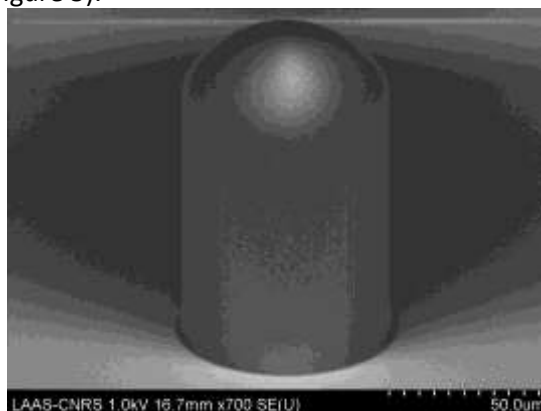


Figure 5: Microlentilles en résine IP-Visio.

La résine IP-PDMS de Nanoscribe est une résine de type acrylate qui se révèle avec de l'isopropanol. Sa dureté est mille fois plus faible que les autres résines proposées par Nanoscribe. Des premiers tests de photo polymérisation ont permis de réaliser une structure 3D (figure 6).



Figure 6: Structure 3D en résine IP-PDMS.

## **Nanolithographies**

### ***Introduction de biopolymères dans les procédés de nano-impression (action IG)***

Dans le cadre de la période d'apprentissage de Clothilde Pera au sein de TEAM, nous souhaitons essayer d'utiliser des polymères biosourcés et/ou biodégradables et/ou bio compatibles dans le développement de nouveaux procédés ou en substitution de polymères dans des procédés existants. L'objectif est de tester des biopolymères qui pourraient remplacer des polymères issus de la pétrochimie, d'utiliser des solvants moins nocifs pour la santé, pour l'environnement et moins coûteux et rendre compatibles certains procédés avec des applications dans le domaine de la santé, de la biologie et de l'environnement.

### ***Procédure de lift-off sur des motifs obtenus par nano-impression :***

Nous avons choisi de tester l'utilisation de l'alcool polyvinylique (PVA) comme sous couche pour développer un procédé de lift-off utilisant notre résine « maison » UV-NIL pour la structuration de la surface par nano-impression.





L'intérêt du PVA : c'est un matériau soluble dans l'eau.

Nous avons préparé la solution de PVA pour obtenir une couche d'épaisseur comprise entre 100nm et 250nm suivant les conditions de dépôt à la tournette. Nous avons montré que la résine UV-NIL se dépose à la tournette sur la couche de PVA et que le procédé de nano-impression sur ce système bicouche donne le même résultat que sur la résine UV-NIL seule en termes de résolution et de reproduction des motifs du moule (motifs les plus petits : 100nm).

Néanmoins, après le procédé de nano-impression, le procédé de gravure sèche de la résine UV-NIL qui permet d'éliminer le fond de motif, ne peut pas être utilisé pour graver aussi le PVA car le PVA se grave moins vite.

Nous cherchons donc à éliminer la sous-couche de PVA de manière humide. L'eau donne une vitesse de gravure trop rapide et ne pourra être utilisée que pour la dernière étape du procédé lift-off.

Nous testons des mélanges eau/acétate d'éthyl/éthanol. Résultats à venir en 2022 !

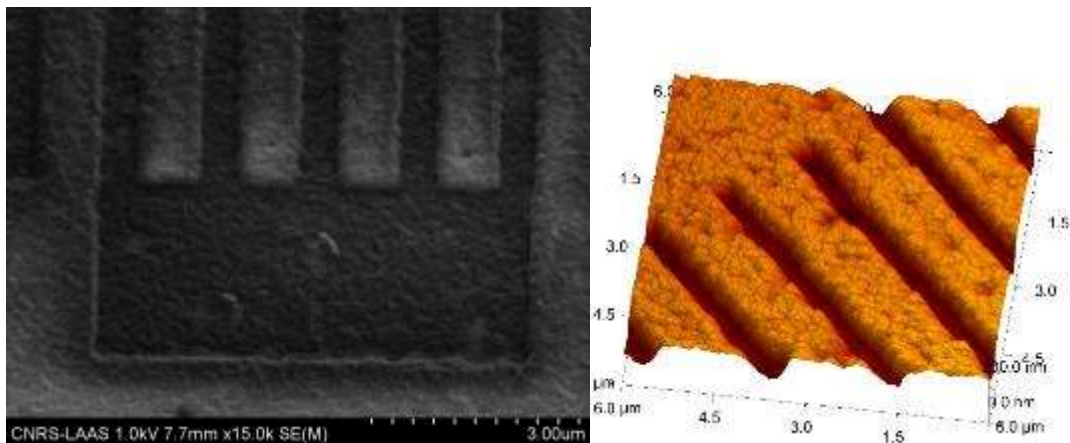
Si nous parvenons à mettre au point un procédé de lift-off avec le PVA dans le contexte de la nano-impression, son utilisation pourrait être envisagé dans d'autres procédés de lithographie.

### **Utilisation du PLLA pour la fabrication de moules souples :**

L'intérêt de l'acide polylactique (PLLA) : il est biosourcé, biodégradable et biocompatible, transparent et avec une  $T_g = 60^\circ\text{C}$ .

Avec le PLLA, nous voulons montrer que nous pouvons structurer aux échelles micro et nanométriques des matériaux directement fonctionnels pour des domaines applicatifs nécessitant biocompatibilité et/ou biodégradabilité.

De plus, ces films de PLLA pourraient être utilisés dans nos procédés standards de nano-impression en remplacement des films de COP (Zeonor), qui n'est ni biosourcé, ni biodégradable, pour fabriquer les moules souples intermédiaires.



Résultats d'impression dans la résine UV-NIL avec moule souple en PLLA

Nous avons montré que nous pouvons répliquer les moules en Si dans le PLLA avec un procédé d'impression à plus faible température que pour le COP.

Après traitement de surface, ce moule en PLLA a été utilisé comme un moule de COP pour reproduire les motifs dans la résine UV-NIL (cf images ci-dessus).

Ce film de PLLA donne lieu à une rugosité de surface plus importante que le film COP. Cette rugosité peut être rédhibitoire dans des applications classiques de la microélectronique, par contre, elle peut tout à fait être compatible avec des applications liées à la biologie.

Nous avons essayé, par différents procédés, d'améliorer la qualité de ces films PLLA achetés chez Goodfellow, sans succès.

Mais, en 2022, en collaboration avec le laboratoire de Chimie Agro-industrielle (LCA) nous avons élaboré nos propres films de PLLA par calandrage à partir de billes de PLLA. L'objectif est d'essayer de fabriquer des films avec moins de défauts pour élargir leur utilisation à la réalisation de structures plus critiques.

### **Méthodologie d'étude de déformations induites par la technologie de nano-impession :**

Les différents travaux de mise au point de procédés de nano-impession pour des filtres optiques nanophotoniques ont permis de mettre en évidence l'existence de déformations à grandes distances des motifs lors de l'utilisation de moules souples. Ces déformations sont actuellement un des points limitant de la technique pour une application dans des procédés à plusieurs niveaux de lithographie. En 2022, dans le cadre d'un stage ingénieur co-encadré par le groupe Photonique et le service TEAM, nous souhaitons mettre en place une méthodologie de quantification des distorsions des motifs induites par le procédé de nano-impession. La méthodologie sera utilisée pour étudier les déformations induites par deux procédés mis au point d'une part au LAAS, et d'autre part au sein de la société NAPA Technologies.

## **Photolithographie**

### **Développement de procédés SU-8 série TF 6000 (IG / LabCom Opale P-21-03387)**

Les résines SU-8 TF 6000.5 et TF 6005 ont remplacé les SU-8 2000.5 et 3005. Les procédés équivalents ont été développés et [sont mis à disposition des utilisateurs](#). Les SU-8 série TF 6000 permettent d'obtenir de meilleurs résultats à haute résolution comparé aux anciennes séries (cf [site fabricant et datasheet](#)).

### **Développement de procédés films secs (IG / Mile P-17-02316)**

En raison de problèmes d'approvisionnement des films DF du fabricant Nagase, nous avons testé des produits similaires : Ordyl, SUEX. Les films SUEX donnent des résultats comparables aux films DF. Ils sont disponibles pour des épaisseurs de 50µm, 100µm, 250µm et 500µm. Nous continuons actuellement les développements dans le cadre d'un stage DUT avec l'équipe Mile.

### **Développement de procédés SU-8 Kemplab**

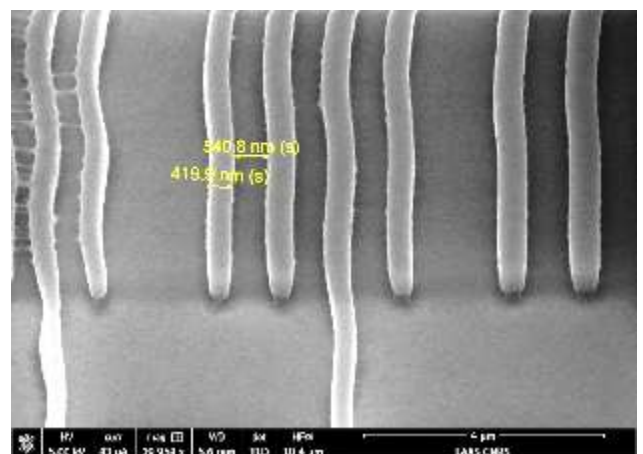
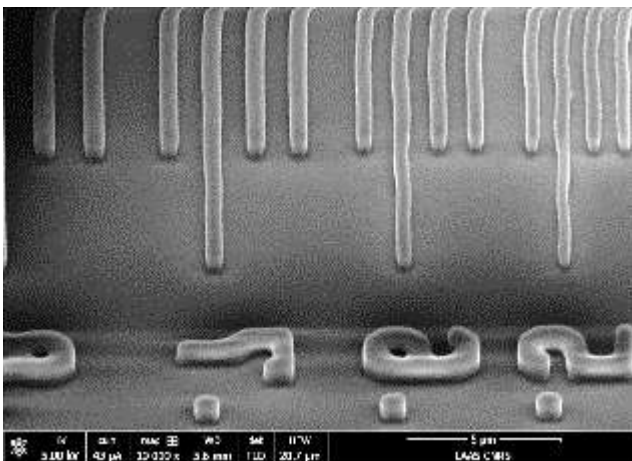


Figure : Motifs de résolution pour la résine Hare SQ 1µm d'épaisseur, résolution 500nm

Nous avons été contactés par un nouveau fournisseur Kemplab pour tester des résines époxy (type SU8). Ces résines Hare SQ présentent des résolutions meilleures que la résine SU8 avec une résolution de 500nm pour une épaisseur de 1µm. Ces résines sont également moins onéreuses et peuvent se commander pour de plus petites quantités (100ml) ce qui nous permettra de réduire nos

coûts et d'avoir une plus grande variété de procédés en épaisseur. Les épaisseurs réalisables vont de 750nm jusqu'à 100µm (avec possibilité de travailler en multi-couches). Les procédés sont en cours de développement.

### ***Vérification et correction des puissances d'exposition sur systèmes LED-UV***

Suite à l'observation d'un vieillissement plus rapide qu'attendu de la source UV-LED sur la MA6 gen4, la vérification des puissances d'exposition et la correction de celles-ci a été mis en place de façon mensuelle.

### **Support**

Afin de soutenir le déploiement de nouvelles compétences l'infrastructure est en perpétuelle évolution.

### ***Rénovation des dalles de support des tankers d'azote (110 k€)***

L'appel d'offre pour le renouvellement de la fourniture d'azote liquide a été l'occasion d'une remise à niveau des dalles de support des tankers.

Cette opération était absolument nécessaire car les dalles étaient hors des normes de sécurité.

Cela nous a permis également de résoudre le problème de glaçage des réchauffeurs. Deux systèmes sont activés alternativement.

La nouvelle dalle côté azote gazeux permet enfin de soutenir une cuve de 55 000l, ce qui réduit les rotations des livraisons.

Le coût élevé s'explique notamment par la nécessité de réaliser une opération spéciale pour assurer la continuité d'approvisionnement en azote du laboratoire pendant la phase de travaux ;



## DEVELOPPEMENTS ENVISAGES EN 2022

### **Assemblage**

#### ***Développement de procédés d'intégration basse température (IG)***

Développement de procédés d'interconnexion basse température utilisant des alliages BiSn ou Indium en atmosphère neutre ou réductrice ainsi que des procédés utilisant la thermosonnie (bump or).

#### ***Développement de procédés avec l'équipement de cisaillement/traction (IG)***

Mise en place de procédés d'étalonnage par pelage visant à caractériser l'adhésion d'une couche métallique sur un support en utilisant des scotchs adaptés.

### **Caractérisation**

#### ***Amélioration caractérisation I(V) (IG)***

Achat de 2 porte-pointes supplémentaires pour pouvoir mesurer directement les TLM (Transmission Line Measurement) et transistors directement en cours de process, ceci permettra

seulement un contrôle en cours de process et ne remplacera pas les besoins de caractérisations électrique fines seulement possibles en caractérisation électriques.

### **Mise en place du microscope optique SNEOX (NANOFUTUR)**

Mise en place du nouveau microscope optique SNEOX de chez SensoFar combinant les techniques interférométrique, confocal et de variation de focus. Cet équipement permettra de remplacer le Wyko (microscope interférométrique) et proposera plus de techniques d'analyse, une meilleure résolution (surtout au niveau dynamique et limite de bruit) et un gain de temps avec un plus grand nombre d'objectif. Présentation prévue après son installation.



Figure 3: SNEOX de chez Sensofar

### **Mise en place de l'ellipsomètre résolu spatialement Nanofilm\_ep4 (CPER)**

Un nouvel ellipsomètre de chez Accurion arrivera cette année, il aura la particularité d'être résolu spatialement (mesure sur des spot de l'ordre du micron). Cela permettra la cartographie fine en indice et en épaisseur.



Figure 4: Nanofilm ep4 de chez Accurion

## **Chimie**

### **Mise au point et standardisation des conditions permettant les structurations de métaux (gravures humides, lift-off) (action IG Développements de procédés en chimie P-22-03767)**

#### **Lift-off :**

- Préciser les conditions d'optimisation de lift-off sur les structures au limites de la résolution de la photolithographie (intérêt de la NMP)
  - Tester les lift-off de métaux par DMSO en spray sur l'équipement HAMATECH

#### **Gravures humides :**

- Compléter les conditions de gravure du cuivre > 30  $\mu\text{m}$  déjà réalisées sur téflon pour d'autres supports (KAPTON 200  $\mu\text{m}$ ).
- Finaliser les tests réalisés sur la gravure du cuivre pour les couches allant de quelques dizaines à quelques centaines de nm.
- Etudier la gravure de  $\text{Si}_3\text{N}_4$  par acide phosphorique chaud
- Compléter les tests de gravure du chrome sur l'équipement HAMATECH pour les fortes résolutions
- Tester la gravure d'autres métaux sur l'équipement HAMATECH (Au, Al)

#### Délaquages et nettoyages :

Standardiser / optimiser les conditions de délaquages classiques / spécifiques (ex. : post gravure ou traitement de surface)

#### **Mise au point de couches et résines biocompatibles, biodégradables, ou biosourcées (IG)**

Il s'agit d'utiliser des polymères simplement biocompatibles (alcool polyvinylique comme sous couches pour lift-off) ou également bio sourcés et/ou biodégradables (films d'acides polylactique comme moules secondaires en nanoimpression). Ce travail se fait en relation avec la zone nanolithographies et le travail de Clothilde Pera

#### **Synthèse de molécules pour la constitution de nouveau matériau ionosensible (projet)**

Synthèse multi-étapes d'un aza-éther-couronne (ionophore) :

Ce travail commencé en 2020 est resté en pause en 2021 en attente du financement d'un projet associé. En 2022 le projet devrait démarrer et il faudra préparer ce composé en plus large quantité et le purifier. Ensuite il faudra l'intégrer sous forme de couche ionosensibles sélective du mercure dans des capteurs et en tester les performances.

#### **CVD**

#### **Remise en route de l'équipement LPCVD four vertical REVE (IG)**

E.Imbernon et P.Dubreuil, avec l'aide de E.Scheid, redémarreront ce four et seront formés à son utilisation.

#### **Mise en œuvre d'un outil de suivi en temps réel des dépôts CCPECVD (IG)**

En 2021, grâce à un financement RTB nous avons fait réaliser à la société Application Système la mise en place de deux hublots plus grands pour pouvoir installer un système optique analogue à celui développé en EJM. Il permettrait le suivi optique de la courbure en temps réel du matériau lors du dépôt, grâce à la mesure du grandissement de l'image virtuelle d'un objet lumineux. Ce travail sera fait conjointement avec A.Arnoult (zone EJM).

#### **Développement de matériaux antireflets dans ICPECVD (RESON / P-20-03058, DIMENSION / P-19-02966)**

Il s'agira d'exploiter les développements faits depuis 2 ans dans CCPECVD, sur les dépôts de  $\text{SiN}_x$  :H et  $\text{SiO}_x\text{N}_y$  :H, avec le suivi optique in-situ développé pour cet équipement. L'objectif est de réaliser des structures multi matériaux déposés dans ICPECVD avec des indices de réfraction différents pour réaliser des matériaux antireflets et des filtres.

#### **Traitements de surface in-situ pour le dépôt $\text{HfO}_2$ par ALD (MUNDFAB / P-20-03114a)**

Il s'agira d'exploiter les résultats obtenus pour l'amélioration du dépôt  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pour le dépôt  $\text{HfO}_2$  sur Silicium. Ces traitements de surface in-situ pré-dépôt  $\text{HfO}_2$  ont pour but d'éviter l'oxydation catalytique du Silicium par le précurseur d'Hafnium. Sans ces traitements, il a été constaté la croissance d'un  $\text{SiO}_2$  de 1.5nm à l'interface entre Si/ $\text{HfO}_2$ , très préjudiciable à l'obtention d'un isolant de forte permittivité.

#### **Dépôts $\text{Al}_2\text{O}_3$ , $\text{SiN}_x$ , $\text{SiO}_x$ sur Ag (AQUATERS / P-21-03397)**

Il s'agira de déposer des matériaux isolants (<10nm) sur des pointes de type AFM en argent, pour réaliser par spectroscopie Raman exaltée par effet de pointe (TERS) à l'ISM de l'imagerie structurale et morphologique d'agrégats biologiques en milieu liquide et à l'échelle nanométrique (<10 nm).

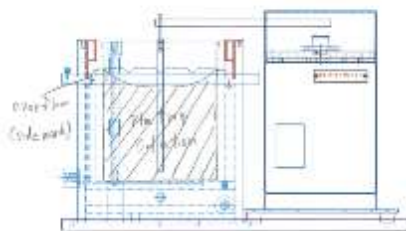
## Dépôts sous vide

### TFE

Nous envisageons de tirer parti des propriétés de base du WO<sub>3</sub> (conductivité plus faible et diffusion d'O<sub>2</sub> plus élevée) pour concevoir des thermites avec une initiation plus faible

## Dépôts électrolytiques

### Quatrième génération de machine Yamamoto pour le cuivre (Société Yamamoto & action IG Développement électrochimie P-14-00971)



Dans le cadre de la collaboration que nous avons avec la société Yamamoto Elle va nous fournir un nouveau réacteur de 4<sup>ème</sup> génération que nous allons dédier au cuivre afin de faire bénéficier à ce dépôt des bons résultats obtenus grâce à cette géométrie. Nous espérons pouvoir améliorer nettement la qualité et la vitesse de ce dépôt.

### Cuivre rapide (action IG Développement électrochimie P-14-00971)

Des nouvelles chimies de cuivre rapide seront testées afin d'améliorer la vitesse de dépôt du cuivre qui est son point faible (0.27  $\mu\text{m}/\text{min}$  contre 8  $\mu\text{m}/\text{min}$ ). Il faudra développer de nouveaux procédés pour s'assurer que nous gardions à minima la même qualité de dépôt, homogénéité et taux de remplissage des structures à très haut rapport de forme.

### Dorure des pièces libérées (Société Yamamoto & action IG Développement électrochimie P-14-00971)

Dans le cadre de la collaboration avec la société Yamamoto nous avons reçu un équipement qui nous permet de dorer en 3D simultanément les pièces métalliques déjà libérées. Ainsi nos micros pièces de nickel pourront être bio compatibles à long terme et protégées de la corrosion.



## Epitaxie par jets moléculaires

### *Laboratoire commun LAAS-RIBER : EPICENTRE*

Nous avons démarré en juin 2021 un laboratoire commun avec la société RIBER, fabriquant de systèmes MBE. RIBER va mettre à disposition du LAAS un système d'épitaxie composé de

- Deux chambres de croissances
- Une chambre de préparation
- Un load-lock
- Une chambre de parking
- Un automate cluster UHV central qui dessert toutes les chambres

La chambre de croissance C21DZ sera instrumentée et permettra de travailler à l'automatisation des croissances. La chambre de croissance cryogénique permettra la croissance de supraconducteurs dont la qualité cristalline nécessite d'être élaborés à très basses températures. Cette chambre cryogénique sera un prototype issu de la collaboration Riber LAAS-CNRS, avec des performances attendues au-delà de l'état de l'art actuel.

Deux programmes scientifiques vont être menés en parallèle sur ce système :

- Croissance de structures III-V complexes à l'aide d'instruments de suivi in-situ et automatisation d'étapes clef de ces croissances
- Croissance d'isolants topologique et de supraconducteurs afin de réaliser des structures hybrides pour l'information quantique ou l'électronique de spin.

L'ensemble sera livré au LAAS et installé dans la salle blanche en deux temps : le cluster et la chambre C21DZ en juin 2022, et la chambre cryogénique en décembre 2022.

## Gravure plasma

### *Optimisation de la gravure du verre dans l'équipement SI500 fluoré (IG)*

Nous avons rencontré des problèmes de reproductibilité et de rugosité lors des gravures de la silice fondue. Le conditionnement du réacteur et les paramètres gravure devront être étudiés.

### *Optimisation des procédés de gravure du nouvel équipement SI500 fluoré (IG)*

Les procédés de gravures DRIE de Si doivent être vérifiés et optimisés dans le nouvel équipement Sentech.

### *Mise en place des procédés sur le Plasma Cleaner TERGEO (IG)*

L'équipement TERGEO est utilisé depuis quelques mois pour des traitements de surface et retrait de résidus de résine. Il va falloir mettre au point quelques procédés standards.

### *Finir le rétrofit de l'équipement TEGAL (IG)*

L'équipement TEGAL est en cours de rétrofit, dès que le mode automatique sera opérationnel, il faudra calibrer les procédés.

### *Optimisation de la gravure de l'AlGaIn (ISGE)*

La gravure de l'AlGaIn va continuer à être optimisée dans le nouvel équipement Sentech (SI500 fluorée).

### *Optimisation de la gravure du diamant (ISGE)*

L'objectif est de graver du diamant dans une gamme allant de quelques dizaines de nanomètre à quelques micromètres, en limitant le trenching et la rugosité de surface.

## Jet d'encre et traitements de surface

### *Dépôt de couches minces d'acène (MOBInACENE P-20-03290)*

Dans la continuité de 2021 nous allons améliorer le dépôt de couche mince d'acènes.

Le traitement de surface développé en 2021 sur le projet MobInAcene en dessiccateur est transféré sur la plaque chauffante sous vide arrivée fin 2021. Nous allons développer le greffage d'une SAM équivalente sur les électrodes en Or afin d'obtenir une bonne homogénéité d'énergie superficielle sur le transistor pour les dépôts jet d'encre.

La formulation de l'encre a permis en 2021 d'obtenir des couches continues et homogènes d'environ 50nm entre les électrodes. Cependant la mobilité des porteurs de charge est encore faible, nous allons travailler sur la formulation de l'encre pour augmenter la taille des grains dans la couche et ainsi la mobilité des porteurs de charge.

### *Traitement de surface sur le Nanonex Ultra-100 (IG)*

Après réparation de l'équipement par une entreprise spécialisée, nous envisageons de développer le greffage de SAM de GPTMS. Cette molécule est utilisée comme promoteur d'adhérence pour les films epoxy. Actuellement le traitement est effectué en spin coating, le produit périmente et il est difficile de le caractériser. Un traitement en phase vapeur sera plus reproductible et ainsi plus facile à caractériser.

### *Traitement hydrophile (PEG) dans le SPD (IG)*

Une nouvelle molécule moins réactive a été mise en place dans le SPD, les premiers résultats sont encourageants, nous allons poursuivre nos développements sur ce procédé. Une attention particulière est portée sur la contamination croisée entre les deux molécules. Une fois le procédé mis au point une procédure de nettoyage ou l'organisation de campagne de traitement sera organisée en fonction de la demande.

## Lithographie Laser

### *Installation du module GT+ Nanoscribe (projet MultiFab / P17-02276)*

L'installation du module GT+ permettra le développement de nouveaux procédés. L'évolution de ce système version GT vers la version GT+ permettra de traiter des nouveaux formats d'échantillons et de fabriquer des structures complexes haute résolution en 3D quatre fois plus volumineuses. La limite en volume des objets 3D réalisables passera de 25 à 100 mm<sup>3</sup>. La limite en hauteur des objets 3D passera de 3 à 8 mm.

## Nanolithographies

Poursuite des développements conduits en 2021.

## Photolithographie

### *Développement de procédés SU-8 uniforme sur Tournette « 2 » Obducat*

La tournette Obducat arrivée en 2018 permet d'améliorer l'uniformité des dépôts et de pouvoir faire des enductions à basse vitesse de rotation. La réalisation des dépôts de SU-8 forte épaisseurs (>100µm) sur cette tournette permettrait d'améliorer l'uniformité mais aussi les temps de réalisation (dépôt en une seule enduction contre dépôt multi-couches).



## Traitements thermiques et implantation ionique

### *Réalisation d'un oxyde thermique humide de 10 nm dans les fours Centrotherm (projet DotPix/P-18-02409)*

Ce développement entre dans le cadre d'un projet de réalisation de détecteur de pixel où nous allons réaliser une oxydation thermique humide d'une épaisseur de 10nm. Cet oxyde humide sera ensuite durci par irradiation X à l'extérieur du LAAS.

### *Recensement des caractéristiques des oxydes réalisés par oxydation thermique (IG)*

Dans le cadre du recensement des matériaux présents en salle blanche, nous allons caractériser les propriétés optiques (indice de réfraction), mécaniques (contraintes) et électriques (constante diélectrique, tension de claquage) des oxydes réalisés dans nos équipements d'oxydation thermique. Ces résultats seront recensés dans un tableau et accessibles par MyFab.

## Support

### *Optimisation énergétique de la salle blanche (1.33 M€)*

Dans le cadre du plan de relance post covid 2019 des travaux d'envergure seront réalisés en 2022.

### **Rénovation de la production d'eau chaude et d'eau glacée de la salle blanche et récupération de chaleur fatale (2021-2022)**

Permet de réduire les consommations énergétiques par :

- Le remplacement des équipements de production d'eau glacée et d'eau chaude vétustes par des équipements de nouvelle génération,
- La rénovation des réseaux pour une meilleure régulation des deux réseaux tertiaire et salle blanche.

### **Extension de la supervision des systèmes annexes**

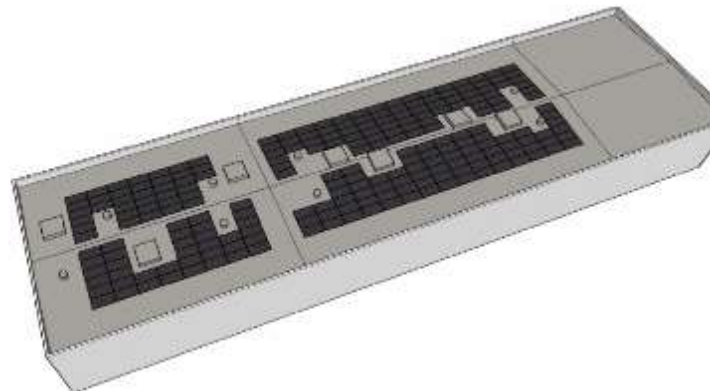
Permet le suivi des installation annexes nécessaires au fonctionnement de la salle blanche (production d'eau déionisée, boucles de refroidissement des machines, production d'air sec, compresseurs, ...) ; afin d'en assurer un fonctionnement optimal en fonction des besoins.

### **Remplacement des luminaires salle blanche par luminaires à LED**

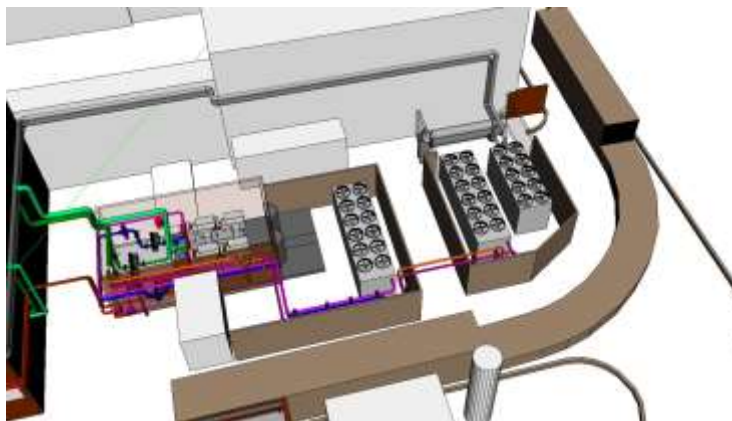
Permet de réduire la consommation électrique liée à l'éclairage.

### **Installation de production photovoltaïque en toiture et façade de la salle blanche**

Permet une production électrique photovoltaïque qui auto alimentera la partie tertiaire ou sera restituée au réseau lors d'éventuelle surproduction.



Principe d'implantation de la production photovoltaïque sur le toit de la salle blanche



Vue d'ensemble des installations de production de froid

## CALIBRATIONS

De nombreuses calibrations sont réalisées régulièrement, d'autres sont envisagées.

Toutefois il convient d'insister que ces seules calibrations ne peuvent suffire à prévenir les dérives des procédés ; dont tout le poids ne peut reposer sur les seuls membres du service TEAM

Ainsi il est important de rappeler que le suivi des activités ne sera que meilleur quand le retour par les utilisateurs de leurs résultats vers les personnels des zones sera systématique. Ce qui est encore loin d'être le cas.

Au 1<sup>er</sup> janvier 2020 nous avons configuré l'application Myfab afin que chaque utilisateur soit conduit à noter systématiquement la réalité des opérations réalisées. L'application permet de bloquer les réservations si les renseignements ne sont pas notés sous une semaine. Agir ainsi, couplé à la possibilité de facturer à travers MyFab, a permis la suppression des fiches de processus. Il s'agit donc d'une simplification (un seul support) et d'une démarche d'amélioration quant au suivi des procédés. Les paragraphes suivants listent zone par zone les calibrations conduites et où l'on peut consulter les résultats.

### Assemblage

#### Existantes

| Objectif                                  | Nature de l'action conduite   | Fréquence  | Où trouver les résultats ?               |
|---|---|--|--|
| 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 | Fichier spécifique affiché sur le bureau |
| Qualification du report par wafer bonding | Réglage du parallélisme des plateaux et de la force appliquée                                   | A chaque changement de plateau                                       | Fichier spécifique affiché sur le bureau |
| Qualification soudure anodique bonding    | Validation d'un scellement anodique   | 1 fois par semestre  | Fichier spécifique affiché sur le bureau |

|                                 |  |  |  |
|---------------------------------|--|--|--|
| Qualification de la découpe     | Réglage de la hauteur, et de l'épaisseur de la lame  | A chaque changement de lame et tous les 50 traits de découpe | Pas d'affichage possible                 |
| Qualification de la sérigraphie | Mesure en épaisseur, largeur et longueur de dépôt sérigraphiés suivant un masque et une carte témoin | Avant chaque dépôt   | Fichier spécifique affiché sur le bureau |

## Caractérisation

### Existantes

| Objectif   | Nature de l'action conduite   | Où trouver les résultats ?                            |
|--|---|---|
| Vérification de calibration AFM Icon               | Mesure étalon en XYZ, vérification des côtes et de la linéarité du piezo  | <a href="#">MyFab onglet document de l'équipement</a> |
| Vérification de calibration Tencor P17 et P16+     | Mesure étalon en XZ, vérification des côtes et de l'alignement de la pointe, calibration automatique de la force    | <a href="#">MyFab onglet document de l'équipement</a> |
| Vérification de calibration résistivimètre         | Mesure et vérification de résistance carrée par rapport à un étalon en or   | <a href="#">MyFab onglet document de l'équipement</a> |
| Vérification de calibration Ellipsomètre           | Vérification des zéros des polariseurs, de l'intensité de la lampe et mesure de l'étalon en SiO <sub>2</sub> sur Si | <a href="#">MyFab onglet document de l'équipement</a> |
| Vérification de calibration Profilomètres optiques | Vérification des mesures de l'étalon Z  | <a href="#">MyFab onglet document de l'équipement</a> |
| Vérification de calibration Balance                | Mesure des poids étalons  | <a href="#">MyFab onglet document de l'équipement</a> |
| Calibration DSC                                    | Mesure des métaux étalons puis report des informations dans le soft   | <a href="#">MyFab onglet document de l'équipement</a> |

### A mettre en place

| Objectif                | Nature de l'action conduite       | Année mise en place |
|-------------------------|-----------------------------------|---------------------|
| Vérification XY sur MEB | Utilisation de l'étalon MicroChip | 2022 (en cours)     |

## Chimie

### Existantes

| Objectif                           | Nature de l'action conduite  | Où trouver les résultats ?               |
|------------------------------------|--|--|
| Assurer la sécurité Des opérateurs | Actionnement mensuel douche de sécurité et rince œil (vérification fonctionnalité) | Intervention en cas de dysfonctionnement |

Assurer la sécurité  
Des opérateurs

Contrôle par société Cleanair des conformités des débits d'extraction avec les données de qualification

Affichés sur les équipements

## CVD

### Existantes

| Objectif                         | Nature de l'action conduite   | Où trouver les résultats ?      |
|----------------------------------|---|---------------------------------|
| Qualification procédés de dépôts | Dépôt générique SiO <sub>2</sub> , Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> par LPCVD (1an) : Epaisseur et indice         | Affiches à côté de l'équipement |
| Qualification procédés de dépôts | Dépôt générique SiO <sub>x</sub> , SiN <sub>x</sub> , a-Si par CCEPCVD et ICPECVD (6mois) : Epaisseur et indice |                                 |
| Qualification procédés de dépôts | Dépôt générique Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> par (PE)ALD MOS (6mois) : Epaisseur et indice                    |                                 |

### A mettre en place

| Objectif                         | Nature de l'action conduite  | Année mise en place |
|----------------------------------|--|---------------------|
| Qualification procédés de dépôts | Suivi optique ICPECVD dépôts SiN <sub>x</sub> , SiO <sub>x</sub> , SiO <sub>x</sub> N <sub>y</sub> (3mois) : Epaisseur et indice | 2022                |
| Notice d'utilisation             | 1 protocole pour ICPECVD   | 2022                |

## Dépôts sous vide

### Existantes

| Objectif  | Nature de l'action conduite                 | Fréquence                         | Où les résultats sont-ils disponibles   |
|---|---|-----------------------------------|---|
| Qualification de couches métalliques (Sur l'ensemble des équipements de la zone)                                    | Mesure de marches au profilomètre           | 1 fois tous les 15 jours          | <a href="http://lims.laas.fr/team/PVD/SuiviCalibrationPVD.xlsx">http://lims.laas.fr/team/PVD/SuiviCalibrationPVD.xlsx</a> |
| Qualification de couches métalliques CuO et TiO <sub>2</sub> sur TFE  | Analyse XRR                                 | A chaque changement de cibles     | <a href="http://lims.laas.fr/team/PVD/SuiviCalibrationPVD.xlsx">http://lims.laas.fr/team/PVD/SuiviCalibrationPVD.xlsx</a> |
| Décontamination enceinte de dépôts métalliques (Sur l'ensemble des équipements de la zone)                          | Nettoyage mécanique et chimique             | 2 fois par an                     | Pas disponible  |
| Analyse du dégazage des nouveaux matériaux avant introduction dans un bâti sous vide (dans la zone et autres zones) | Dégazage sous vide et spectroscopie des gaz | A l'arrivée d'un nouveau matériau | Remis au demandeur  |

## Dépôts électrolytiques

### Existantes

| Objectif  | Nature de l'action conduite  | Où trouver les résultats ? |
|---|--|----------------------------|
| Mesure des concentrations d'additifs dans tous les bains  | Mesure CVS et Titration<br><b>Cu/Au/Ni Rena &amp; Ni /Cu/ Cu high speed Yamamoto</b> | Personnels zone            |
| Mesure des concentrations d'ions métalliques              | Mesure AAS et Titration<br><b>Cu/Au/Ni Rena &amp; Ni /Cu/ Cu high speed Yamamoto</b> | Personnels zone            |
| Mesure Homogénéité, contrainte pleine plaque, résistivité | Mesure Tencor 10 points+ contrainte<br><b>Cu/Au/Ni Rena &amp; Ni /Cu/ Yamamoto</b>   | Myfab                      |

Lien Myfab pour les mesures de calibration :

<https://lims.laas.fr/Team/Electrochimie/CalibrationBains.xlsm>

### A mettre en place

| Objectif                                     | Nature de l'action conduite         | Année mise en place |
|--|-------------------------------------|---------------------|
| Mesure des concentrations d'additifs         | Titration & Spectromètre UV bain Au | 2022                |
| Mesure des concentrations d'ions métalliques | Spectromètre UV Bain Au             | 2022                |

## Epitaxie par jets moléculaires

### Existantes

| Objectif   | Nature de l'action conduite   | Où trouver les résultats ?          |
|--|---|-------------------------------------|
| Calibration du dopage N (Si) ou P (C)                  | Réaliser des couches de GaAs dopées uniformément en croissance (typ. 1µm)       | Fichier Excel dans le PC « MBE412 » |
| Niveau de dopage résiduel                              | Croissance d'une couche de 10µm de GaAs non dopée, et mesure par effet Hall VdP | Fichier Excel dans le PC « MBE412 » |
| Calibrations des épaisseurs et compositions d'alliages | Croissance de structures test – mesures RX ou PL                                | Fichier Excel dans le PC « MBE412 » |
| Densité de défauts                                     | Couche de GaAs de 1µm   | Fichier Excel dans le PC « MBE412 » |

### A mettre en place

| Objectif  | Nature de l'action conduite                 | Année mise en place |
|---|---|---------------------|
| Mesure directe des flux par absorption atomique | Développement d'un outil de mesure des flux | 2022-2025           |

## Gravure plasma

### Existantes

| Objectif                                    | Nature de l'action conduite                              | Où trouver les résultats ?                       |
|---|--|--|
| Vérification du fonctionnement des machines | Contrôle des paramètres machines                         | Cahier de manip                                  |
| Vérification des résultats de gravure       | Vérification des vitesses de gravure obtenues            | Utilisation des log machines sur MyFab + tableau |
| Nettoyage réacteur de gravure               | Ouverture/nettoyage mécanique<br>Changement de céramique | Utilisation des log machines sur MyFab + cahier  |

## Jet d'encre et traitements de surface

### Existantes

| Objectif  | Nature de l'action conduite   | Où trouver les résultats ? |
|---|---|----------------------------|
| Suivi équipement Tousimis   | Log des temps de refroidissement et de la consommation de CO <sub>2</sub> | Cahier de suivi            |
| Suivi équipement SFD  | Log des produits utilisés et de la consommation de CO <sub>2</sub>        | Cahier de suivi            |
| Qualification du viscosimètre   | Mesure de viscosité de l'eau  | <a href="#">Myfab</a>      |
| Qualification du procédé de traitement de surface par UV/O <sub>3</sub> | Mesure de l'angle de contact d'un polymère avant et après traitement      |                            |
| Qualification du procédé de traitement de surface par UV254nm           | Mesure de l'angle de contact d'un polymère avant et après traitement      |                            |
| Qualification des procédés du SPD                                       | Réalisation des procédés génériques sur Si et Kapton                      |                            |

### A mettre en place

| Objectif  | Nature de l'action conduite                                 | Année mise en place         |
|---|---|-----------------------------|
| Qualification de la propreté de la ligne du SFD | Run à blanc sur substrat Si et mesure de l'angle de contact | En fonction utilisation SFD |

## Lithographie Laser

### Existantes

| Objectif                 | Nature de l'action conduite   | Où trouver les résultats ?                            |
|--------------------------|---|---|
| Calibration DWL 200      | Ecritures motifs critiques au bord des masques<br>Mesures et observations | <a href="http://lims.laas.fr">http://lims.laas.fr</a> |
| Alignement laser DWL 200 | Alignement du laser<br>Réglage machine                                    | <a href="http://lims.laas.fr">http://lims.laas.fr</a> |

### A mettre en place

| Objectif               | Nature de l'action conduite                           | Année mise en place |
|------------------------|---|---------------------|
| Calibration Nanoscribe | Ecritures motifs critiques<br>Mesures et observations | 2022                |

### Nanolithographies

#### Existantes

| Objectif  | Nature de l'action conduite  | Où trouver les résultats ? |
|---|--|----------------------------|
| Qualification des procédés de nanoréplication               | 1. Nano-impressions par les utilisateurs<br>2. Duplication de nanostructures dans un film de COP ou COC<br>3. Duplication de nanostructures à l'aide du test précédent sur du silicium et dans la résine NILUV-135 | MyFab                      |
| Déterminer quand la lampe UV doit être changée              | Mesure de l'émission de la lampe UV  | MyFab                      |
| Qualification de la résolution en lithographie électronique | Insolation générique sur PMMA : test de résolution et test de raccordement des champs  | MyFab                      |
| Insolation de nanostructures par lithographie électronique  | Insolations par les utilisateurs   | MyFab                      |

### Photolithographie

#### Existantes

| Objectif  | Nature de l'action conduite | Où trouver les résultats ?                                 |
|---|-----------------------------|--|
| <b>Procédés de Photolithographie :</b><br><ul style="list-style-type: none"> <li>• ECI 1.1µm MA150</li> <li>• NLOF 5µm (lift off)</li> <li>• AZ40XT 40µm</li> </ul> | Réalisation des procédés    | <a href="#">Sur MYFAB/tool documents/photolithographie</a> |
| <b>Qualifications équipements :</b><br><ul style="list-style-type: none"> <li>• Machines d'alignement</li> <li>• Nettoyage, rangement, état des stocks,</li> </ul>  | Vérification machine        | <a href="#">Sur MYFAB/tool documents/photolithographie</a> |
|   | Heure soleil                | Tableau état des stocks présents sur la zone               |

### A mettre en place

| Objectif                            | Nature de l'action conduite   | Année mise en place   |
|-------------------------------------|---|---|
| Suivi des procédés                  | Suivi des résultats (données log des opérations)                          | <a href="#">En version d'essai sur MYFAB/tool documents/photolithographie</a> |
| Contrôle des angles de contact HMDS | Dépôt HMDS sur Wafer Si après Plasma O2 puis mesure de l'angle de contact | Février 2022  |

## Traitements thermiques et implantation ionique

### Existantes

| Objectif                                       | Nature de l'action conduite  | Où trouver les résultats ?         |
|--|--|------------------------------------|
| Qualification oxydation thermique              | Oxydation thermique humide (600 nm) de 25 plaquettes<br>Cartographie épaisseur et indice par ellipsométrie | Affiché dans <a href="#">MyFab</a> |
| Qualification homogénéité Implantation ionique | Implantation ionique de Bore suivant un protocole bien défini.<br>Cartographie résistivité des plaquettes  | Affiché dans <a href="#">MyFab</a> |

### A mettre en place

| Objectif   | Nature de l'action conduite  | Année mise en place |
|--|--|---------------------|
| Qualification qualité oxyde thermique                              | Oxydation thermique sèche (100nm)<br>Mesures électriques C(V)  | 2022                |
| Qualification du masquage des résines implantées Bore et Phosphore | Implantation Bore et Phosphore à travers une couche de résine suivant un protocole bien défini.<br>Cartographie de la résistivité des plaquettes | 2022                |

## VALORISATION

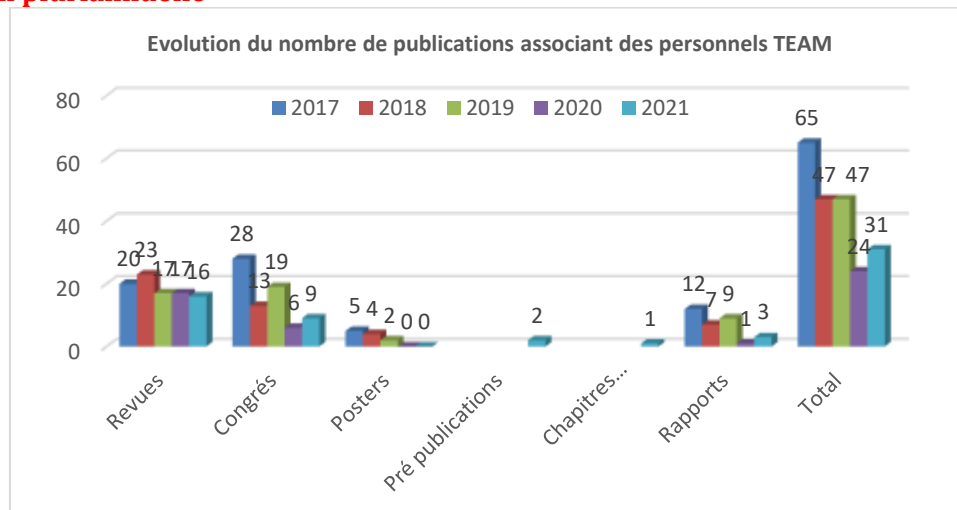
Les membres du service TEAM peuvent être associés ou être à l'origine de publications et rapports afin de valoriser les développements auxquels ils ont eu une contribution importante.

### Publications internes 2021 (extraction HAL LAAS au 24/02/2022)

Elles s'élèvent au nombre de 31

- Articles dans une revue : 16
- Communications dans un congrès : 9
- Chapitres d'ouvrages : 1
- Pré publications documents de travail : 2
- Rapports (dont techniques) : 3 (3)

### Evolution pluriannuelle

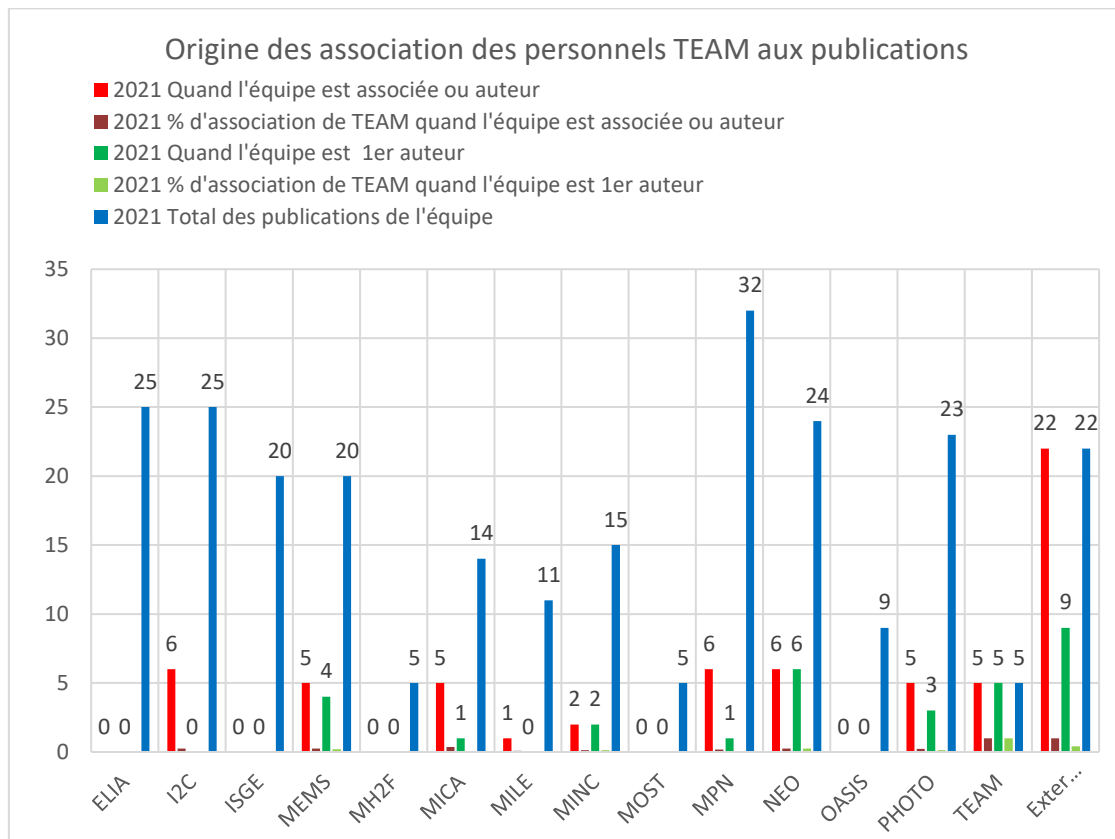




- Après un effondrement (division par deux) en 2020 sans doute dû à la situation sanitaire des publications qui associent les membres du service TEAM l'année 2021 marque une légère amélioration sans que l'on rejoigne les niveaux antérieurs.
- Nous ne pouvons que toujours déplorer la faiblesse du nombre de rapports techniques alors même qu'énormément de données sont disponibles dans les différentes zones de la salle blanche. Le service TEAM doit faire l'effort de les formaliser à travers des rapports techniques. Cela sera bénéfique aux utilisateurs et valorisable dans les dossiers de carrière des agents.

### Origine des publications

Les co-signatures du service TEAM sont représentées sur le graphique suivant, en prenant comme origine de rattachement celle du premier auteur.



Sur les 31 publications de 2021 cinq sont le fait de TEAM en premier auteur, Nous avons donc 26 co-publications. Ce chiffre est à rapporter aux 228 co publications des équipes du LAAS, soutenues par la salle blanche.

**Cette analyse rapide indique que le personnel TEAM est associé à environ 11% des publications des équipes "technologiques". Ce chiffre apparait comme une proportion très faible.**

Même si l'on considère que

- Les 228 publications ne sont pas toutes technologiques
- Seules des contributions importantes/décisives des personnels TEAM doivent se traduire par une association aux publications.

De plus il y a de très fortes disparités dans les pratiques des équipes de recherche.

- Lorsque les équipes du LAAS sont premier auteur l'association varie entre 0 et 25%, elle passe à 41% quand le premier auteur n'est pas une équipe du LAAS.

- Lorsque les équipes du LAAS sont associées TEAM est lui-même associé entre 0 et 36%.

Enfin notons que 9 co publications soit près de 30% sont le fait de partenaires externes au LAAS.

### Synthèse

On note une très forte disparité selon les équipes. Les raisons en sont nombreuses mais il convient au niveau des équipes d'être vigilant à associer les membres du service TEAM qui ont apporté une contribution importante aux développements technologiques. Au-delà de la reconnaissance de cette implication c'est un critère pris en compte parmi d'autres lors des concours de promotion des IT.

De même permettre aux membres du service de participer aux conférences scientifiques leur permettrait d'élargir leur compréhension des enjeux, d'élargir leur réseau, de proposer nos compétences et d'en découvrir de nouvelles disponibles dans d'autres salles blanches.

Le service TEAM peut également améliorer sa contribution. Notamment au niveau de la rédaction de rapports techniques. Il y a beaucoup de développements qui ont été consignés dans chaque zone mais pas valorisés sous forme de rapport. De plus ces rapports serviront à la capitalisation et la transmission des connaissances.

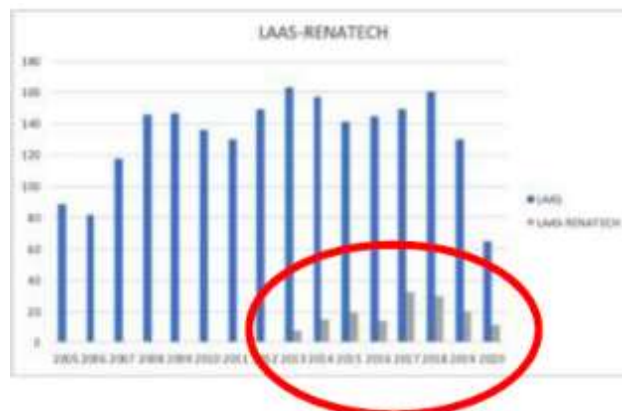
### Publications et appartenance au réseau Renatech

Tout utilisateur qui utilise les moyens du réseau Renatech s'engage en contrepartie à citer la contribution du réseau dans les remerciements des publications. Cet élément est une des métriques scrutées par les tutelles qui financent ce réseau.

Le codir Renatech de février 2021 a remonté l'insuffisance générale de ces remerciements. En se basant sur les extractions du Web of Science à partir des noms des chercheurs des laboratoires Renatech les tendances présentées ont été les suivantes.



Pour le LAAS particulièrement les données relevées sont



Diverses actions sont conduites au niveau de la plateforme pour sensibiliser les utilisateurs au respect de cet engagement

- Rappel systématique dans la newsletter mensuelle de la plateforme
- Champ spécifiant le recours à la plateforme lors des dépôts HAL
- Inscription explicite de cette obligation dans les documents de contractualisation des projets Renatech.

Ces actions ne sont pas suffisantes. Il nous paraît nécessaire de définir au niveau du laboratoire un moyen pragmatique pour augmenter significativement ces citations.

Cette réflexion est d'autant plus importante que la même problématique se répète lorsque des financements très structurants (Equipex, PEPR, ERC, FEDER...) sont en jeu. En effet ceux-ci imposent la citation de leur support dans les remerciements. Sous peine de remboursement d'une partie des aides perçues en cas de non observance de cette obligation.

**A notre sens cette problématique n'impacte pas que la plateforme et doit être considérée au niveau du laboratoire.**

## INTERACTIONS SERVICE / EQUIPES

De nombreux modes d'interactions entre les différents personnels impliqués dans la plateforme existent.

Toutefois dans le cadre de ses réflexions internes le service TEAM propose de mettre en place un temps plus formalisé pour des échanges centrés sur la technologie.

### Proposition pour des jeudis de la technologie

Les éléments initiaux de cette proposition sont les suivants (sur le modèle des jeudis du vivant) :

- Réunions d'une heure
  - Jour, horaire et fréquences à définir
- A synchroniser avec les jeudis du vivant.
- Avec un ordre du jour et un planning envoyé à l'avance
- Organisation par TEAM
- Ouvert aux utilisateurs de la plateforme
- Ordre du jour type :
  - 10-15min - Points salle blanche (les membres du service font remonter des points importants)
  - 10-20 min Présentation technique / scientifique + 5/10 min d'échanges/questions
  - Une ou deux présentations max par séance
  - 10-15min Remontée de pb et questions diverses par les utilisateurs de la salle blanche
    - Pour déterminer qui pourra aider à résoudre un problème
    - Pour demander un soutien humain sur une action d'intérêt collectif
- Présentations réalisées en présentiel et visioconférence (hybride) pour enregistrement
- Mise des présentations sur une page spécifique du site elearning TEAM ;

Avant de mettre en place ces interactions il apparaît essentiel d'obtenir l'engagement des utilisateurs à contribuer.

En effet il y a déjà dans différentes équipes, départements, projets des actions similaires, bien que centrées sur des thématiques particulières. Il s'agit donc de ne pas faire doublon, ou d'empiler les réunions

Une concertation est donc nécessaire pour déterminer si la proposition a un intérêt et comment elle pourrait s'articuler parmi les actions déjà conduites. Mener cette concertation avec les départements nous semble le plus pertinent.

### **Participation aux présentations scientifiques**

Dans les différentes structures (équipes, départements) de recherche du laboratoire des présentations sont organisées. Seuls sont informés une partie des personnels TEAM impliqués dans les activités de ces structures. Il nous paraîtrait judicieux que les procédures d'information soient encore améliorées pour que la participation soit étendue à plus de personnes. Cette problématique nous semble à travailler au niveau du laboratoire.

### **Présentation des moyens et compétences disponibles**

Tout au long de l'année diverses actions sont menées pour disséminer l'offre de la plateforme.

Edition de la newsletter, mailing aux utilisateurs, site web, bilan ComTEAM.

Néanmoins cela fait quelques années que nous n'avons pas proposé une communication du type "demi-journée de la technologie". Nous soumettons donc l'idée de relancer courant 2022 une telle communication. Deux formats sont envisagés

- Présentations en salle de conférence et diffusées en streaming
- Session poster

Nous souhaitons l'avis des utilisateurs pour cette communication attire le plus grand nombre et soit efficace.

# BILAN DES ACTIVITES

Éléments généraux

Activités des zones

Maintenance

Contributions particulières au réseau Renatech

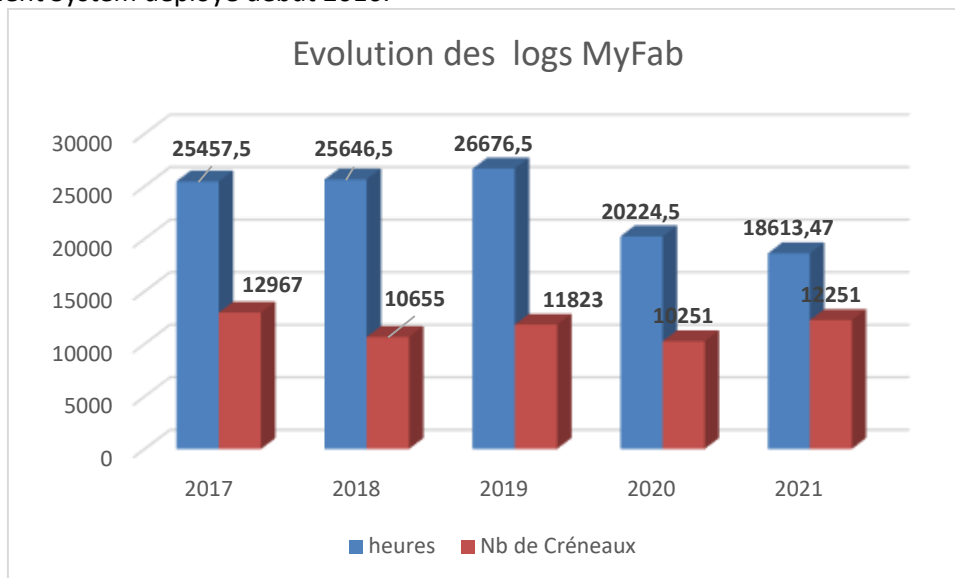
## ELEMENTS GENERAUX

### Organisation générale des zones

L'organisation des zones n'a pas évolué en 2021. Les éléments de présentation sont disponibles dans les bilans des années précédentes

### Bilan global

Les bilans sont effectués à partir des données extraites de [Myfab](#), le Laboratory Information and Management System déployé début 2016.



Par rapport à 2020 l'année l'activité globale est stable (-8%).

Le décrochage entre 2019 et 2020 s'explique par deux phénomènes

- La pandémie de covid 19
- Depuis début 2020 nous avons modifié le mode d'utilisation de l'application MyFab. Il faut maintenant de façon systématique réserver (book) et confirmer l'utilisation des équipements (log). De plus la facturation se fait avec les durées des logs. Aussi les utilisateurs sont encore plus attentifs à noter le temps réel d'utilisation des équipements

### Déploiement d'un système d'activation / désactivation des équipements

Une des problématiques communes à toutes les plateformes Renatech et Renatech+ est le relevé exhaustif des données d'utilisation des équipements (logs et logs fields de MyFab).

C'est une nécessité absolue à plusieurs titres

- Suivi des opérations technologiques pour
  - Avoir les procédés de fabrication complets
  - Suivre les dérives des équipements par l'analyse des log fields
- Sécurité
  - Des personnels qui pourront être informés en gras de dysfonctionnement dangereux d'un équipement
  - Des équipements par l'identification des opérations pendant lesquelles sont arrivés les dysfonctionnements
- Reporting des activités vers les tutelles dont c'est une métrique pour quantifier le soutien apporté à la plateforme et au réseau
- Financiers pour

- Calcul des tarifs
- Facturation

Aujourd'hui au LAAS ces relevés sont déclaratifs, faits par les utilisateurs et donc soumis à divers aléas qui font qu'ils ne sont pas exhaustifs.

Pour atteindre cette exhaustivité de façon pragmatique la plateforme du LAAS sera plateforme pilote pour le réseau Renatech pour le transfert d'un système déjà en place à l'IEMN qui permet avec des badges

- D'activer /désactiver les équipements
- Générer automatiquement un log avec la durée réelle d'utilisation.

L'utilisateur n'aura donc qu'à activer l'équipement en début de process, à le désactiver en fin de process. La durée du log sera automatiquement calculée. Ce log sera rattaché au projet déclaré par l'utilisateur. Il sera possible aux administrateurs de la base de donnée de corriger des erreurs, notamment des oublis de désactivation.

Des systèmes de ce type sont déjà déployés dans de nombreuses plateformes en Europe, avec une volonté de l'étendre aux plateformes Renatech et Renatech+.

Un prototype est en phase de test au LAAS. Le début du déploiement sera effectué en 2022.

## ACTIVITES DES ZONES

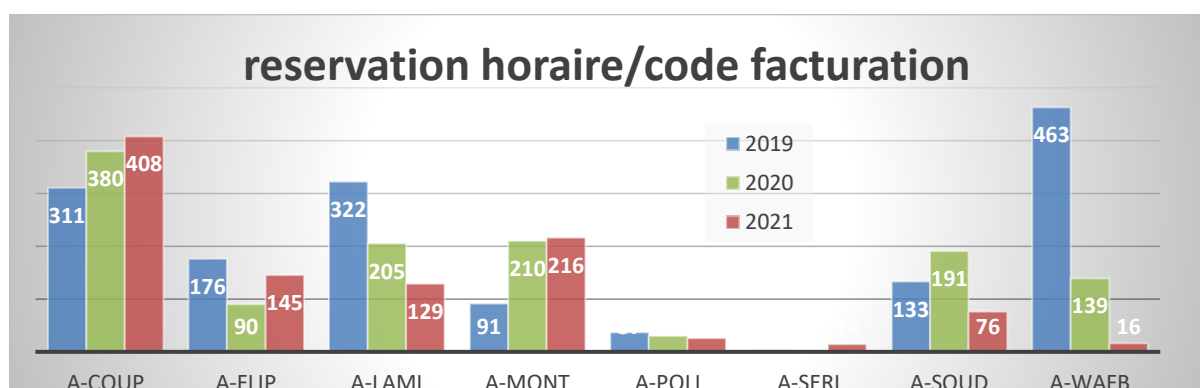
### Assemblage

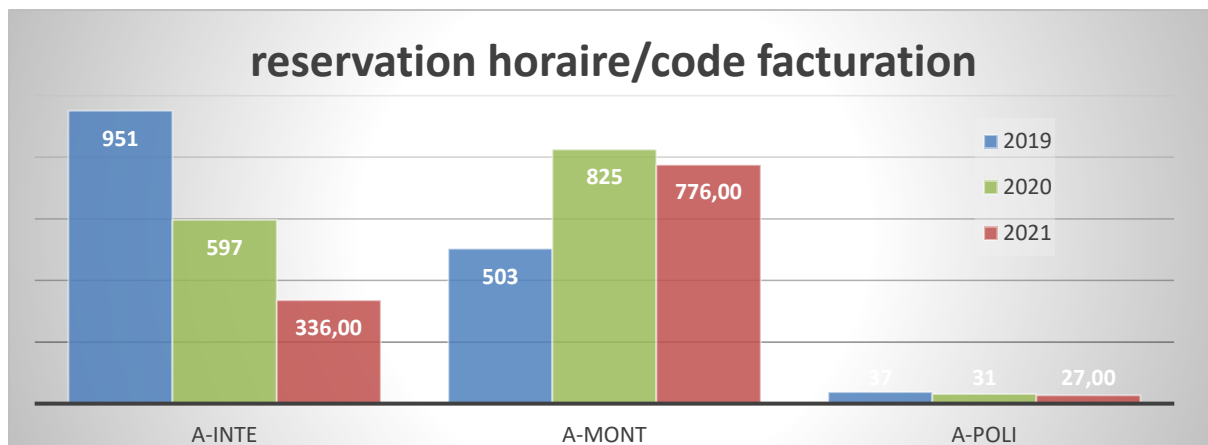
#### Point marquants 2021 et projection 2022

Départ de Guy Ardit en juin 2021 et arrivée de Julia Borha en septembre 2021. Julia s'est formée sur la majorité des équipements présent en salle de montage et prend en charge les demandes relevant de cette zone.

#### Bilan

- On note une diminution de 22% de l'activité générale avec environs 1100 heures de réservation pour l'année 2021.
- Pour les opérations classique d'assemblage, on note une stabilité dans les opérations de montage, découpe et polissage et une très forte baisse des soudures filaires (-60%).
- En ce qui concerne les activités liées à l'intégration, elles fluctuent suivant les années de par les projets. On note cependant une baisse des activités liés à l'intégration. C'est le cas des réservations horaires des lamineurs (-40%), des wafers bonders (-90%) mais une hausse de celles du flip chip (+60%). **Il est cependant à noter qu'il y a encore beaucoup d'utilisateurs qui ne réservent et ne logent pas les équipements.**





## Caractérisation

### Point marquants 2021 et projection 2022

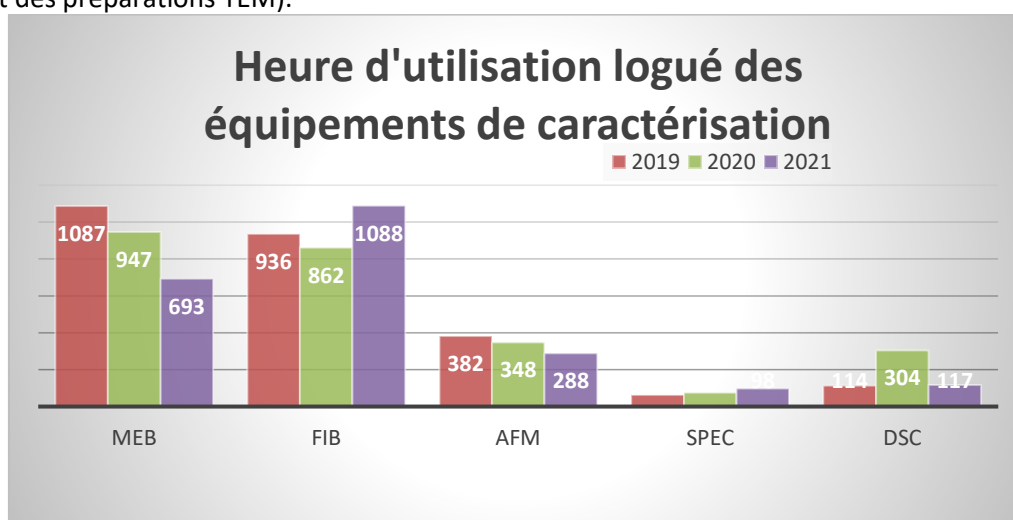
Arrivée en novembre 2021 de Mairame Diallo en tant que CDD Ingénieur d'Etude sur la zone de caractérisation des procédés technologiques. Sa présence permettra d'assurer un soutien plus important aux utilisateurs. Elle intervient également sur la qualification des procédés génériques et la réalisation de mesures pour certains projets extérieurs.

Stagiaire ingénieur durant l'été 2021 portant sur la reconstruction d'objet en 3D par photogramétrie à partir d'image MEB.

### Bilan

On note une stabilisation de l'activité générale avec environs 2300 heures d'utilisation validé à l'année sachant que les opérations classiques de caractérisation (profilométries) ne sont pas comptabilisées.

On note une diminution de l'utilisation des MEB HITACHI car de plus en plus d'utilisateurs utilisent exclusivement l'Helios (FIB) pour leurs caractérisations, en effet la Navcam (image de l'échantillon), la facilité d'utilisation et la possibilité de tilter énormément à haute résolution est très apprécié. Ceci entraîne une saturation du FIB sur certaines périodes et pose des problèmes pour l'avancement dans certains projets (utilisations rapides de contrôle de process ont des besoins très différents de ceux qui font des préparations TEM).





## Chimie

### Point marquants 2021 et projection 2022

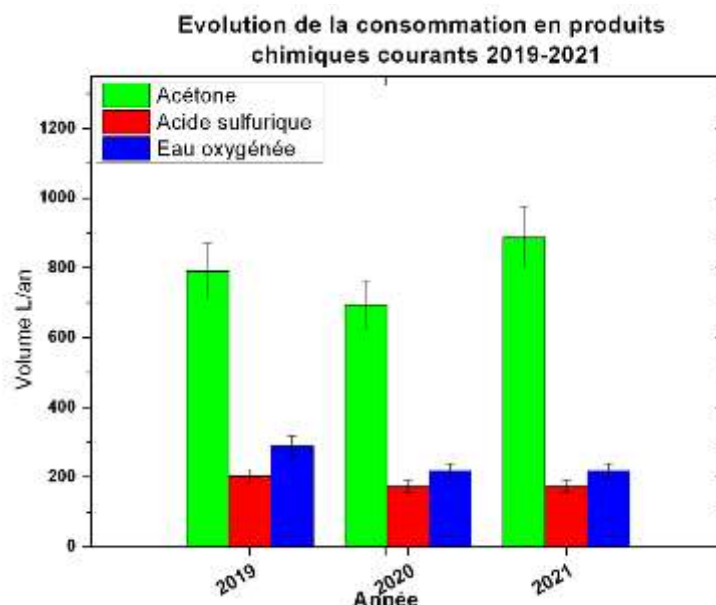
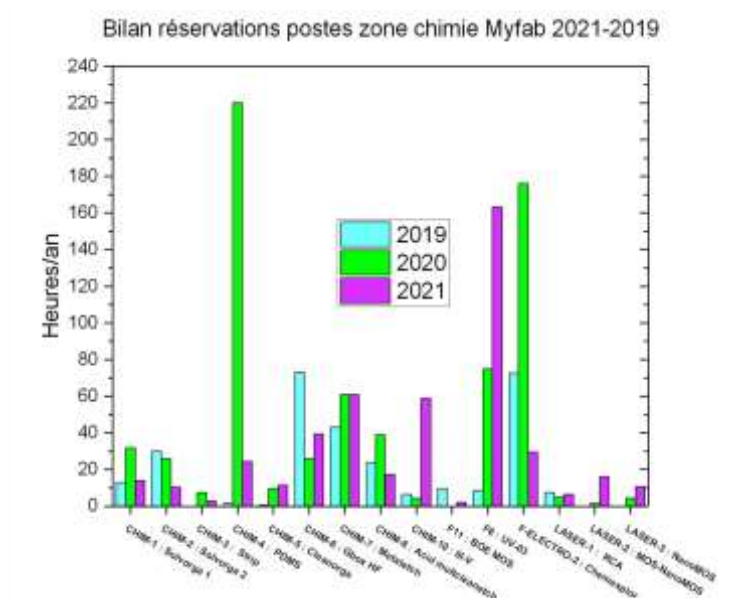
Recrutement en janvier 2021 de Justine Bonneau (AI CDD en partage à 50% avec la zone électrochimie) en remplacement de Tom Gouveia après qu'il ait quitté ce poste.

Recrutement sur concours en 2021 de Daniel Ferri-Angulo (IR permanent profil chimie de synthèse) qui prendra ses fonctions le 14/02/22.

### Bilan

La zone chimie est en libre-service après formation. Une grande partie des activités qui y sont menés sont des opérations courtes et multiples, plusieurs sont parfois menées en parallèle sur le même poste. Bien que très fréquemment sollicités, les postes sont donc peu réservés ou leurs utilisations peu notées (contrairement à une machine de lithographie ou un microscope électronique par exemple). Les données reportées sur MyFab ne sont pas encore une représentation fiable de l'activité de la zone.

Notre représentation de l'activité se base donc sur la consommation des produits chimiques les plus courants.



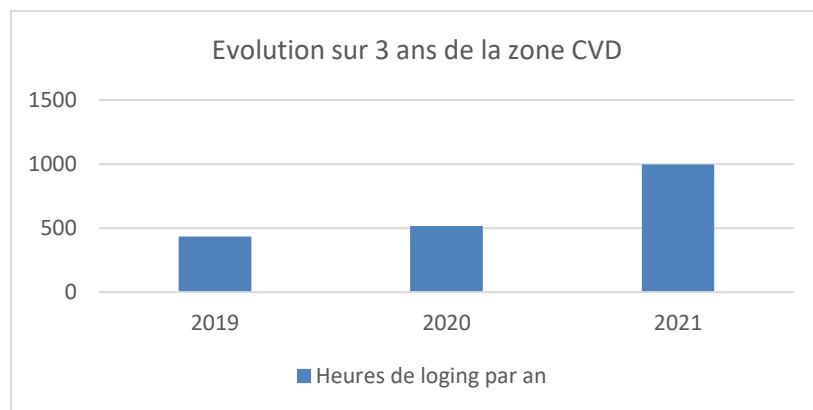
On note en 2021 une reprise de la consommation d'acétone au niveau précédent la Covid 19. Les consommations en eau oxygénée et acide sulfurique restent stables.

## CVD

### Point marquants 2021 et projection 2022

- J.C. Marrot a été formé par E.Imbernon à l'utilisation des fours LPCVD.
- E.Imbernon va suivre une formation externe sur le management de projets.
- P.Dubreuil a été formé en interne par Q.Gravelier sur l'équipement D8-Discover (M-DRX) pour la technique XRR et a suivi une formation externe sur la réflectivité des rayons X et neutrons.
- E.Scheid, chercheur (MPN) spécialiste en CVD/ALD, intervient dans la zone, et partira en 2023.

### Bilan



On note une augmentation de l'activité générale de la zone CVD depuis sa mise en place en 2019.

- L'activité LPCVD reste faible et concerne les dépôts  $\text{Si}_3\text{N}_4$  (<100nm) et de Sipoly dopé Bore (<120nm).
  - L'activité du CCPECVD croît pour les dépôts de  $\text{SiO}_x:\text{H}$ ,  $\text{SiN}_x:\text{H}$ , a-Si :H à 300°C sur Si, sur verre. Particulièrement, des études internes sur le matériau  $\text{SiN}_x:\text{H}$  ont été réalisées avec : L'équipe PHOTONIQUE pour faire varier l'indice de réfraction, diminuer le taux [H]
  - L'équipe NEO pour augmenter la contrainte en tension localisée sur substrat de verre.
- L'activité de l'ICPECVD croît pour les dépôts de  $\text{SiO}_x:\text{H}$ ,  $\text{SiN}_x:\text{H}$ ,  $\text{SiON}:\text{H}$  à 100°C sur Si, sur verre, sur GaAs, sur diamant, sur GaN, sur  $\text{LiNbO}_3$ . Pour RENATECH, plusieurs demandes de FEMTO-ST et de la société SILMACH ont été traitées dans l'ICPECVD.
- L'activité de l'ALD MOS a augmenté, pour réaliser des traitements in situ par plasma avant un dépôt  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Les résultats ont été présentés à PLATHINIUM 2021 (hal-03413850).
- L'activité de l'ALD NOMOS continue pour des obtenir des dépôts  $\text{RuO}_x$  (ERC 3D-CAP), avec S.H. Choudhury (post-doc équipe NEO). Les dépôts sont longs (> 1000 cycles).

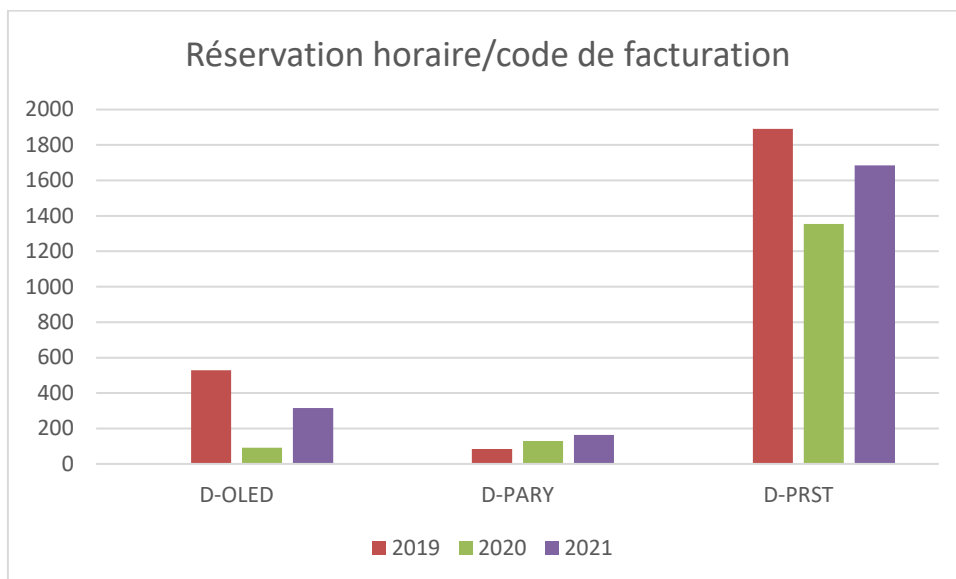
## Dépôts sous vide

### Point marquants 2021 et projection 2022

- Séverine VIVIES a terminé son contrat en Juin 2021, ce qui entraine une réorganisation autour de l'activité des Pyromens car Séverine travaillait en grande partie pour cette activité. Pour compenser ce départ, un recrutement en CDD va être organisé par l'équipe NEO.

- L. Salvagnac a suivi une remise à niveau en interne sur l'équipement D8-Discover (M-DRX) pour la technique XRR.

### Bilan



Les dépôts PRST correspondent aux dépôts de métaux précieux (Au, Pd, Pt ...) pour le PR et de métaux standard pour le ST. La répartition entre PR et ST est de 317 h pour le PR et de 1622 h pour le ST.

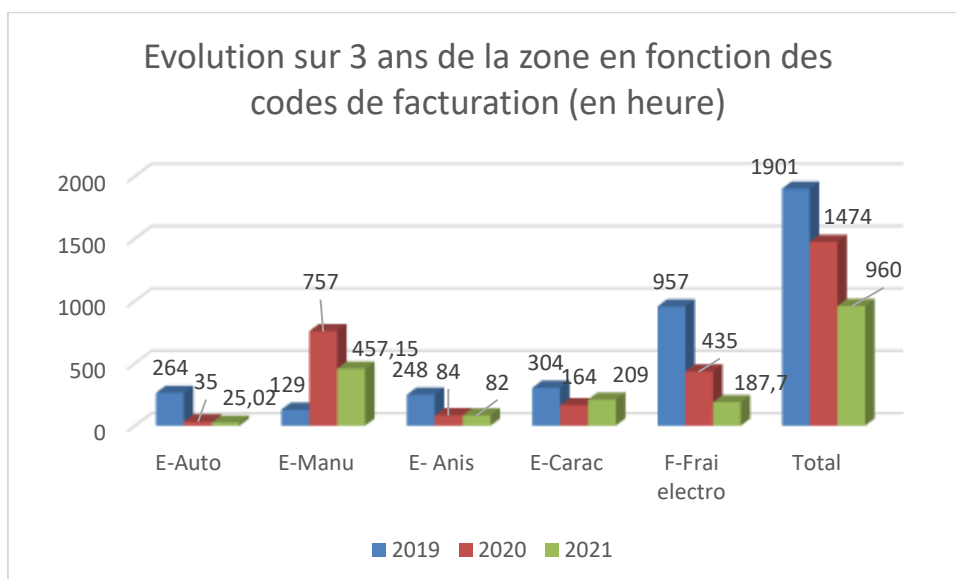
On note dans l'ensemble une stabilisation de l'activité générale avec environs 2164 heures de réservation à l'année.

### Dépôts électrolytiques

#### Point marquants 2021 et projection 2022

Depuis janvier 2021 Justine Bonneau a rejoint la zone à 50 % avec la zone chimie. Son expérience dans l'industrie lui a vite permis de prendre en main toutes les analyses et commencer à participer aux développements technologiques dans la zone dès sa première année

### Bilan



- Le nombre d'heures d'utilisations de la zone est en baisse qui est surtout liée au départ d'un doctorant et un post Doc dans le projet ERC de D.Pech qui avaient des manipulations très longues
- Sur les 15 projets qui ont utilisés les dépôts électrolytiques 3 projets sont des demandes externes via les projets Renatech. Ces 3 projets représentent 61 % du nombre total de dépôts mais que 31% du temps total de dépôt. Nous avons formé au dépôt de cuivre un ingénieur la société 3Dis Technologies qui est le plus grand demandeur afin libérer du temps des personnels de la zone.
- Les machines automatiques sont de moins en moins utilisées car elles sont beaucoup moins adaptées aux besoins actuels. C'est pour cela que nous sommes en train de les rétrofiter pour les rendre compatibles avec les dépôts épais ou de changer la nature des bains pour s'adapter aux besoins des chercheurs comme changer de bain d'or pour que le dépôt soit Biocompatible une fois déposé ou un bain de cuivre rapide.

## Epitaxie par jets moléculaires

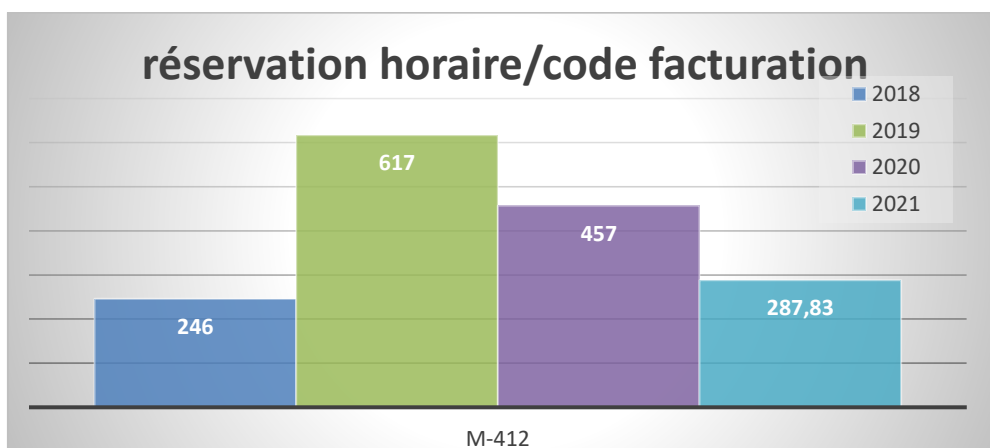
### Point marquants 2021 et projection 2022

Trois doctorants ont travaillé sur la zone en 2021, sur des projets distincts :

- La croissance de BiSb pour Dima Sadek, encadrée par Sébastien Plissard (MPN),
- La croissance de cellules solaires à base de l'alliage quaternaire GaInAsN en accord de maille sur le substrat de GaAs pour Maxime Levillayer,
- La croissance de miroirs de Bragg pour la réalisation de EAM-VCSELS pour Lucas Laplanche, tous deux encadrés par Guilhem Almuneau (PHOTO).

### Bilan

On note une baisse de l'activité en 2020 et 2021 principalement due à la crise sanitaire liée au COVID19.



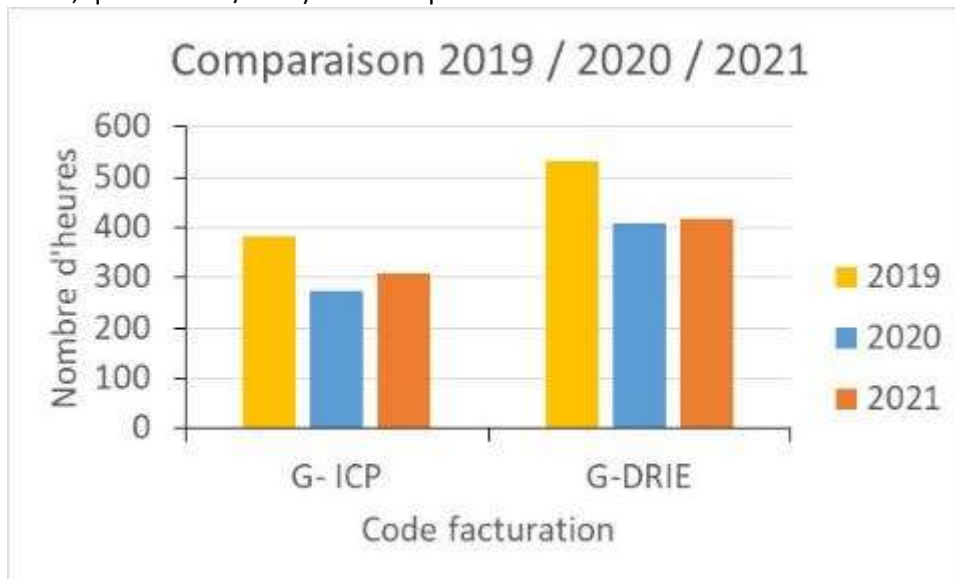
## Gravure plasma

### Point marquants 2021 et projection 2022

Suite au départ de Demba Ba à la fin 2020 il reste sur la zone Laurent Bouscayrol et Aurélie LECESTRE qui travaillent tous les deux à 80%.

### Bilan

Le nombre d'heures affiché sur ces graphiques représente tous les procédés (service, développement, qualification/tests) sans compter les maintenances.



- G-ICP représente toutes les machines RIE-ICP : ICP2, ICP3, SI500 chlorée, SI200
- G-DRIE représente toutes les machines DRIE : Alcatel P1-P4 et SI500 fluorée

Nous observons une baisse des gravures DRIE et ICP de ~100h entre 2019 et 2020, puis une stabilisation des gravures DRIE autour de 300h/an pour ICP et 400h/an pour DRIE.

### Jet d'encre et traitements de surface

#### Point marquants 2021 et projection 2022

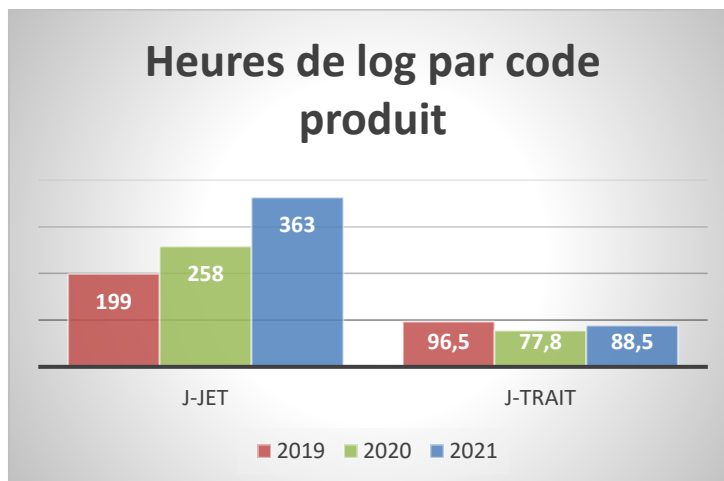
Nous avons accueilli Mouaad Alliouat en tant que post-doctorant en milieu d'année. Nous continuons avec lui les développements commencés précédemment avec Julien Bassaler. Nous travaillons sur le greffage de SAM sur SiO<sub>2</sub> et Au ainsi que les dépôts par jet d'encre de matériaux organiques semi-conducteurs.

Nous nous préparons au départ à la retraite de Véronique Conédéra en 2023.

### Bilan

On note une augmentation de l'utilisation du jet d'encre, en grande partie due au développement de procédés Argent avec recuit infrarouge sur l'Altadrop.

Les réservations sur le traitement de surface et le séchage en CO<sub>2</sub> supercritique est stable sur les dernières années.



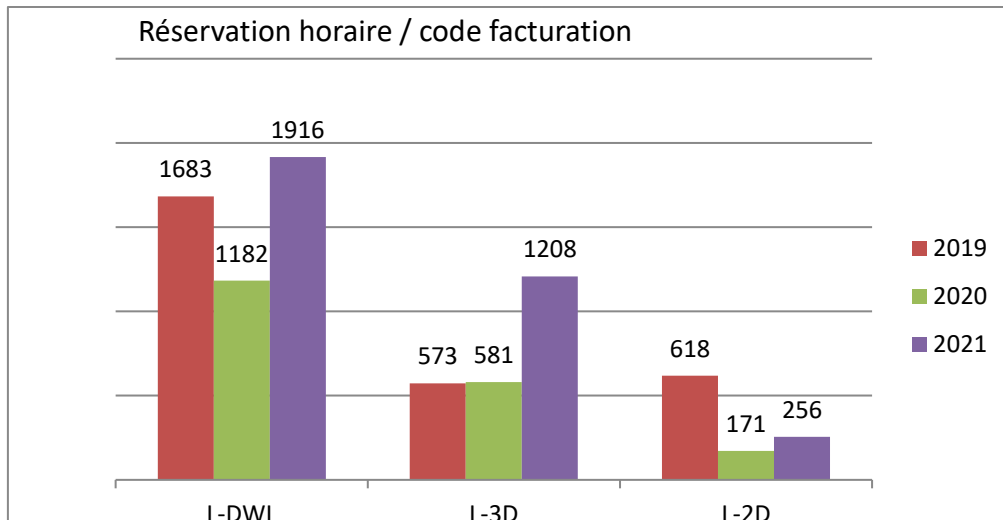
## Lithographie Laser

### Point marquants 2021 et projection 2022

Jeanne Aigoïn a été recrutée pour suivre une formation ingénieur par apprentissage. Elle est affectée aux services TEAM et I2C pour le développement de nouveaux procédés de lithographie laser avec les équipements de la plateforme MULTIFAB.

Le nouveau module GT+ de l'équipementier Nanoscribe sera prochainement installé pour la fabrication de structures 3D de plus grandes dimensions

### Bilan



La fabrication des masques ou réticules (L-DWL) a augmenté par rapport à l'année précédente en raison d'une importante demande externe. 45% du volume de masques ou réticules est destiné aux projets exogènes Renatech. Ce volume était inférieur à 35% les années précédentes. Le volume horaire d'utilisation des équipements de lithographie 3D (L-3D) est en augmentation pour le développement du projet MultiFab et une collaboration avec un industriel.

## Nanolithographies

### Point marquants 2021 et projection 2022

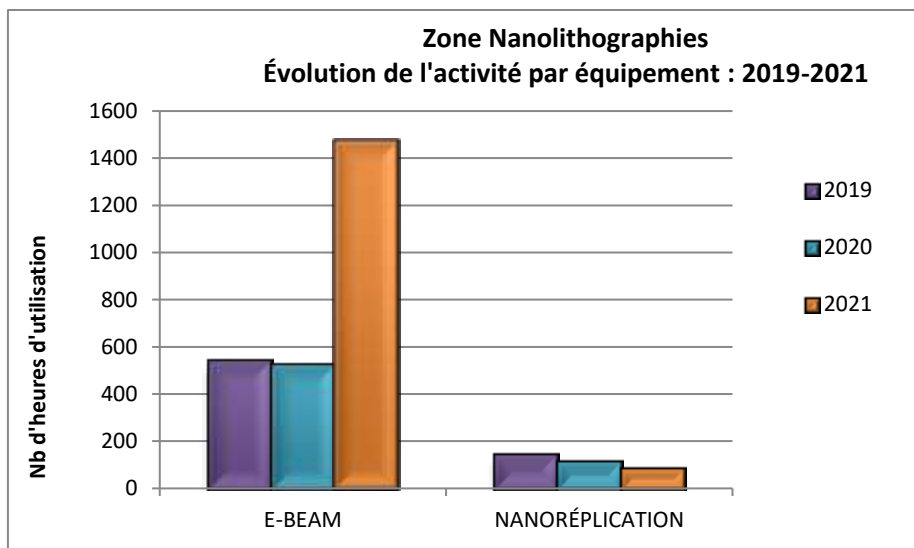
3<sup>ème</sup> année d'apprentissage de Clothilde Pera sur les polymères bio-sourcés, bio-compatibles et/ou biodégradables appliqués aux procédés de nanoréplication pour une chimie plus "verte".

A travers le PEPR électronique prospective d'investissement dans un nouveau masqueur électronique et début de formation de Laurent Mazon futur responsable de la lithographie électronique.

### Bilan

On note en lithographie électronique un pic d'utilisation créé par la multiplication des projets (dont 2 projets RENATECH représentant ~400h) ainsi que par l'augmentation du nombre d'utilisateurs. La vitesse de travail du nouvel équipement prévu est décuplée : ceci permettra d'accueillir de nouveaux projets et de nouveaux utilisateurs sans saturer le planning. L'évolution du métier s'oriente donc vers la simulation des procédés, la préparation des données (application de règles de dessin et correction automatique des effets de proximité) et l'analyse, à priori, de la faisabilité pour limiter les tests et améliorer ainsi le rendement de réalisation.

L'utilisation de la nanoréplication est stable. Cette machine est essentielle pour les développements de la société 3DIS et pour toutes les personnes désirant réaliser des scellements ou des collages avec une excellente uniformité (films DF par exemple)



## Photolithographie

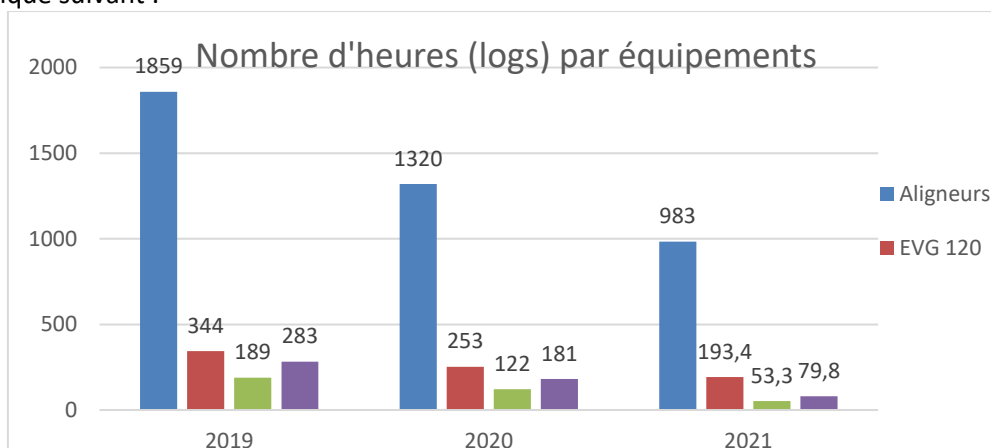
### Point marquants 2021 et projection 2022

Arrivée de Maïrame Dialo à l'automne 2021 en tant que IE CDD sur la zone Caractérisation avec une implication en zone photolithographie (20%). Maïrame est notamment en charge de la qualification des procédés standards et de la calibration des lampes UV.

En 2022, Laurent Mazenq s'implique à 50% au sein de la zone Nanolithographies.

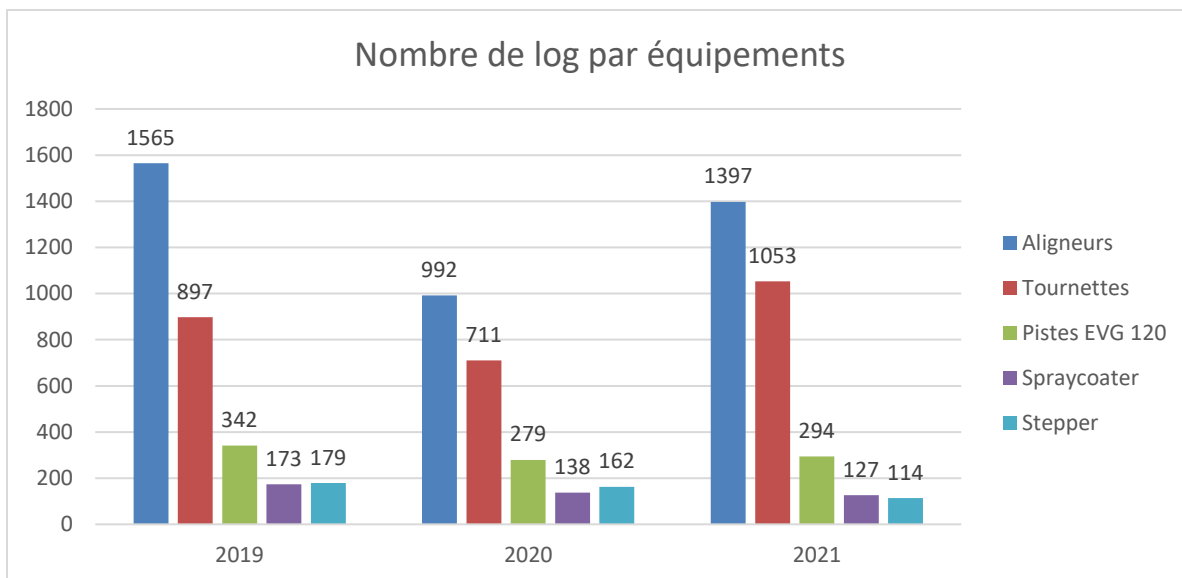
### Bilan

En 2021, le nombre d'heure loguées parait être en baisse de 30% par rapport à 2020 (qui était aussi en baisse de 30% par rapport à 2019, notamment à cause de la crise sanitaire) comme on peut le voir sur le graphique suivant :



Cependant, si on observe le nombre de logs effectués par équipement (graphique ci-dessous), on note au contraire une hausse de 11% en moyenne. Cela s'explique par une utilisation plus rigoureuse des logs depuis début 2021 par les utilisateurs. La facturation se faisant sur les logs les utilisateurs notent maintenant la durée effective d'utilisation et non plus la durée de la réservation comme auparavant.

On peut donc conclure que globalement l'activité reste semblable aux années précédentes.



Pour continuer l'analyse, on notera deux points :

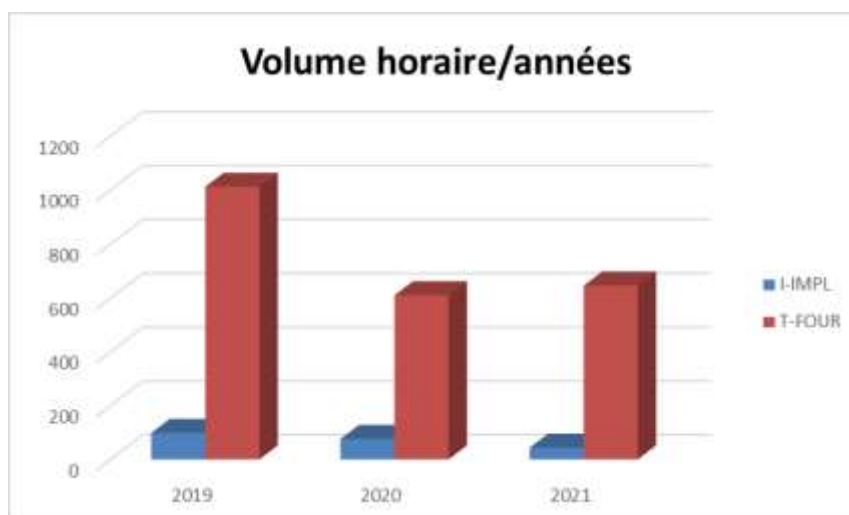
- Concentration de l'activité sur les équipements manuels (aligneur MA6 gen4 et tournettes) au détriment des équipements automatiques.
- Bien qu'en hausse par rapport à 2020, le nombre de log reste inférieur de 14% par rapport à 2019.

### Traitements thermiques et implantation ionique (et dépôts CVD)

#### Point marquants 2021 et projection 2022

En 2022, Jean-Christophe Marrot va continuer à se former sur les bâtis d'oxydation et de redistribution AET et Centrotherm.

#### Bilan



La partie T-FOUR comprend les oxydations thermiques, les redistributions, les recuits RTP et les recuits métaux. L'activité est en légère hausse grâce notamment aux projets de l'équipe MPN sur l'oxydation des nanofils sur silicium.

On note une diminution de l'activité implantation ionique (I-IMPL) dû à la baisse des projets basés sur la microélectronique



## Soutien

### Bilan

#### **Les activités sont identiques aux années précédentes**

La tableau ci-dessous résume l'amplitude de ces activités qui ont été impactées par la situation sanitaire

|   |  |
|---|--|
| Gestion des nouveaux arrivants (Cellule formation)  | 60 personnes (+214%)                                     |
| Stock salle blanche (Réparti sur les zones jet d'encre, chimie, électrochimie, PVD, EJM et M. Dilhan, H. Granier) | 200 références   |
| Tenues salle blanche (H. Granier et M. Dilhan)  | 490 tenues   |
| Facturation (M. Dilhan)   | 48 factures internes (-13%) + 36 factures externes (+5%) |
| Demandes d'achats (Service gestion)   | 350 +  |
| Communication du service (S. Charlot)   | Tenue du site du service                                 |
| Heures soleil (H. Granier, M Dilhan)  | Suspendues depuis le mois de mars 2020                   |

La baisse du nombre de facture n'est pas à confondre avec les montants facturés qui eux augmentent. Cette baisse s'explique par l'utilisation d'un moins grand nombre de contrats supports.

Cela fait d'autant moins d'actes administratifs, ce qui est plutôt positif ;

Le nombre de factures externes reflète plus fidèlement le nombre de projets. Il y a toutefois un décalage car certains projets émanant d'un même demandeur sont facturés en une fois

## Support

### Point marquants 2021

Comme évoqué dans la chapitre sur le personnel l'activité de la zone a été marquée par le départ d'A. Maiorano. LA zone est maintenant sans soutien pérenne, les actions sont assurées par les autres personnels du service TEAM avec l'aide du service logistique sur l'aspect CVC.

### Bilan

#### **Les activités sont les mêmes que celles décrites les années précédentes**

La tableau ci-dessous résume l'amplitude de ces activités qui ont été impactées par la situation sanitaire.

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| station eau DI                        | Suivi et maintenance et contrat VEOLIA          |
| Boucles refroidissement               | Suivi et maintenance et contrat AXIMA           |
| Compresseurs air sec et centrale vide | Suivi et maintenance et contrat SOME            |
| Station de neutralisation             | Suivi et maintenance et contrat VEOLIA          |
| Traitement d'air                      | Suivi et contrat AXIMA                          |
| Capteurs de gaz                       | Suivi et Secur'IT                               |
| Ménage salle blanche                  | Suivi et contrat Atalian                        |
| Installation équipements              | Organisation et coordination sous traitance     |
| Stock gaz                             | Commandes en relation avec les zones techniques |
| Approvisionnement azote               | Contrat Linde                                   |
| Portes automatiques                   | Contrat de maintenance Portalp                  |

## MAINTENANCES SIGNIFICATIVES

Les activités de maintenance sont essentielles pour optimiser l'accès aux équipements. L'objectif est d'offrir aux utilisateurs la plus grande disponibilité possible tout en optimisant le coût. C'est pourquoi nous faisons le choix de ne prendre des contrats de maintenance que sur les équipements, stratégiques, pour lesquels nous n'avons pas de possibilité de replis en cas de problème, ou sur lesquels le laboratoire n'a pas les compétences pour intervenir. Dans toutes les autres situations nous privilégions des interventions des équipementiers ponctuels, à notre demande.

Cette activité peut être très chronophage. Elle l'est d'autant plus quand les équipements sont anciens car les pièces détachées viennent à manquer, l'expertise chez les équipementiers à disparue. Nous voyons même augmenter le nombre d'équipements pour lesquels nous avons été informé de la cessation complète d'un support par les équipementiers. Dans de tels cas notre stratégie est d'essayer de faire appel à des sociétés expertes (type Ibeam, IBS, Apsys) mais cela à ses limites. Au final un choix s'offre à nous

- La jouvence complète des équipements concernés
- L'abandon de cet équipement au risque de perdre une technique décisive pour une filière technologique.

### Assemblage

#### 2021

Maintenance préventive sur tous les équipements de wire bonding Kulick et Sofa ainsi que sur l'équipement de traction et cisaillement.

Maintenances curatives tout au long de l'année sur l'équipement de wafer bonding AML avec des changements de pièces d'usures comme les thermocouples, jauges de pression ou des électrovannes. L'équipement a été upgradé en 2019 avec un changement de soft sans changement du PC qui se fait ressentir dans l'utilisation avec de nombreux messages d'erreur lié à la communication des deux interfaces.

Maintenances curatives tout au long de l'année sur l'équipement de Flip Chip qui est vieillissante et sera remplacée dans quelques mois par un modèle plus récent (équipex Nanofutur). Le devenir de cet équipement est en réflexion (don à une autre centrale ou en doublon).

#### 2022

Il sera effectué en 2022 une maintenance préventive de la machine de découpe de substrat (silicium, verre, céramique, ...) qui est utilisée tous les jours et qui pour le moment est le seul équipement disponible pour cette opération.

Un équipement de découpe laser est en prospection pour palier au besoin particulier dans certaines situations mais ne remplacera pas la découpe par scie. Il sera utilisé pour des découpes précises et localisées, pour des gravures ou l'obtention de vias.

### Caractérisation

#### 2021

- HELIOS (FIB) : réparation du détecteurs EDX (fuite au niveau du raccord souple et fenêtre abimé) et changement de la Navcam (remplacement de la caméra et du câble + changement du disque dur).
- S-4800 : Première maintenance par Milexia en 15 ans avec étuvage de la colonne et changement du diaphragme.

## 2022

Renouvellement du contrat de maintenance de l'AFM ICON sur 4 ans (>12k€/an).  
Renouvellement du contrat de maintenance de l'Helios (FIB) pluriannuel (>36k€).

## CVD

### 2021

Changement de la vanne papillon sur le four Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> et changement du tube sur le four Si-poly.

### 2022

Dans le déroulement des maintenances préventives programmées, sont prévus:

- Le changement du liner du four Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>,
- Le nettoyage de la chambre ALD MOS.

## Dépôts sous vide

### 2021

- Univex : Cryostats

### 2022

- Plassys mano : pompe cryogénique
- Univex : Cryostats

## Dépôts électrolytiques

### 2021

#### Bain d'or :

Le bain d'or doit être changé car il ne répond plus à nos spécifications suite à un changement de législation du fait de sa dangerosité. Un additif permettant de limiter la rugosité (Arsenic) a été changé par le fournisseur par un nouvel additif (Thallium), mais ce dernier ne nous permet pas d'atteindre nos spécifications en termes de rugosité (< 10 nm).

Nous avons identifié et acheté un nouveau bain qui répondra à nos spécifications pour les composants, mais sera également bio compatible ce qui nous va nous permettre de nous adapter aux nouvelles demandes des projets.

Le bain sera installé courant premier trimestre 2022.

#### Caractérisations chimiques :

Nous avons été informés par la société Metrohm que tous nos équipements de caractérisation chimique (titrations et CVS) ne seraient plus maintenus à partir de 2021. Ces équipements ont été achetés il y a 16 ans. Tant qu'il y aura des pièces disponibles, ils pourront nous les fournir mais cela jusqu'à épuisement des stocks. Le coût pour le renouvellement de ces équipements, qui sont indispensables pour maintenir une bonne qualité des dépôts, s'élève à environ 32 K€ pour la CVS et 24 K€ pour la titration.

#### Equipements Rena :

Notre collaboration avec la société Rena sur l'équipement de dépôt d'or afin de stopper l'oxydation d'un additif a débuté en fin d'année. Nous avons eu déjà plusieurs échanges et des premiers plans ont déjà été dessinés.

En parallèle nous réfléchissons sur le rétrofit de l'équipement de dépôt de cuivre. Nous étudions la possibilité d'améliorer le système de chauffe qui est un point bloquant pour les dépôts épais. Il génère beaucoup de bulles qui se retrouvent dans les dépôts. Normalement d'ici à juin nous devrions arriver à avoir un premier prototype à tester.

## Epitaxie par jets moléculaires

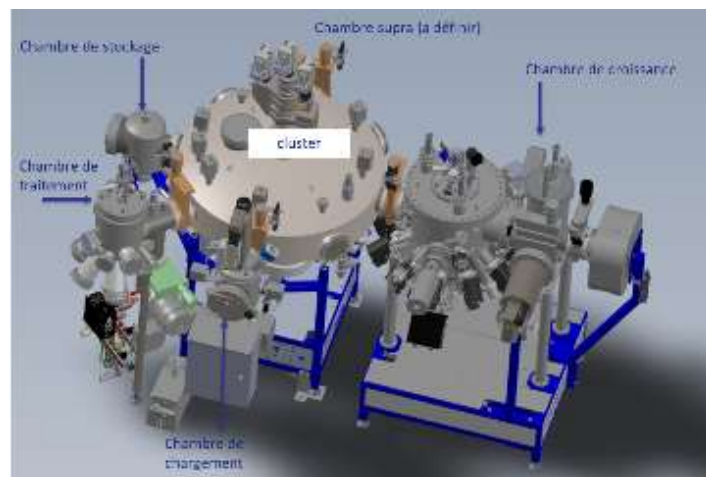
### 2021

Pour anticiper l'arrivée d'un nouveau système dans le cadre du laboratoire commun EPICENTRE les deux anciens bâtis MBE32 et MBE2300, ainsi que le modutrack UHV qui les relie ont été complètement démontés. Ces bâtis, présents au LAAS depuis 1986, ont été donnés à l'Institut Néel / PHELIQS (CNRS / CEA Grenoble) qui va les faire nettoyer et les remettre en service, pour leur donner une seconde vie sur des thématiques scientifiques originales.

### 2022

La coupure de courant intempestive de fin 2021 a induit un refroidissement des cellules Al du MBE412. Il faut donc ouvrir ce bâti afin de changer les creusets d'Al et recharger les cellules. Nous allons en profiter pour installer les nouveaux panneaux cryogéniques. La vanne de la cellule VRFN (plasma d'azote) semble avoir un point de blocage, qui limite la course de son ouverture. Une maintenance de la source, afin de lui redonner sa course maximale, ne pourra être réalisée que lors de l'ouverture. Cette intervention est planifiée pour avril/mai 2022.

Un nouveau système d'épitaxie comprenant un cluster automatique et deux chambres de croissances va être installé dans la zone en 2022, à la place des anciens bâtis. Cet équipement est mis à disposition du LAAS par Riber dans le cadre du Labcom EPICENTRE. Il sera installé en deux temps, une première partie en juin et la seconde en décembre 2022.



Système Cluster + C21DZ + chambre supra – Labcom EPICENTRE

Le canon RHEED 20 keV du MBE 412 va être remplacé par un canon RHEED Staib 30 keV interfaçable afin d'obtenir un meilleur signal et des images plus fines. L'amélioration du canon RHEED permettra d'obtenir plus d'information sur l'état de surface des matériaux lors de la croissance, et de poursuivre des développements déjà initiés sur l'analyse des images RHEED.

Pour simplifier la gestion du stock de wafers GaAs, la procédure de renseignement sur LIMS se fait dorénavant sur l'instrument "virtuel" WAFERS / SUBSTRATS (FOURN).

## Gravure plasma

### 2021

ALCATEL : Réacteur P1 (DRIE Si) :

Bilan 2021 des activités de la plateforme de micro et nanotechnologies du LAAS-CNRS

- Fuite de liquide de refroidissement = changement des tuyaux
- Maintenance préventive du réacteur.
- Problème de zéro de pression = changement Jauge Baratron

ALACATEL : Réacteur P4 (DRIE Verre) :

- Sas VCEB en panne = changement d'une vanne pneumatique
- Moteur capa en panne = changement du moteur

SENTECH : SI500 Fluoré :

- Réparation du chiller
- Réparation pompe sèche du réacteur

SENTECH : SI500 Chlorée :

- Réparation de l'électrode
- Changement d'un module Wago
- Problème de zéro de pression = changement Jauge Baratron

TRIKON ICP3:

- Problème de transfert de plaquettes et de calibration du bras robot.

TEPLA :

- Problème de micro- fuite + stabilité des paramètres process = changement des joints et du magnétron.

## **2022**

- TEGAL : fin du rétrofit.
- Alcatel P4 : Maintenance préventive.
- SENTECH : maintenance préventive des 3 réacteurs.

## **Jet d'encre et traitements de surface**

### **2021**

Le cryoplongeur du tousimis est parti en réparation ce qui a mis l'équipement à l'arrêt plusieurs mois. Durant cette période les séchages en CO<sub>2</sub> supercritique ont été faits dans le SFD.

### **2022**

La pompe du SAS du SPD est à nouveau en panne, il est possible que le problème vienne de l'exhaust de la pompe de la chambre. Il faut prévoir une maintenance de la pompe de la chambre également. Une reprise de l'exhaust des pompes est à prévoir pour éviter la contamination de la pompe du sas par les gaz process.

## **Lithographie Laser**

### **2021**

DWL 200 : Intervention en salle blanche de la société Heidelberg après une longue période d'absence de 2,5 ans en raison de la crise sanitaire et changement de l'interféromètre qui était défailant.

D750 : Une table motorisée défectueuse de l'équipement a été remplacée par la société KLOE lors d'une intervention de maintenance.

## 2022

PP Nanoscribe : Prévion du remplacement du laser pulsé fonctionnel depuis 9 ans, coût entre 20 et 50 keuros. Un disfonctionnement brutal engendrera un arrêt de l'équipement pendant 1 mois au minimum.

## Nanolithographies

### 2021 : E-Beam :

- Changement de l'interféromètre LASER du masqueur électronique
- Panne de l'ordinateur : réparation en interne
- Panne du système de pompage : pompe primaire, pompe turbomoléculaire et son contrôleur
  - Changement de l'ensemble début 2022

## Photolithographie

### 2021

En plus de la maintenance préventive, le stepper Canon a nécessité le changement de plusieurs éléments au cours de l'année, dont une maintenance curative avec changement d'une lentille. Le total sur l'année s'élève à 70K€ (pièces et interventions).

### 2022

L'établissement d'un nouveau contrat de maintenance pour les aligneurs Suss Microtec est prévu en 2022. Les premiers devis affichent un coût doublé par rapport aux contrats précédents (passant de 15K€ à 30K€). Raison évoquée : les aligneurs concernés, plus récents, nécessitent un temps de maintenance plus élevés (MA6gen4 et MA150 retrofit). Une maintenance préventive du spraycoater est également prévue avec changement d'une pompe.

## Traitements thermiques et implantation ionique (et dépôts CVD)

### 2021

- Implantation ionique
  - Changement de la pompe de circulation eau DI
  - Réparation du Beam Monitor
- Traitements thermiques
  - Changement de la centrale de distribution d'oxygène
  - Changement de 2 modules RDC2 pilotant les nacelles de chargement/déchargement

### 2022

- Implantation ionique
  - Upgrade du logiciel de commande de l'implanteur (passage sous Win 10)
  - Changement du tube accélérateur
  - Upgrade du système d'angle de tilt (possibilité d'implantations avec un tilt à 0°)
- Traitements thermiques
  - Remise à niveau de la commande des fours Freescale (avec l'aide du service I2C).

# Les équipements

La cellule équipements

Équipements installés en 2020

Procédures d'achat en cours

Procédures d'achat à venir

PEPR électronique

Extension de la plateforme

Prospective prioritaire, moyen et long terme

Liste des équipements

## CELLULE EQUIPEMENTS

Les objectifs et le fonctionnement de cette cellule sont identiques à ceux explicités les années passées dans les rapports COMTEAM disponibles sur HAL

## EQUIPEMENTS INSTALLES EN 2021

### **Machine ATG (analyse thermogravimétrique) 25K€-NEO**

Depuis septembre 2021, la zone Caractérisation accueille un nouvel appareil permettant l'analyse de changement de masse en fonction de la température (absorption ou désorption de matière, ...), Il est aujourd'hui utilisé pour l'analyse de perte de masse d'échantillon réactif (thermite).



<http://lims.laas.fr/WebForms/Equipment/EquipmentView.aspx?toolId=253>

### **Mise à jour du logiciel pour caractérisation I(V)**

Installation du soft EasyExpert (Nicolas Mauran et Eric Imbernon) sur la caractérisation I(V) pour l'acquisition automatique de mesure électrique. La notice d'utilisation est disponible sur [Myfab](#).

### **Plaque chauffante programmable Osiris 13.5K€**

La zone de photolithographie accueille depuis janvier 2021 la plaque chauffante en zone Chimie MOS. Cette plaque chauffante permet des recuits programmables en température jusqu'à 300°C avec une excellente planéité et la possibilité d'effectuer les recuits sous flux d'azote. Cette fonction a été revue et améliorée par le fabricant suite aux premiers tests effectués fin 2020.

### **Capteurs COV 500€ (IG/MICA)**

Avec l'équipe MICA et les services I2C IDEA, la zone de photolithographie a développé un [système de mesures de COV](#) (Composés Organiques Volatils) tels que les vapeurs d'acétone, d'éthanol, éthyl lactate ou encore PGMEA. Le système utilise pour le moment un [capteur commercial Sensirion](#), couplés à des capteurs fabriqués au LAAS par l'équipe MICA. Une étude est en cours pour déterminer la sensibilité en fonction des gaz. Ces capteurs sont présents dans la zone manuelle à côté des pailles de photolithographie et communiquent par wifi les mesures en temps réel sur une interface web [Grafana](#) (id : userphotol pwd: ph0t0lith0). Un second dispositif doit être installé dans la zone automatique.

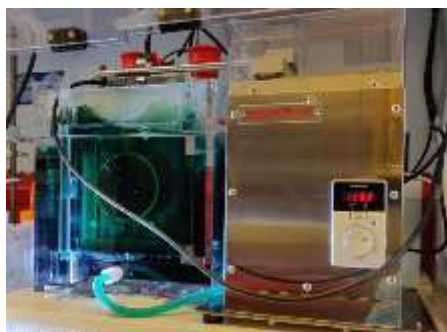




Figure : Capteur COV présent en photolithographie avec l'interface web

### **Equipement de dépôt de Nickel (Collaboration avec Yamamoto)**

La zone de dépôts électrolytiques accueille depuis décembre 2021 un réacteur de quatrième génération développé avec la société Yamamoto ; les tests et développements ont donné des résultats bien meilleurs qu'espérés.



<http://lims.laas.fr/WebForms/Equipment/EquipmentView.aspx?toolId=234>

### **Sorbonne électrochimie (40K€ - Multifab)**

En décembre 2021, dans le cadre du projet MultiFAB, la zone de dépôts électrolytiques s'est équipée d'une sorbonne spécifique aux équipements de dépôts Yamamoto 4/6 pouces. Actuellement le réacteur de dépôt de Nickel est installé et courant du printemps 2022, le nouveau réacteur dédié au cuivre y sera installé.

<http://lims.laas.fr/WebForms/Equipment/EquipmentView.aspx?toolId=256>



### **Plasma O2 (délaquage et traitement de surface) (26K€-Ressources propres)**

Depuis octobre 2021, la zone plasma accueille une nouvelle machine de traitement plasma oxygène. Le réacteur est constitué d'un tube en quartz (similaire au TEPLA et DINER) de 160 mm de diamètre et 280 mm de profondeur. Donc nous pouvons mettre horizontalement dans le réacteur, sur une plaque en quartz, des petits échantillons, 1 wafer 4" ou 6". Nous pouvons également mettre une nacelle 4".

Il est possible de faire des plasmas RF (13.56MHz) directs ou déportés. Il y a 4 gaz disponibles: O<sub>2</sub>, CF<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, Ar (0-100sccm). La puissance maximale est de 400W.



<http://lims.laas.fr/WebForms/Equipment/EquipmentView.aspx?toolId=255>

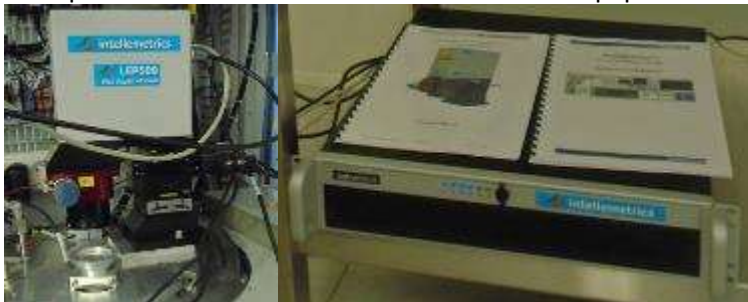
### Deux Interféromètres laser (38 k€ -Elia, MPN, NEO, MILE, MEMS, MINC, MICA, ISGE, IG TEAM)

La zone plasma s'est équipée de 2 interféromètres laser. Pour l'instant, un interféromètre est installé sur l'équipement ICP3. Différentes détections de fin d'attaque ont été testés :

ECI / Si ; SiO<sub>2</sub> (220nm) / Si ; Au (100nm) / Ti (100nm) / Si

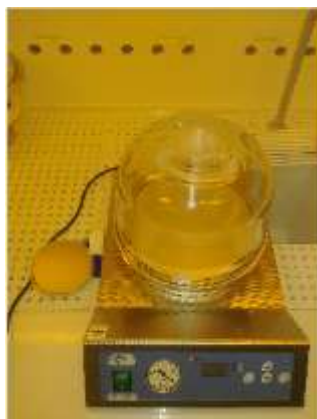
Nous arrivons à positionner le spot laser sur un carré de 100µm de côté.

Il est prévu d'installer le 2<sup>e</sup> interféromètre sur l'équipement Alcatel.



### Dessiccateur thermostatique sous vide (2K€ TEAM+MPN)

La zone traitement de surface accueille depuis décembre 2021 un dessiccateur thermostatique sous vide avec limiteur thermique de température ; températures réglables depuis l'ambiance jusqu'à 170°C. Cet équipement sert à la dessiccation de matériau et au greffage de SAM en phase vapeur. Un procédé de greffage de Trichloro(phenethyl)silane sur une surface de SiO<sub>2</sub> a pu être transféré avec succès.



<http://lims.laas.fr/WebForms/Equipment/EquipmentView.aspx?toolId=254>

### **Machine de développement et de gravure de masque de lithographie optique (250K€ RTB)**

La zone lithographie laser accueille depuis août 2021 une machine de fabrication de masque qui permet des procédés chimiques humides par sprays pour développer des résines photosensibles positives AZ, graver des couches de chrome, rincer et sécher des masques et réticules de tailles 4, 5, 6 et 7 pouces.



<http://lims.laas.fr/WebForms/Equipment/EquipmentView.aspx?toolId=252>

## PROCEDURES D'ACHAT EN COURS

### **FLIP CHIP (550K€: Equipex Nanofutur )**

La procédure d'acquisition de la machine de report de puces dont le lauréat est la société SET est terminée. La livraison est prévue fin mars 2022.

Cette machine aligne et reporte des composants de dimension carrée comprise entre 200 $\mu$ m et 100mm sur des substrats d'une taille carrée de 500 $\mu$ m à 150mm avec plusieurs techniques selon l'application ou le matériau utilisés. Ces techniques sont intégrées dans la machine et sont les suivantes : • Thermocompression • Collage thermique et ultraviolet • Procédé eutectique • Procédé thersosonique • Brasage



### **PROFILOMETRE OPTIQUE 3D SANS CONTACT (170K€ : Equipex Nanofutur )**

La procédure d'acquisition du profilomètre dont le lauréat est la société SENSO FAR est terminée. La livraison est prévue en mars 2022.

L'équipement présente une combinaison de 3 techniques qui sont : → L'interférométrie, → La mesure en mode confocal ET → La variation de focus. Le profilomètre est constitué d'une tête de mesure, d'une tourelle automatisée comprenant au minimum 5 objectifs permettant de faire le focus automatisé.



**SYSTEME D'ELLIPSOMETRIE SPECTRALE (235K€: QueT31 (REACT-UE))** La procédure d'acquisition de l'équipement dont le lauréat est la société ACCURION est terminée. La livraison est prévue en septembre 2022.

Le système d'imagerie d'ellipsométrie spectrale permet l'étude de substrat dont la taille maximale est de 100mm de diamètre. L'équipement permet de réaliser des mesures d'ellipsométrie spectroscopique à angle variable et résolue spatialement. Les mesures assurent la caractérisation de l'indice de réfraction, de l'absorption optique, de l'épaisseur d'une structure multicouche microstructurée avec une résolution latérale inférieure à 2  $\mu\text{m}$ .



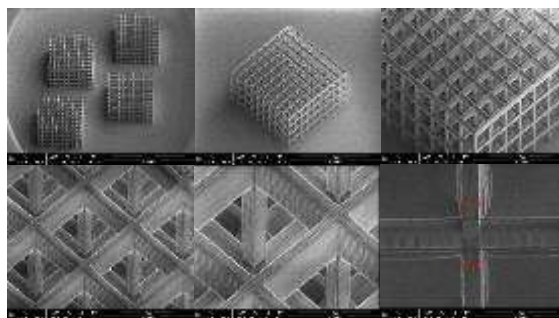
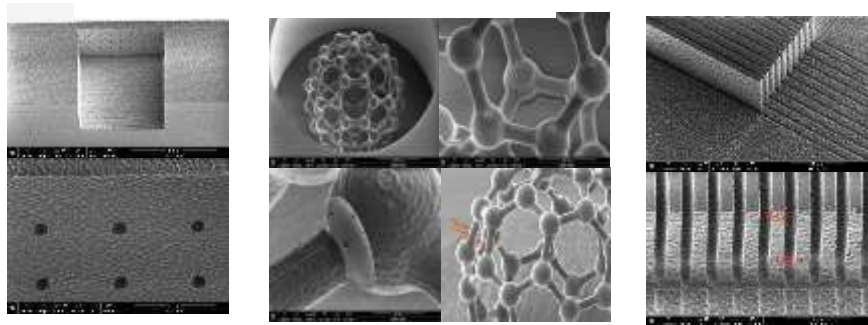
**MACHINE DE MICROSTRUCTURATION DE VERRE 3D PAR LASER (450K€ : Equipex Nanofutur )**

L'appel d'offre est lancé avec une date limite de réception des offres le 4 mars 2022 et une date de livraison espérée en avril 2023.

L'équipement composé d'un laser femtoseconde irradie une zone de travail de 150x150x60mm et permet de structurer de structurer la silice fondue et du borosilicate type Borofloat 33 ; d'ablater un métal ; de souder 2 parties silice fondue. Il est demandé en option une structuration 3D de polymères.

Il y a 2 fournisseurs possibles après expertise dont FEMTIKA, seul équipementier à répondre entièrement au cahier des charges.

### Structures sur quartz



Polymère  
Epaisseur 500µm

### **MACHINE D'ABLATION ET DE GRAVURE DES MATERIAUX PAR LASER FEMTOSECONDE (500~550K€ : Equipex Nanofutur )**

La machine avec son laser femtoseconde (IR et visible) découpe des wafers en silicium, verre et polymères (type PET ou Kapton) avec des formes à souhait. La découpe laser permet aussi la découpe de structures fragiles sans l'ajout d'une résine de protection ou l'utilisation d'eau pour enlever les contaminations particulières de coupes comme avec la découpe traditionnelle utilisant une lame de scie diamantée.

L'identification des fournisseurs est en cours avec expertise des échantillons.  
L'appel d'offre est en cours de montage. Délai de livraison 2<sup>nd</sup> trimestre 2023

### **PROCEDURES D'ACHAT A VENIR**

#### **PLASMA ATMOSPHERIQUE (230K€ : Equipex Nanofutur )**

Le traitement de surface par plasma atmosphérique permet le nettoyage et l'élimination des contaminations organiques, l'activation des surfaces, fonctionnalisation des moules de résine à très haut rapport de forme > 5:1 et la désoxydation. Ce procédé innovant permet l'application d'une passivation gazeuse qui retarde la ré-oxydation des surfaces métalliques. Avec ce traitement, l'adhésion de couches métalliques, semi-conductrices et organiques est accrue.

L'expertise de 2 fournisseurs est en cours ; envoi d'échantillons supplémentaires pour déterminer le lauréat. Le montage de l'appel d'offre devrait se faire fin du 1<sup>er</sup> semestre 2022 et une livraison en 2023



### **REACTEUR DE VIA FILLING (230K€ : Equipex Nanofutur )**

Ce réacteur permettrait de remplir des vias traversants et sa conception devrait améliorer les dépôts électrolytiques dans les moules à très haut rapport de forme 15 :1 ou dans des moules 3D



L'expertise de 3 fournisseurs est en cours. L'envoi d'échantillons est prévu courant mars 2022. Le montage de l'appel d'offre devrait se faire fin du 1<sup>er</sup> semestre 2022 et une livraison en 2023

### **SORBONE DE CHIMIE (110K€ : RTB 2020)**

Sorbone capable d'intégrer des fonctions de chauffage, refroidissement, pompage primaire réglable (1000 à 2 mbar), équipée d'une rampe à vide/gaz neutre (ligne de Schlenk) pour la réalisation de vide primaire plus poussé (vide limite 0,1-0,01 Pa). La ligne de Schlenk permettra la manipulation de substances à l'abri de l'oxygène et de l'humidité et la possibilité d'accéder à de nouveaux traitements de surfaces ou de manipuler ou synthétiser de nouvelles substances ou matériaux (type résines HSQ par exemple) ainsi que la protection renforcée de l'opérateur vis-à-vis de substances présentant un risque particulier. Enrichie des autres fonctions, le poste permettra de répondre de manière simple et fiable à des besoins de chauffage à reflux, purifications physico-chimiques, extraction qui sont impossibles ou difficiles à réaliser actuellement et à d'autres besoins tels que la lyophilisation de petits échantillons par exemple.

Les fournisseurs sont identifiés Le projet sera finalisé avec le nouvel IR Chimie avec une livraison prévue 2<sup>nd</sup> semestre 2022.

## **PEPR ELECTRONIQUE**

Le PEPR ELECTRONIQUE est doté de 35 M€ qui sont orientés pour soutenir les équipements du réseau RENATECH/RENATECH+ en lien avec la programmation thématique au sein du PEPR Electronique. Ce programme est très important pour l'ensemble du réseau RENATECH. (80% de cette somme devrait être réservée pour RENATECH, 20% pour les centrales régionales). La durée du PEPR est a priori de 4 ans (2022-2025).

La centrale de technologie du LAAS espère avoir une enveloppe de 4M€ dédiée à du renouvellement d'équipements.

### **LITHOGRAPHIE ELECTRONIQUE (2200K€)**

Ce masqueur électronique de nouvelle génération (100keV) permet une meilleure résolution (5-8nm), une rapidité plus que décuplée (vitesse de balayage x12.5, courant de faisceau x35) et une efficacité accrue. L'automatisation des réglages critiques facilite l'accès de la technique à un panel d'utilisateurs plus large et sans niveau d'expertise particulier ; tandis qu'un chargeur de 10 porte-échantillons lui permette de travailler en "continu".

L'expertise des équipementiers est en cours ; 4 équipements sont en cours d'analyse



RAITH



JEOL



ELIONIX



NANOBEAM

Il est demandé après concertation avec les chercheurs, la possibilité d'écriture de niveaux de gris et un porte échantillon spécifique avec une orientation précise du substrat.  
L'écriture de l'appel d'offre sera initié début du 2<sup>nd</sup> semestre 2022 avec publication espérée au dernier trimestre 2022. Il faut compter 10 mois de délai de livraison

### **MICROSCOPE ELECTRONIQUE A BALAYAGE HAUTE RESOLUTION (800K€)**

Le MEB avec une résolution inférieure au nanomètre acceptera des petits échantillons jusqu'à des substrats 6 pouces ; il sera équipé d'un EDX X-TREM afin de réaliser des analyses à basse tension (à partir d'1KeV) ce qui permettra des mesures sur verre et sur des nano objets (à partir de 50nm<sup>3</sup> contre 1µm<sup>3</sup> aujourd'hui). De plus, l'analyse des matériaux légers (C, B et Be) sera possible. Il pourra être équipé d'une option cryogénique ou environnementale pour observer des échantillons biologiques et des isolants.

L'expertise de 5 équipementiers est en cours.



FEI Verios 5



Zeiss Sigma



Jeol JSM



Hitachi S-8700



Tescan

L'écriture de l'appel d'offre sera initié début du 2<sup>nd</sup> semestre 2022 avec publication espérée au dernier trimestre 2022. Il faut compter 10 mois de délai de livraison

### **BATI DE GRAVURE PLASMA RIE-ICP CHLOREE (400K€-700K€)**

Ce bâti RIE-ICP chloré vient en remplacement des équipements Trikon ; nouvelle génération avec un meilleur contrôle sur les gravures GaAs et les métaux.  
3 équipementiers ont été identifiés : SPTS, Oxford et Sentech. Les devis vont du simple au double ; en fonction du budget disponible, les échantillons pour tests seront envoyés aux divers équipementiers.



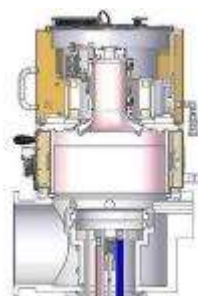
Oxford



Sentech

### **BATI DE GRAVURE PROFONDE DRIE (800K€)**

Ce bâti de haute performance permet un meilleur contrôle sur les gravures à très haut rapport de forme (>30), une faible rugosité des flancs de gravure (<50nm) et une détection de fin d'attaque par analyse optique du plasma en cours de procédé.  
2 équipements ont été identifiés ; les devis sont en cours.



SPTS



Oxford

## **EXTENSION DE LA PLATEFORME**

L'arrivée des équipements de lithographie électronique et du microscope électronique haute résolution nécessite une infrastructure exempte d'interférences physiques (vibrations) et électromagnétiques. Une étude d'extension de la plateforme est en cours avec un projet d'aménagement du rez-de-chaussée du bâtiment G d'une surface de 150m<sup>2</sup>. Cette extension accueillerait en plus des 2 équipements tous les MEB, le FIB et les AFM. Cela ferait un gain en mètre carrés en salle blanche pour l'accueil/hébergement d'entreprises innovantes.



1 : 116m<sup>2</sup> espace ouvert

2 : 51m<sup>2</sup> espace fermé pour application nécessitant un environnement spécifique

Plan salle blanche



## PROSPECTIVE EQUIPEMENTS PRIORITAIRES A MOYEN ET LONG TERME

Les diverses sources de financement des années passées (RTB, Equipex Nanofutur, PRRI Multifab, etc.) ou en attente d'arbitrage (PEPR Electronique) nous ont conduits à une mise à jour de la prospective du laboratoire.

Pour cela le service TEAM a proposé une liste priorisée aux départements scientifiques.

Ceux-ci ont pu amender cette liste.

Enfin une consolidation sous l'égide la Direction a permis d'établir la liste suivante comme étant celle des priorités du laboratoire.

En fonction des opportunités de financements nous nous appuyerons sur cette réflexion collective dans les années à venir ; avec une mise à jour régulière pour tenir compte des évolutions tant scientifiques que techniques.

| Liste d'investissement                                 | Prix (keuros) | Argumentaires succinct   | Priorité  |
|--|---------------|--|-----------|
| Masqueur électronique                                  | 2200          | Masqueur électronique pour Grand Sud-Ouest de la France  | <b>1</b>  |
| <b>MEB HR + EDX XTREM</b>                              | 800           | MEB haute résolution avec anayse basse tension   | <b>2</b>  |
| <b>Gravure plasma</b>                                  | 1200          | RIE ICP chlorée 400-700 k€   | <b>3</b>  |
|  |               | Gravure profonde 800 k€  | <b>3</b>  |
| <b>Système de traitement de gaz après procédés</b>     | 100           | Système d'abattement de gaz des gravures profondes (gaz halogénés)   | <b>3</b>  |
| <b>Adaptation d'infrastructure</b>                     | 1200          | pour héberger les équipements sensibles aux vibrations et des équipements d'entreprises innovantes   | <b>4</b>  |
| <b>Dispense et développement automatisé de résines</b> | 600           | meilleure résolution ainsi qu'une meilleure reproductibilité des opérations de lithographie.   |           |
| <b>Lithographie laser masques et réticules</b>         | 650           | Fabrication des masques et reticules de lithographie par lithographie directe LED  | <b>5</b>  |
| <b>CVD Dielectriques HighK</b>                         | 550           | Dépôt faible épaisseur matériaux highK/changement de phase (TMD) (VO <sub>2</sub> - TiO <sub>2</sub> - Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ...) sans plasma. Matériaux 2D (dichalcogénures : VS <sub>2</sub> - MoS <sub>2</sub> - MoSe <sub>2</sub> ...) pour électronique/photonique quantique |           |
| <b>PECVD</b>   | 80            | Dépôts PECVD en mode ECR ,CCP ou ECR+RF  |           |
| <b>Amincissement polissage Si et verre</b>             | 300           | Amincissement et polissage optique du Si , et du verres  |           |
| <b>boite à gant MBE 412</b>                            | 35            | conditionnement sous-vide d'échantillons avant transfert   | <b>6</b>  |
| <b>Tube phosphore sur les fours Centrotherm</b>        | 150           | Passage d'un tube en quartz à un tube en SiC pour atteindre des températures de recuit de 1150 °C  |           |
| <b>Evaporation par canon à électrons</b>               | 300           | Dépôts métalliques par pulvérisation cathodique  |           |
| <b>Option BSA sur MA6 GEN4</b>                         | 40            | Alignement face arrière en photolithographie   | <b>7</b>  |
| <b>AFM fastscan</b>                                    | 110           | Augmentation de la vitesse d'acquisition de l'AFM icon   |           |
| <b>Analyse des bains électrochimiques</b>              | 25            | suivi hebdomadaire des bains électrochimique. Équipements plus maintenus par fournisseur   |           |
| <b>Ellipsomètre multi longueur d'onde</b>              | 32            | Caractérisation in situ fine des matériaux lors des croissances épitaxiales  |           |
| <b>Implantation par immersion plasma</b>               | 800           | Implantations à très faible énergie et fortes doses  |           |
| <b>Micro nano dépôt</b>                                | 100           | Dépôt de gouttes du nano au micro litre avec une viscosité jusqu'à 8 000 mPa.s.  | <b>8</b>  |
| <b>Soudure filaire automatique</b>                     | 150           | Fiabilisation, répétabilité des soudures   |           |
| <b>AUGER sur MBE 412</b>                               | 60            | Auger sur MBE  |           |
| <b>Spray solvants pour lift-off</b>                    | 175           | meilleure efficacité et répétabilité du procédé, gain de temps, et amélioration de la sécurité   | <b>9</b>  |
| <b>Recuit photonique in-situ sur Ceradrop</b>          | 160           | traiter couche métallique déposée par jet d'encre ou spray sur substrats sensibles température   |           |
| <b>Cellule Arsenic</b>                                 | 110           | Nouvelle cellule As de 2000cc  | <b>9</b>  |
| <b>Traitement HF en système clos</b>                   | 350           | totallement sécurisé pour l'opérateur  |           |
| <b>Photo répéteur 5X</b>                               | 4000          | Stepper de lithographie UV par projection  | <b>10</b> |

Enfin nous diffuserons à destination des départements une liste des "petits" équipements d'un montant compatible avec les financements obtenus dans les AAP.

# FORMATIONS

La cellule formation

Formations dispensées par zone

Formations générales

Actions envisagées

Synthèse

## CELLULE FORMATION

Les objectifs et le fonctionnement de cette cellule sont identiques à ceux explicités les années passées dans les rapports COMTEAM disponibles sur HAL.

## FORMATIONS DISPENSEES PAR ZONES

### Assemblage

| 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                  | 7                                |
| <b>Formation pratique</b> | <b>Procédés de wire bonding</b>  | 4h        | 2                     | 6                  | 2                                |
|                           | <b>Procédé de lamination</b>     | 0,5h      | 12                    | 6                  | 12                               |
|                           | <b>Procédé de Pick&amp;Place</b> | 0,5h      | 2                     | 1                  | 2                                |
|                           | <b>Procédé de wafer Bonding</b>  | 3h        | 0                     | 0                  | 0                                |
|                           | <b>Procédé de flip chip</b>      | 4h        | 0                     | 0                  | 0                                |
|                           | <b>Polissage</b>                 | 1h        | 3                     | 3                  | 3                                |
|                           | <b>Découpe Graphtec</b>          | 1h        | 3                     | 3                  | 3                                |
|                           | <b>Impression 3D</b>             | 1h        | 2                     | 2                  | 2                                |
|                           | <b>Découpe scie</b>              | 21h       | 1                     | 21                 | 1                                |
|                           | <b>Caractérisation mécanique</b> | 4h        | 1                     | 4                  | 1                                |
| <b>TOTAUX</b>             |                                  |           | 27                    | 46                 | 33                               |

Le nombre de formation est en baisse sauf pour les activités de lamination qui reste constant. La baisse réelle est plus marquée qu'il n'y paraît car le nombre d'heures de formation reste globalement haut du fait de la formation de Julia sur beaucoup d'équipements d'assemblage. En 2021, le cours sur l'assemblage a eu lieu par visioconférence et sera renouvelé cette année. En parallèle, les cours sur l'assemblage seront aussi disponibles en vidéo (français et anglais) cette année.

### Caractérisation

| Type                      | Intitulé                                 | Durée (h) | Nombre de sessions/an | Durée totale/an(h) | Nombre total de participants /an |
|---------------------------|--|-----------|-----------------------|--------------------|----------------------------------|
| <b>Cours TEAM</b>         | <b>Introduction à la caractérisation</b> | 2h        | 1                     | 2                  | 19                               |
|                           | <b>Cours sur le MEB (Anglais)</b>        | 2         | 1                     | 2                  | 8                                |
| <b>Formation pratique</b> | FIB                                      | 2h        | 17                    | 34                 | 14                               |
|                           | MEB                                      | 3h        | 17                    | 45                 | 17                               |
|                           | AFM                                      | 3h        | 15                    | 38                 | 8                                |
|                           | Spectromètres                            | 1h        | 6                     | 7                  | 11                               |
|                           | DSC + TGA                                | 2h        | 3                     | 3,5                | 10                               |
|                           | Formation caractérisation pratique       | 1h30      | 16                    | 24                 | 51                               |
| <b>TOTAUX</b>             |  |           | 76                    | 156                | 138                              |

La formation des utilisateurs à la TGA lors de son installation n'est pas comptabilisée.

La zone caractérisation est énormément demandée concernant les formations utilisateurs car c'est une zone en libre-service avec des outils très différents. Il est nécessaire d'être vigilant car le fait de faire des formations « rapides » nécessite un suivi régulier et plus de risque de mauvaise manipulation.

Nous espérons pouvoir faire évoluer les formations sur 2 points : formation en 2 temps (e-learning + présentiel) et planning prévisionnel (sur les équipements les plus utilisés). L'arrivée de Mairame Diallo permettra d'alterner les formateurs, d'augmenter le suivi utilisateurs et espérons limiter le temps de maintenance.

## Chimie

| Type                      | Intitulé   | Durée (h) | Nombre de sessions /an | Durée totale/ an (h) | Nombre total de participants /an |
|---------------------------|--|-----------|------------------------|----------------------|----------------------------------|
| <b>Formation pratique</b> | Prévention du risque chimique en salle blanche : aspects pratiques et risques locaux | 2,5       | 15                     | 37,5                 | 46                               |
|                           | Fonctionnement et utilisation de la zone chimie                                      | 2,5       | 16                     | 40                   | 45                               |
| <b>Cours TEAM</b>         | Visio généraliste sur la prévention du risque chimique                               | 1,5       | 1                      | 1,5                  | 3                                |
| <b>TOTAUX</b>             |  |           | 32                     | 79                   | 94                               |

La formation sur les risques chimiques locaux complète les formations en ligne du CNRS (néo, très générale) et du service, ciblée sur les risques spécifiques salle blanche (ex. acide fluorhydrique). Elle présente de manière pratique comment comprendre les risques et utiliser les équipements de protection, et quoi faire en cas de problème. Elle permet de s'assurer que tous les utilisateurs de la salle blanche ont une connaissance théorique et pratique suffisante des risques présents et des moyens de les maîtriser.

La formation sur le fonctionnement et l'utilisation de la zone chimie présente les équipements et les procédés les plus classiques auxquels ils sont attachés, et comment utiliser ces équipements et procédés. Le cours TEAM qui a eu lieu en ligne aborde des aspects plus généraux.

Après une baisse en 2020 du nombre de formations assurées, consécutive à la crise du coronavirus et au confinement, on se rapproche en 2021 des chiffres de 2019.

## CVD

| Type              | Intitulé          | Durée (h) | Nombre de sessions/an | Durée totale/an(h) | Nombre total de participants /an |
|-------------------|-------------------|-----------|-----------------------|--------------------|----------------------------------|
| <b>Cours TEAM</b> | <b>CVD et ALD</b> | 1,5h      | 1                     | 1,5                | 6                                |

La première version du cours technologique CVD et ALD s'est déroulée en distanciel.

Une version par modules sera mise en ligne en 2022 avec la cellule « formations » du service TEAM.

## Dépôts sous vide

| Type                | Intitulé         | Durée (h) | Nbre de sessions/an | Durée totale/an (h) | Nombre total de participants/an |
|---------------------|------------------|-----------|---------------------|---------------------|---------------------------------|
| Formation théorique | Technique de PVD | 2h        | 1                   | 2                   | 2                               |
| Formation pratique  | Technique de PVD | 1h30      | 5                   | 7h30                | 2                               |
| <b>TOTAUX</b>       |                  |           | <b>6</b>            | <b>9h30</b>         | <b>4</b>                        |

Ces formations permettent de mieux comprendre les enjeux nécessaires à un dépôt de métal de bonne qualité (préparation des substrats, problématique des contaminations ...).

## Electrochimie

| Type                                | Intitulé   | Durée (h) | Nombre de sessions/an | Durée totale/an(h) | Nombre total de participants /an |
|-------------------------------------|--|-----------|-----------------------|--------------------|----------------------------------|
| <b>Cours TEAM</b>                   | <b>Cours dépôts électrolytiques</b>                          | 2         | 1                     | 2                  | 3                                |
| <b>Formations à des industriels</b> | <b>Les analyses chimiques liées au bain d'or</b>             | 1.5       | 1                     | 1.5                | 3                                |
|                                     | <b>Mise au point et optimisation d'un procédé de dépôt</b>   | 1.5       | 1                     | 1.5                | 3                                |
| <b>Formation pratique</b>           | <b>Formation aux analyses chimiques du bain d'or</b>         | 3         | 1                     | 3                  | 2                                |
|                                     | <b>Formation aux dépôts d'or et à leurs caractérisations</b> | 3         | 1                     | 3                  | 2                                |
|                                     | <b>Formation Utilisation KOH - TMAH</b>                      | 2         | 2                     | 4                  | 2                                |
| <b>TOTAUX</b>                       |  |           | <b>7</b>              | <b>15</b>          | <b>15</b>                        |

Cette année la zone a été sollicitée par la société Auxitrol pour former ses ingénieurs aux dépôts électrolytiques, aux analyses spécifiques des bains électrolytiques et à l'optimisation des dépôts en fonction des besoins du procédé de fabrication afin de pouvoir être autonome sur leur site de production à Bourges.

## Epitaxie par jets moléculaires

| Type                      | Intitulé   | Durée (h) | Nombre de sessions/an | Durée totale/an(h) | Nombre total de participants /an |
|---------------------------|------------|-----------|-----------------------|--------------------|----------------------------------|
| <b>Cours TEAM</b>         | <b>EJM</b> |           |                       |                    |                                  |
| <b>Formation pratique</b> | <b>EJM</b> | 6         | 5                     | 30                 | 1                                |
|                           | <b>DRX</b> | 2,5       | 4                     | 10                 | 4                                |
| <b>TOTAUX</b>             |            |           | <b>9</b>              | <b>40</b>          | <b>5</b>                         |

Les nouveaux doctorants pour lesquels l'épitaxie par jets moléculaire est une part importante de leur travail, sont systématiquement formés et suivis avant de pouvoir être laissés en autonomie complète. La durée du suivi est évaluée au cas par cas.

Le diffractomètre de rayons X est sollicité par les acteurs de la zone, mais aussi par de plus en plus de projets de la salle blanche dont les besoins sont variés (mesure d'épaisseurs ou de densités en XRR, analyse de phase cristallines en GIXRD). Les doctorants et post doctorants en faisant la demande sont formés à l'utilisation du diffractomètre lorsque leurs besoins sont récurrents.

### Gravure plasma

| Type                      | Intitulé                  | Durée (h) | Nombre de sessions/an | Durée totale/an(h) | Nombre total de participants /an |
|---------------------------|---------------------------|-----------|-----------------------|--------------------|----------------------------------|
| <b>Cours TEAM</b>         | <b>Gravure par plasma</b> | 2h        | 1                     | 2                  | 10                               |
| <b>Formation pratique</b> | <b>Plasma O2</b>          | 0.5h      | 18                    | 9                  | 50                               |
|                           | <b>Réacteurs RIE-ICP</b>  | 3x1h      | 10                    | 30                 | 10                               |
| <b>TOTAUX</b>             |                           |           | 29                    | 41                 | 70                               |

La formation concerne 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 d'environ 20 personnes.

### Jet d'encre et traitements de surface

| 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>   | 2h        | 1                     | 2                  | 7                                |
| <b>Formation CNRS</b>     | <b>Fabrication additive - dépôt par jet d'encre</b> | 3J        | 0                     | 0                  | 0                                |
| <b>Formation pratique</b> | <b>Viscosimètre</b>                                 | 1h00      | 1                     | 1                  | 1                                |
|                           | <b>Sécheur Tousimis</b>                             | 2h00      | 0                     | 0                  | 0                                |
|                           | <b>SPD</b>  | 0h30      | 10                    | 5                  | 10                               |
|                           | <b>SFD</b>  | 3h00      | 3                     | 9                  | 3                                |
| <b>TOTAUX</b>             |   |           | 15                    | 17                 | 21                               |

La formation CNRS est peu demandée, 1 à 2 personnes par an selon les années. Le nombre minimum que nous demandons actuellement est de 4 personnes pour dispenser la formation. Nous réfléchissons à baisser ce quota.

### Lithographie Laser

| Type                      | Intitulé   | Durée (h) | Nombre de sessions/an | Durée totale/an(h) | Nombre total de participants /an |
|---------------------------|--|-----------|-----------------------|--------------------|----------------------------------|
| <b>Cours TEAM</b>         | <b>Règles et outils pour la fabrication des masques optiques</b> | 1h30      | 1                     | 1.5                | 20                               |
|                           | <b>Lithographie laser</b>  | 1h30      | 1                     | 1.5                | 8                                |
| <b>Formation pratique</b> | <b>Logiciel CleWin5</b>  | 1h30      | 12                    | 15                 | 18                               |
|                           | <b>Dilase 750 et 3D</b>  | 3h        | 4                     | 12                 | 5                                |
|                           | <b>DWL 200</b>   | 2h        | 2                     | 4                  | 2                                |
|                           | <b>PP Nanoscribe</b>   | 3h        | 5                     | 15                 | 6                                |

|               |    |    |    |
|---------------|----|----|----|
| <b>TOTAUX</b> | 25 | 49 | 59 |
|---------------|----|----|----|

Ces formations permettent aux utilisateurs d’acquérir les bonnes pratiques pour la conception des dessins de masques et l’accès en libre-service des équipements Dilase et Nanoscribe.

### Nanolithographies

| Type                      | Intitulé                         | Durée (h) | Nombre de sessions/an | Durée totale/an(h) | Nb total de participants/an |
|---------------------------|----------------------------------|-----------|-----------------------|--------------------|-----------------------------|
| <b>Cours TEAM</b>         | <b>Lithographie électronique</b> | 2         | 2                     | 4                  | 2                           |
|                           | <b>Nano-impression</b>           | 2         | 1                     | 2                  | 9                           |
| <b>Formation pratique</b> | <b>Lithographie électronique</b> | 40        | 2                     | 80                 | 2                           |
|                           | <b>Nano-impression</b>           | 1         | 5                     | 5                  | 5                           |
| <b>TOTAUX</b>             |                                  |           | 10                    | 91                 | 14                          |

De l’avis des utilisateurs, le cours de lithographie électronique en e-learning, est utile à la compréhension des principes de base avant d’aborder la formation pratique sur la machine. La majeure partie du cours n’est pas spécifique à un équipement et, moyennant quelques aménagements, sera compatible avec le nouvel équipement à venir. À terme, La mise en ligne de ce cours sur le site de e-learning est prévue ainsi qu’une version en Français ...

### Photolithographie

| Type                      | Intitulé  | Durée (h) | Nombre de sessions/an | Durée totale/an(h) | Nombre total de participants /an |
|---------------------------|---|-----------|-----------------------|--------------------|----------------------------------|
| <b>Cours TEAM</b>         | <b>Cours théorique enregistré et mis en ligne</b> | 2h        | 1                     | 2                  | 10                               |
| <b>Formation pratique</b> | <b>Formation nouveaux utilisateurs</b>            | 2h        | 14                    | 28                 | 46                               |
|                           | <b>Formation équipements et procédés</b>          | 1h        | 30                    | 30                 | 30                               |
| <b>TOTAUX</b>             |   |           | 45                    | 60                 | 86                               |

Hausse importante du volume de formations avec la reprise d’activité post-covid19. Les « cours TEAM » ont été réalisés en distanciel en 2021, ce qui a permis d’enregistrer la session pour la mettre à disposition directement sur le site elearning [de TEAM](#).

Pour la formation des nouveaux entrants, 4 modules vidéos de 2 à 12 min sont mis en place pour connaître les principes de bases de la lithographie UV : principe, environnement, équipements et procédés. Ces vidéos sont en français et en anglais.



Figure : Page web pour l’accès aux vidéos de formation à la photolithographie

## Traitements thermiques et implantation ionique

| Type               | Intitulé               | Durée (h) | Nombre de sessions/an | Durée totale/an(h) | Nombre total de participants /an |
|--------------------|------------------------|-----------|-----------------------|--------------------|----------------------------------|
| Cours TEAM         | Oxydation thermique    | 1h        | 1                     | 1                  | 6                                |
|                    | Techniques de dopage   | 2h        | 1                     | 1                  | 9                                |
| Formation pratique | Fours de recuit métaux | 0,5h      | 3                     | 1,5                | 3                                |
|                    | Fours RTP              | 0,5h      | 2                     | 1                  | 2                                |
| <b>TOTAUX</b>      |                        | 4h        | 7                     | 4,5                | 20                               |

Le nombre de formations sur les équipements est équivalente à celle de l'année dernière. Les cours TEAM ont été dispensés en distanciel et enregistrés. Nous prévoyons de les mettre en ligne cette année.

### FORMATIONS GENERALES DISPENSEES EN 2021

#### Procédure d'accueil en salle blanche

La procédure d'accueil des nouveaux utilisateurs de la centrale de technologie est la suivante : L'entrée se fait en complétant un formulaire de demande d'accès à la plateforme :

<https://www.laas.fr/formulaires/acces-salleblanche>.

A partir de ces informations, les nouveaux utilisateurs reçoivent des identifiants pour les applications LIMS et Renatech, sont inscrits à l'alias « utilisateursalleblanche » et sont sollicités pour participer aux formations obligatoires pour l'accès en salle blanche. Le nouvel usage des outils Dupral permet aux nouveaux utilisateurs d'acquérir de manière autonome des connaissances de base pour le travail en salle en blanche et de tester leurs connaissances avant d'être formés en salle blanche. Les formations en ligne sont accessibles ici : <https://team-elearning-courses.laas.fr/fr/node/26>

En 2021, 57 nouveaux utilisateurs ont demandé et obtenu un accès à la plateforme après avoir validé les formations obligatoires. En général un nouvel arrivant au LAAS obtient un accès à la salle blanche dans un délai de 20 à 30 jours. Les nouveaux utilisateurs suivent les formations obligatoires sur une période de 8 à 12 jours puis leur accès à la salle blanche est validé dans les 48h.

Pour que l'organisation de l'accueil en salle blanche se fasse dans les meilleurs délais il est important que les informations demandées pendant les inscriptions soient complètes et correctes.

#### Formation générale aux nouveaux utilisateurs

Cette formation donne une vision globale de la centrale de technologie. Le contenu doit être consulté en ligne et validé en répondant au quizz : <https://team-elearning-courses.laas.fr/fr/node/36>. De plus cette formation permet aussi aux nouveaux utilisateurs de maîtriser les fonctionnalités de base de l'application MyFab pour la réservation des équipements de salle blanche. Les nouveaux utilisateurs doivent consulter les vidéos et répondre au quizz en ligne : <https://team-elearning-courses.laas.fr/fr/node/48>

Dispensée mensuellement, elle est obligatoire pour obtenir l'accès à la salle blanche. En 2021, 52 participants (27 en 2020) ont suivi cette formation.

#### 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. Au préalable les nouveaux utilisateurs doivent acquérir de manière autonome les bases de ces techniques et valider leurs acquis en suivant ce lien : <https://team-elearning-courses.laas.fr/fr/node/21>



### 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 d'environ 440 heures en 2021.

### Cours TEAM

Deux vidéos accessibles en ligne: <https://team-elearning-courses.laas.fr/fr/node/27> présentent une introduction au fonctionnement de la plateforme de micro nano technologie du LAAS-CNRS, une vue des principales ressources disponibles en terme de natures des matériaux et types d'équipements et les domaines d'applications ciblés par le développement de projets soutenus par la plateforme.

En 2021 les « cours TEAM » ont été suivis en visioconférence par 27 participants. Le contenu représente une trentaine d'heures d'intervention qui se décompose en une vingtaine de présentations techniques dispensées par 17 personnels du service TEAM.

Ces cours évoluent aussi vers la création de nouveaux supports accessibles en ligne: <https://team-elearning-courses.laas.fr/fr/node/32>.

### Formation continue

CNRS formation entreprise a intégré dans son catalogue 2 nouvelles formations proposées par le service:

- Fabrication additive: dépôt par jet d'encre
- Impression 3D laser: applications pour la conception de microsystèmes et puces micro-fluidiques.

### CV Myfab

Les formations dispensées par le service TEAM sont référencées dans l'application LIMS et la participation des utilisateurs de la salle blanche aux formations est gérée dans l'application. Cette application permet de générer un CV par utilisateurs des compétences acquises au sein de la centrale de technologie.

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

### Cours TEAM

En 2022 les « cours TEAM » seront proposés en présentiel de fin mai à la mi-juin.

Une évolution des contenus vers de nouveaux supports interactifs doit permettre à terme de proposer un maximum de ces cours en ligne avec une validation des connaissances par l'usage de quizz proposés aux apprenants. Ainsi l'organisation des cours TEAM sera modifiée pour proposer des réunions visant à favoriser des échanges en lien avec les problématiques des utilisateurs et des présentations de nouvelles techniques.

### Formation continue

Du 5 au 6 avril 2022, CNRS formation entreprise organise au LAAS la formation « Impression 3D laser: applications pour la conception de microsystèmes et puces micro-fluidiques ». 5 Stagiaires seront formés par les services I2C et TEAM et l'équipe ELIA.

## SYNTHESE

### Bilan global

Les actions de formation sont essentielles au bon fonctionnement de la plateforme. Elles nécessitent un investissement important aux personnels du service. Le tableau suivant qui synthétise les formations dispensées ne traduit que la partie visible du travail effectué. Car à cela il faut ajouter la préparation/mise à jour des supports, ainsi que les développements de supports liés au passage vers des formations en ligne.

| Type                        | Nombre de sessions/an | Durée totale/an(h) | Nombre total de participants /an |
|-----------------------------|-----------------------|--------------------|----------------------------------|
| <b>Cours "théoriques"</b>   | 17                    | 30                 | 129                              |
| <b>Formations pratiques</b> | 272                   | 581.5              | 440                              |
| <b>TOTAUX</b>               | 289                   | 611.5              | 569                              |

### Nouveaux supports de formation en ligne

Le déploiement de nouveaux supports de formation en ligne est en cours. Cette activité demande un investissement important qui ne pourra être pleinement assumé que sur un temps long.

Nous cessons d'utiliser le Moodle de l'UPS pour proposer l'accès à ces contenus en ligne car l'usage des outils Dupral est plus rapide. Les formations en ligne sont accessibles ici : <https://team-elearning-courses.laas.fr/fr/node/26>

### Formation continue

Le succès des deux projets de filière technologiques déposés à la Région (Thermie et MultiFAB) nous a conduit à développer des formations à destination de l'extérieur (formation continue ou vers des académiques). Une première formation sera dispensée en avril 2022 avec le soutien de CNRS formation entreprise.

# SECURITE

La cellule sécurité

Relevé des actions conduites

Principales actions en cours

Principales actions envisagées

Synthèse

## CELLULE SECURITE

Les objectifs et le fonctionnement de cette cellule sont identiques à ceux explicités les années passées dans les rapports COMTEAM disponibles sur HAL.

Deux membres sur 5 ne désirent plus participer.

On note une baisse significative de la motivation autour des problèmes de prévention et de sécurité par :

- Manque de personnels suite aux départs de 2 personnes non remplacés
- Obligation de détournement d'une partie des missions dédiées aux projets scientifique vers des missions nécessaires au fonctionnement de la salle blanche
- Perte de sens et d'intérêt = situation de Risque Psycho Social en perspective

## RELEVÉ DES ACTIONS CONDUITES

### Contrôle de l'ensemble des postes de chimie :

La certification réglementaire de la protection effective des usagers a été réalisée par une entreprise extérieure : pas de problème particulier à noter sur les plans de travail contrôlés.

### Extraction EVRP liée à la salle blanche :

Nous ne mentionnons ici que les actions conduites en 2021. L'ensemble des colonnes n'étant pas affiché par soucis de clarté, vous pouvez consulter le document unique pour les détails.

| Référence | Bât.                    | Etage    | Lieu              | Libellé poste    | Facteur de risque                          | Modalités d'exposition  | Carences                           |
|-----------|-------------------------|----------|-------------------|------------------|--|---|------------------------------------|
| R152/2021 | F                       | Niveau 1 | Gravure Sèche     | Partout          | Risque chimique                            | Possible inhalation de gaz fluorés ou soufrés                         |                                    |
| R153/2021 | F                       | Niveau 1 | Photolithographie | Postes de chimie | Risque chimique                            | Exposition du personnel aux composés organiques volatils              |                                    |
| R153/2021 | F                       | Niveau 1 | Photolithographie | Tournettes       | Risque chimique                            | Exposition du personnel aux composés organiques volatils              |                                    |
| R154/2021 | Local extérieur azote 1 |          |                   |                  | Liquides cryogéniques et bouteilles de gaz | Tuyauterie de conduite de l'azote non protégée                        | Absence de grillage                |
| R155/2021 | Local extérieur azote 2 |          |                   |                  | Liquides cryogéniques et bouteilles de gaz | Risque de contact avec un tuyau de distribution de fluide cryogénique | Manque d'un grillage de protection |
| R157/2021 | Bâtiment G2             | Niveau 1 | EJM               | Bâti EJM         | Risque chimique                            | Contact avec des débris d'arséniure de gallium présent dans les bâtis | Aspirateur usé                     |

**Tableau des actions conduites et à conduire (hors actions précitées) :**

Dans l'EVRP, ne sont plus enregistrées que les déclarations structurantes/importantes éligibles à un financement par l'INSIS. Le tableau que nous avons mis en place pour faire un suivi de l'ensemble des actions réalisées "au fil de l'eau" n'a pas été utilisé en 2021.

L'appropriation de l'outil ne s'est pas faite : travail redondant et apparaissant comme inutile, manque de disponibilité et/ou de disponibilité ...

L'outil sera supprimé.

**PRINCIPALES ACTIONS EN COURS****Procédure d'inventaire des réfrigérateurs et congélateurs**

Rédaction de la procédure en cours : principe participatif.

À partir des photos des produits stockés réalisées par 2 personnes, il sera demandé aux utilisateurs de classer, par équipement, l'ensemble des produits qui les concernent dans l'un des répertoires créés : "à conserver" ou "à éliminer" en vérifiant que le produit a bien été déclaré dans RICH. L'inventaire de l'ensemble de nos équipements de stockage à froid a été réalisé en ~2h. Il faut y ajouter ~2h pour renommer les images des produits.

Nous prévoyons de faire un test en interne avant de le généraliser en l'intégrant dans une heure soleil plus ou moins spécifique : annuelle ou semestrielle ...

**Protocole sécurité chargement /déchargement :**

Obligation légale à mettre en place pour tout chargement/déchargement : des documents facilitateurs sont en cours d'élaboration.

**PRINCIPALES ACTIONS ENVISAGEES****Mise à jour des détecteurs incendies :**

Pas de détecteurs en photolithographie, chimie exploratoire, une partie de l'électrochimie et dans le sas machine ou sont stockés quelques produits chimiques dédiés au nettoyage, peu dangereux mais inflammables.

**Étude du stockage au RdC de la salle blanche :**

Suite à la visite des pompiers, un rapport a été remis à la Direction du laboratoire concernant le risque incendie au niveau de la zone dite de stockage qui devrait être occupé par l'atelier de mécanique durant les travaux de réfection du bâtiment B ... et dont l'aménagement en salle blanche est envisagé pour y installer les appareils de haute technologie sensibles aux vibrations.

Solutions possibles : tri et stockages externes pour diminuer le risque incendie sous la salle blanche.

**Rangement des couloirs techniques :**

Les couloirs techniques côté sud-est sont devenus difficilement praticables (~60cm pour se déplacer vers une issue de secours : prolifération d'armoires, de tables, de produits chimiques, ..., certaines installations "récentes" d'équipements empiètent sur la zone circulaire.

Les pompiers ne peuvent clairement pas circuler quand ils sont équipés et en cas d'évacuation il y a potentiellement un risque d'engorgement.

**Revoir le plan de prévention de l'entreprise de nettoyage :**

Il devrait être signé annuellement mais ne l'a pas été avec la nouvelle société :

- Nous pouvons en profiter pour revoir et mettre à jour le contenu
- Refaire une visite avec les personnels concernés (du LAAS et de la société ATALIAN) pour que tout soit clair sur ce qui doit ou ne doit pas être fait et le comportement à adopter en cas de non-respect des consignes par les personnels du LAAS

### **Inventaire des armoires à produits chimiques :**

Pour faire suite à l'inventaire des produits stockés dans les équipements de stockage à froid afin d'avoir un inventaire "complet" des produits que nous utilisons. Pour rappel : moins de la moitié des produits est déclarée dans RICH qui alimente DEFIE.

### **Exposition au bruit :**

Nous passons dans une phase de suivi au fil des modifications de la salle blanche : une mesure régulière par un organisme extérieur pourrait être envisagée avec une périodicité à déterminer ou à chaque gros changement dans la configuration (nouvel équipement, modifications de cloisons, ...) ou à chaque signalement ou plainte d'un usager ...

## **SYNTHÈSE**

Baisse de la motivation autour des problèmes de prévention et de sécurité, manque de personnels (départs non remplacés), retard dans l'application/non-respect/détournement des consignes : il faut réorganiser la cellule et remobiliser autour de ces sujets grâce à l'intelligence collective ... pour la sécurité de toutes et tous ainsi que pour la sécurité de notre outil de travail.

# BUDGET

Éléments de contexte

Dépenses 2021

Prévisionnel dépenses 2022

Prévisionnel pluriannuel (Réseau Renatech)

Certification des tarifs et facturation

## ELEMENTS DE CONTEXTE

### Périmètre analysé

Les analyses budgétaires à l'échelle de la plateforme peuvent paraître complexe la nature des rubriques présentées dans les diverses versions du budget fait " naturellement " apparaître des variations.

Les chiffres présentés ici le sont dans un objectif d'analyse qui doit nous permettre d'optimiser l'usage des fonds qui sont alloués

### Exécution du budget

Depuis début 2018 l'exécution budgétaire a été grandement simplifiée par la remise à plat des lignes utilisées pour le fonctionnement de la plateforme. Il convient à ce stade de souligner l'expertise et le soutien du service gestion dans ces évolutions et leur exécution sans faille depuis leur mise en place.

Les lignes budgétaires sont les suivantes.

Sept pour les dépenses

- 101301IG Salle Blanche Support : tout ce qui concerne des adaptations ou évolutions de l'infrastructure salle blanche
- 101302 IG Salle Blanche conso et fournitures : les consommables utiles pour les produits facturés et les fournitures achetées pour une personne ou un projet en particulier ; hors fluides généraux (gaz et électricité) qui sont pris en charge par le budget général du laboratoire
- 101303 IG Salle Blanche Maintenance : tout ce qui touche la maintenance (pièces et main d'œuvre).
- 101304 Salle blanche équipements hors RTB: les achats d'équipements faits hors dotations ANR RTB qui seront amortis
- 101304 Salle blanche équipements RTB : les achats d'équipements faits avec la convention RTB 2018 qui seront amortis
- 101304 salle blanche équipement RTB reports 2012 à 2017 : les achats d'équipements faits avec les conventions RTB 2012 à 2017 qui seront amortis
- 101045 LEAF : les dépenses liées à l'équipex LEAF

Ces lignes de dépenses sont exclusivement alimentées par

- La dotation TGIR dans le budget FEI du laboratoire
- Les recettes salle blanche
- L'abondement Nanofutur
- Les convention ANR RTB

Une ligne pour les recettes générées par la facturation auditable

- Recettes salle blanche

Il n'y a donc aucun prélèvement "à priori des opérations technologiques" sur les contrats supports des projets de recherche. Les seuls prélèvements sont ceux "à posteriori des opérations technologiques" de la facturation certifiée.



## DEPENSES 2021

### Dépenses sur les budgets FEI et Ressources propres banalisées (hors fluides)

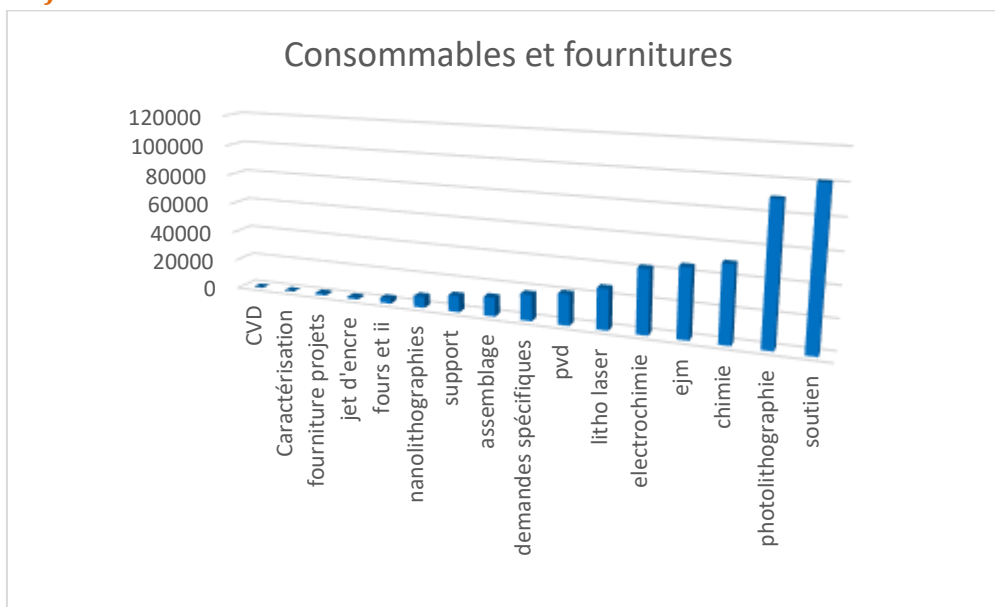
La répartition des dépenses a été la suivante



Classiquement les deux postes les plus importants concernent les consommables et la maintenance. Il convient de continuer à souligner la maîtrise de nos frais de maintenance. Même si le chiffre intrinsèque est très important il représente environ 1% de la valeur totale du parc d'équipements.

### Dépenses tous budgets confondus (hors RTB et hors fluide)

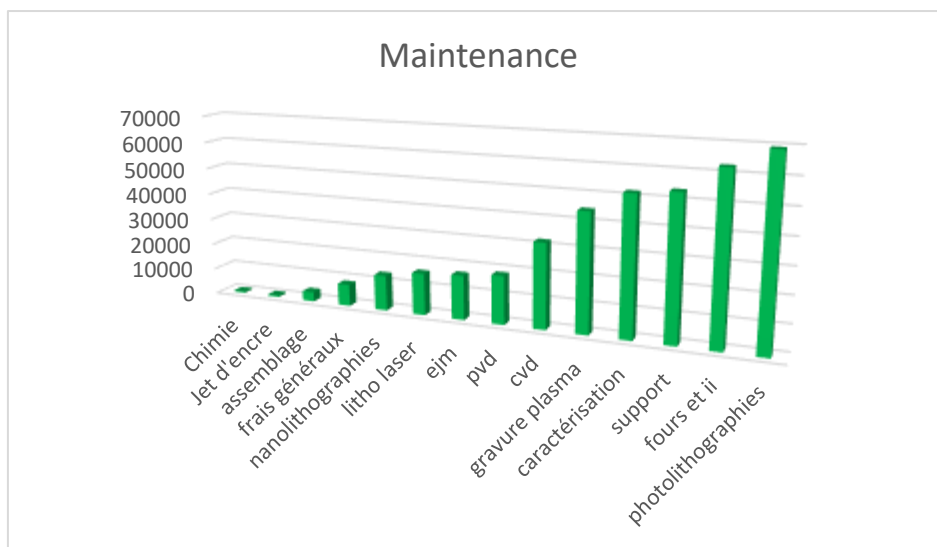
#### Consommables et fournitures



Les postes les plus élevés s'expliquent notamment par les raisons suivantes

- Soutien :
  - Le contrat pour l'azote gazeux
  - Consommables du quotidien (gants, charlottes, surchausses, etc.).
- Photolithographie
  - Résines et développeurs
  - Substrats
- Chimie : produits chimiques pour l'ensemble de la salle blanche
- EJM : achat des substrats III-V
- Dépôts électrolytiques : remplacement du bain d'or

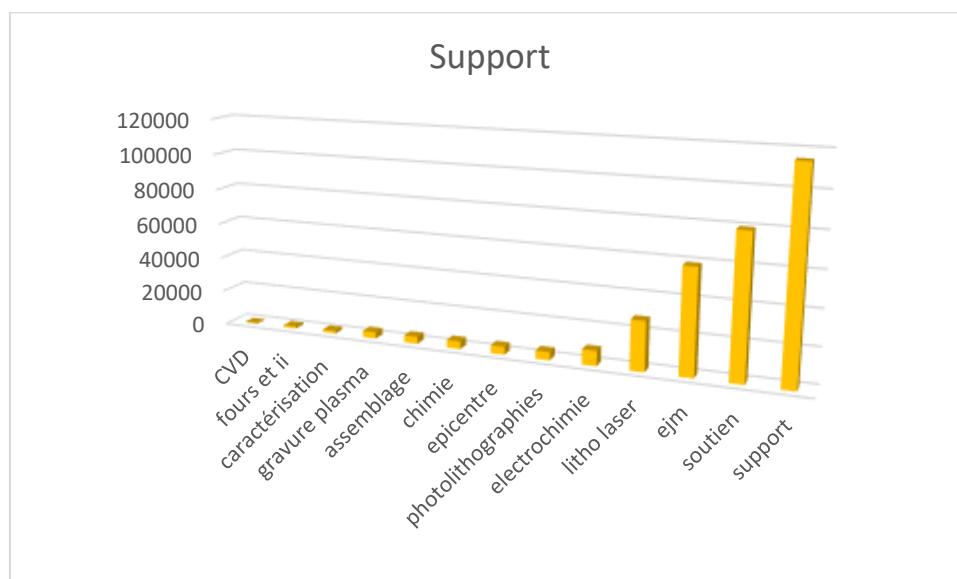
### Maintenance



Les postes les plus élevés s'expliquent notamment par les raisons suivantes

- Les postes les plus élevés sont ceux pour lesquels nous avons des contrats de maintenance et/ou pour lesquels nous avons des pièces à changer.

### Support

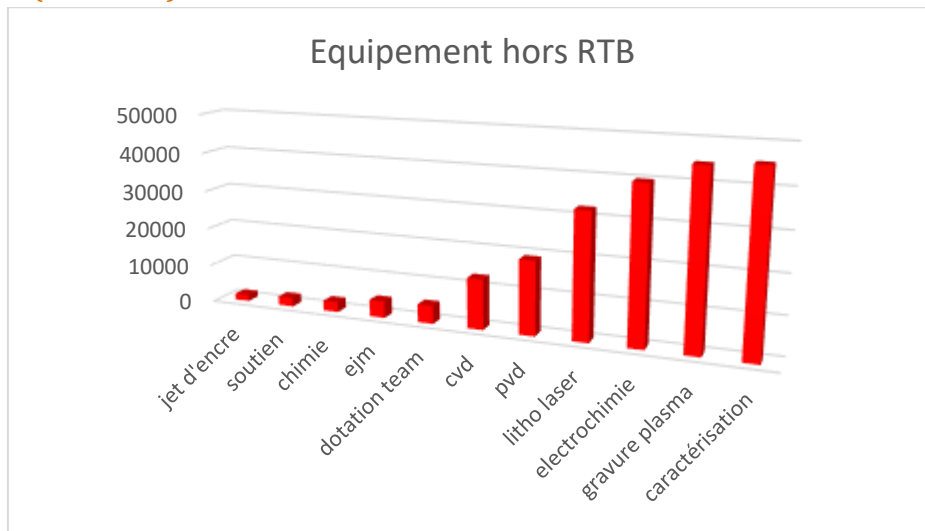


Les postes les plus élevés s'expliquent notamment par les raisons suivantes

- Support :

- Contrat de ménage de la salle blanche qui demande 46 k€ par an,
- Partie azote gazeux de l'opération spéciale pour la rénovation des radiers sous les tankers d'azote.
- Soutien : la ligne la plus élevée concerne la location des tenues de salle blanche (30 k€).
- EJM : Partie azote liquide de l'opération spéciale pour la rénovation des radiers sous les tankers d'azote.

### Petits équipements (Hors RTB)

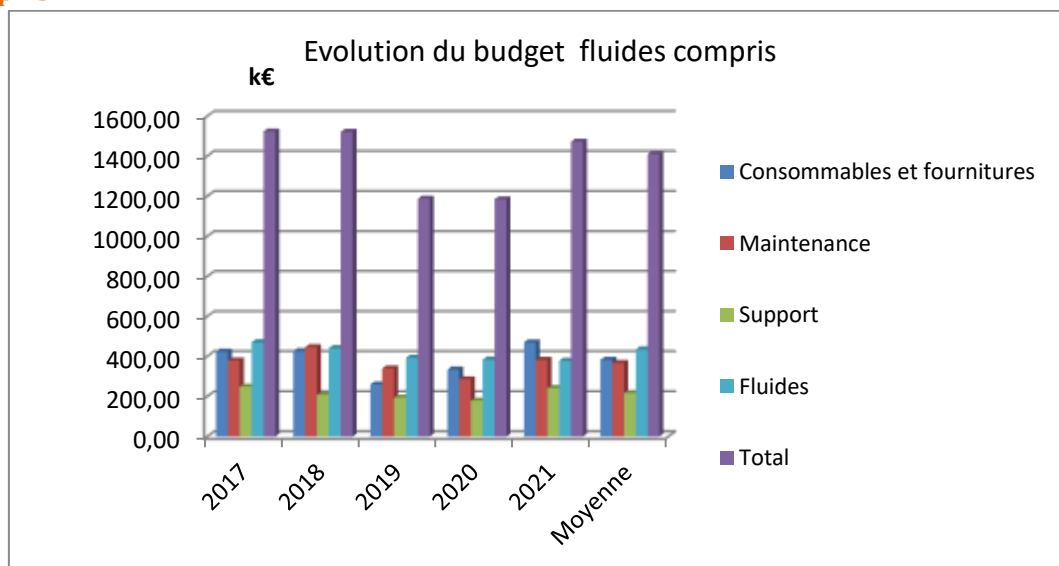


Les postes les plus élevés s'expliquent notamment par les raisons suivantes

- Caractérisation : achat ATG et réparation EDX
- Gravure plasma : achat plasma O2 et interféromètres
- Electrochimie : achat hotte
- Lithographie laser : module GT2+ du nanoscribe
- PVD : Achat étuve de recuit du Parylène

### Evolution pluriannuelle (hors équipement)

#### Fluides compris



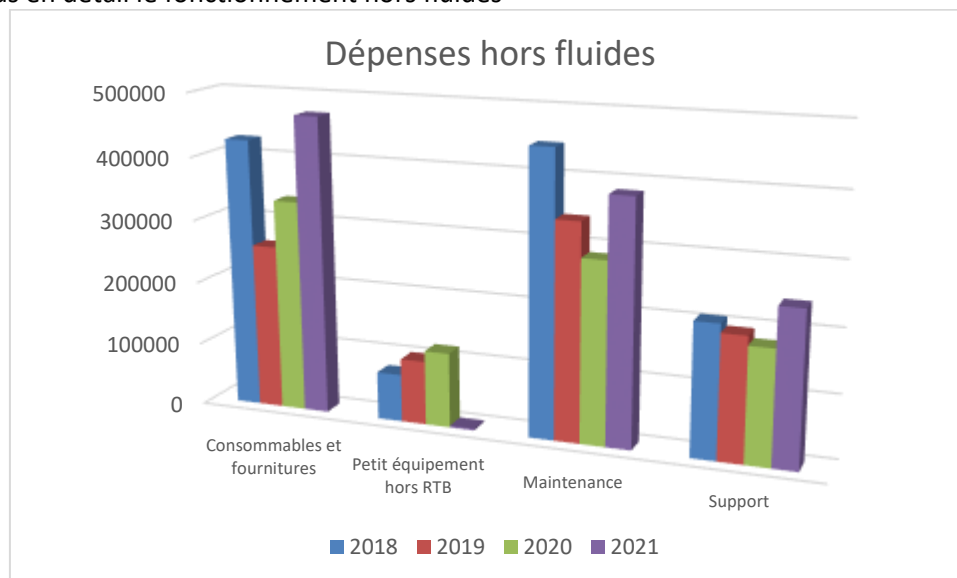
Le budget exécuté (fluides compris) retrouve les niveaux de 2018 malgré la baisse d'activité liée à la pandémie

- La baisse en 2019 s'explique par la période de fermeture de la salle blanche pour travaux
- La baisse de 2020 est imputable à la baisse d'activité liée au covid

- En 2021 nous retrouvons des niveaux de fonctionnement habituels.
  - Concernant les fluides les baisses de consommations liées aux travaux sont compensées par les hausses des tarifs.

### Hors fluides

Si l'on regarde plus en détail le fonctionnement hors fluides



- La hausse des consommables s'explique notamment par la partie livraison de l'opération spéciale de rénovation des dalles sous les tankers d'azote
- Celles des petits équipements par des achats principalement financés par des contrats supports de projets de recherche.
- La maintenance est en hausse du fait de quelques pannes importantes.
- Enfin le support est en augmentation en raison de la partie infrastructure de l'opération spéciale de rénovation des dalles sous les tankers d'azote

## PREVISIONNEL DEPENSES 2022

### Demande FEI 2022

Il s'agit ici de la demande formulée en septembre 2021

Hors fluides les divers postes sont reportés dans la tableau suivant

| Référentiel budgétaire (unité €)  | Demande FEI |
|---|-------------|
| <b>A1 - FOURNITURES ET CONSOMMABLES DE BUREAU</b>                                     | 1000        |
| <b>A2 - MOBILIER ET MATERIEL DE BUREAU</b>  | 0           |
| <b>A3 : FLUIDES</b>   | 372882,3456 |
| <b>A4-AUTRE DEPENSES</b>  | 10000       |
| <b>B2 : CONSOMMABLES DE LABORATOIRE, PETITS MATERIELS et EQUIPEMENTS DE PAILLASSE</b> | 0           |
| <b>B3 GAZ ET PRODUITS POUR LE PROCESS</b>   | 0           |
| <b>B4 :GROS EQUIPEMENTS DE LABORATOIRE</b>  | 20582       |

|   |                |
|---|----------------|
| B5 GROSSE INSTRUMENTATION SCIENTIFIQUE                    | 64880          |
| B6 : OPTIQUE  | 0              |
| B7 : ELECTRONIQUE / MESURES ELECTRIQUES                   | 281377         |
| B8 : PHYSIQUE- MESURE PHYSIQUE-MECANIQUE                  | 42000          |
| B12 : HYGIENE ET SECURITE                                 | 133923,4       |
| C1 : MISSIONS DEPLACEMENTS                                | 17000          |
| D2 : ABONNEMENT CONSOMMABLES [LOGICIEL ET MATERIEL]       | 12929          |
| D3 : ACHATS [LOGICIEL ET MATERIEL]                        | 0              |
| E3 : CONSTRUCTION ET MAINTENANCE RELEVANT DU PROPRIETAIRE | 67541,4752     |
| <b>TOTAL</b>  | <b>1023115</b> |

Ce budget reste dans la ligne des années précédentes.

**Toutefois il faut noter que depuis la construction de ce budget le coût de l'énergie a très fortement augmenté. Ainsi au 1<sup>er</sup> janvier 2022 le prix du MWh dans le cadre du marché national est passé de 51 à 102 €. Cela aura un impact certain sur la réalisation du budget 2022.**

## PREVISIONNEL PLURIANNUEL (RESEAU RENATECH)

Chaque début d'année les plateformes du réseau Renatech se livrent à l'exercice de budgets prévisionnels pluri annuels.

Ces éléments sont utiles pour l'obtention, au titre de l'appartenance à l'Infrastructure de Recherche Renatech, de la ligne FEI présentée au paragraphe précédent.

Les lignes de ce budget abordent des aspects différents de ceux présentés précédemment. Notamment la ligne fonctionnement tient compte des fluides généraux.

### Demande TGIR/IR 2023-2025

Version du :

31-janv-22

|                                 |                                | AE = Engagements juridiques |              |              |              |              | Exécuté      |              | Demande      |              |  |
|---------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--|
|                                 |                                | 2017                        | 2018         | 2019         | 2020         | 2021         | BP           | 2023         | 2024         | 2025         |  |
| <b>DEPENSES liées à la TGIR</b> |                                |                             |              |              |              |              |              |              |              |              |  |
| <i>Fonctionnement</i>           |                                | 1,524                       | 1,522        | 1,263        | 0,980        | 1,512        | 1,549        | 1,580        | 1,612        | 1,644        |  |
|                                 |                                |                             |              |              |              | 0,448        | 0,636        | 0,665        | 0,678        | 0,692        |  |
|                                 |                                |                             |              |              |              | 0,362        | 0,529        | 0,540        | 0,550        | 0,561        |  |
|                                 |                                |                             |              |              |              |              |              |              |              |              |  |
|                                 |                                |                             |              |              |              | 0,016        | 0,017        | 0,017        | 0,018        | 0,019        |  |
|                                 |                                |                             |              |              |              | 0,070        | 0,090        | 0,108        | 0,110        | 0,112        |  |
| <i>Investissement</i>           |                                | 1,456                       | 1,008        | 0,355        | 0,675        | 2,355        | 1,824        | 3,585        | 0,328        | 0,328        |  |
| <i>Personnel</i>                | <i>Personnel non permanent</i> | 0,130                       | 0,073        | 0,054        | 0,103        | 0,070        | 0,162        | 0,197        | 0,198        | 0,175        |  |
|                                 | <i>Personnel permanent</i>     | 2,303                       | 2,405        | 2,300        | 2,417        | 2,257        | 2,290        | 2,263        | 2,244        | 2,246        |  |
| <b>TOTAL DEPENSES</b>           |                                | <b>5,413</b>                | <b>5,008</b> | <b>3,972</b> | <b>4,176</b> | <b>6,194</b> | <b>5,825</b> | <b>7,625</b> | <b>4,382</b> | <b>4,393</b> |  |

|  |                                       |   | Exécuté                         |              |              |              |              | BP           | Demande      |              |              |              |
|--|---------------------------------------|---|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|  |                                       |   | 2017                            | 2018         | 2019         | 2020         | 2021         | 2022         | 2023         | 2024         | 2025         |              |
| AE = Engagements juridiques            |                                       |   |                                 |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
| <b>BUDGET CNRS</b>                     | Budget CNRS<br>Ligne TGIR             | Fonctionnement                          | <i>Fonctionnement récurrent</i> | 0,620        | 0,755        | 0,714        | 0,677        | 0,705        | 0,820        | 0,820        | 0,820        | 0,820        |
|  |                                       |   | <i>Petits équipements</i>       |              | 0,075        | 0,101        | 0,118        |              |              |              |              |              |
|  |                                       | <b>Total Fonctionnement</b>             | <b>0,620</b>                    | <b>0,830</b> | <b>0,815</b> | <b>0,795</b> | <b>0,705</b> | <b>0,820</b> | <b>0,820</b> | <b>0,820</b> | <b>0,820</b> | <b>0,820</b> |
|  | Investissement                        | <i>Projets en cours de réalisation</i>  |                                 |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
|  |                                       | <i>Nouveaux projets</i>                 |                                 |              |              |              | 0,095        |              |              |              |              |              |
|  |                                       | <b>Total Investissement</b>             |                                 |              |              |              | 0,095        |              |              |              |              |              |
|  | <b>TOTAL DOTATION TGIR [A]</b>        |   |                                 | <b>0,620</b> | <b>0,830</b> | <b>0,815</b> | <b>0,795</b> | <b>0,800</b> | <b>0,820</b> | <b>0,820</b> | <b>0,820</b> | <b>0,820</b> |
|  | Budget CNRS<br>Autres lignes          | <b>CPER (2015-2020)</b>                 |                                 |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
|  |                                       | <b>Dotation complémentaire Institut</b> |                                 |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
|  |                                       | <i>Investissements d'avenir*</i>        |                                 | 0,080        | 0,093        | 0,067        |              | 0,719        | 1,170        | 3,000        |              |              |
| <i>Opérations Immobilières</i>         |                                       | 0,150                                   | 0,240                           | 0,160        |              | 1,337        |              |              |              |              |              |              |
| <i>Prestations labos académiques</i>   |                                       |   |                                 |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
| <i>FEI autre que ligne TGIR (LAAS)</i> |                                       |   |                                 |              | 0,272        | 0,022        |              |              |              |              |              |              |
| <i>CDD (C2N)</i>                       |                                       |   |                                 |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
| <i>Autres [RP C2N]</i>                 |                                       |   |                                 |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
| <i>FEI IEMN</i>                        |                                       |   |                                 |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
| <i>RPB IEMN</i>                        |                                       |   |                                 |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
| <i>RPB LAAS</i>                        |                                       |   |                                 |              |              | 0,434        | 0,313        | 0,344        | 0,409        | 0,428        |              |              |
| <b>TOTAL autres lignes [B]</b>         |                                       |   | <b>0,230</b>                    | <b>0,333</b> | <b>0,227</b> | <b>0,272</b> | <b>2,512</b> | <b>1,483</b> | <b>3,344</b> | <b>0,409</b> | <b>0,428</b> |              |
| Budget CNRS<br>Personnel<br>permanent  | <b>ETPT**</b>                         |   | 28,4                            | 29,8         | 28,4         | 29,9         | 27,7         | 28,2         | 27,8         | 27,5         | 27,6         |              |
|  | <b>Coût personnel permanent [C]**</b> |   | 2,124                           | 2,226        | 2,123        | 2,230        | 2,070        | 2,103        | 2,076        | 2,057        | 2,059        |              |
| <b>TOTAL CNRS [I =A+B+C]</b>           |                                       |   | <b>2,974</b>                    | <b>3,389</b> | <b>3,165</b> | <b>3,297</b> | <b>5,382</b> | <b>4,405</b> | <b>6,240</b> | <b>3,287</b> | <b>3,307</b> |              |

\* Si le CNRS coordonne le projet

|                                    |  |  | Exécuté |       |       |       |       | BP    | Demande |       |       |
|------------------------------------|--|--|---------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|
|                                    |  |  | 2017    | 2018  | 2019  | 2020  | 2021  | 2022  | 2023    | 2024  | 2025  |
| <b>AUTRES RESSOURCES</b>           | Contribution<br>d'autres<br>organismes   | <i>ANR - RTB</i>   | 0,343   | 0,442 | 0,328 | 0,328 | 0,328 | 0,328 | 0,328   | 0,328 | 0,328 |
|                                    |  | <i>Ministère-déménagement</i><br><i>CEA</i><br><i>CNFM PMIPS</i><br><i>C'Nano IdF</i><br><i>CPER ETAT</i><br><i>IPVF</i> |         |       |       |       |       |       |         |       |       |
| Contribution<br>des<br>universités | <i>UFC</i>   | 0,010  | 0,011   | 0,072 | 0,038 | 0,105 | 0,047 | 0,055 | 0,063   | 0,062 |       |
|                                    | <i>Université Fédérale de Toulouse (fonctionnement)</i><br><i>UGA</i><br><i>Université Paris Sud (MRM) / Paris-Saclay</i><br><i>personnel non permanents</i><br><i>Université Paris Sud (MRM) / Paris-Saclay</i><br><i>Lille 1 fonctionnement</i><br><i>[Préciser]</i> |  |         |       |       |       |       |       |         |       |       |

|                                    |   |   |   |  |                |                |                |                |                |                |                |       |
|------------------------------------|---|---|---|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|
| <b>Collectivités territoriales</b> | Régions (autres financements)<br>CPER - équipement<br>DIM Ile de France<br>RTRA<br>Labex<br>Région Occitanie<br>CG91<br>CPER CIA - Equipement (IEMN)<br>CPER - Fonctionnement / salaires (FEMTO)<br>SESAME IdF<br><i>[Préciser]</i> | 0,317   |   |  |                |                | 0,029          | 0,038          |                |                |                |       |
|                                    | <b>Contrats</b>   | ANR<br>Investissements d'avenir**<br>industriels<br>Contrats nationaux<br>Contrats divers<br>Facturation interne sur divers contrats<br><i>[Préciser]</i> | 0,076   |  |                |                |                | 0,035          | 0,019          |                |                |       |
|                                    |   |   | 0,357   | 0,400  | 0,201          | 0,287          | 0,219          | 0,303          | 0,282          | 0,258          | 0,270          |       |
|                                    | <b>Prestations / Services facturés</b>  | Laboratoires académiques<br>industriels<br><i>[Préciser]</i><br><i>[Préciser]</i><br><i>[Préciser]</i>  | 0,033<br>0,305  | 0,056<br>0,269   | 0,029<br>0,125 | 0,037<br>0,080 | 0,032<br>0,120 | 0,045<br>0,130 | 0,040<br>0,145 | 0,036<br>0,120 | 0,038<br>0,119 |       |
|                                    |   | <b>Financements européens</b>   | Contrats européens<br>FEDER<br>ERC<br><i>[Préciser]</i> | 0,848  | 0,185          |                |                |                | 0,029<br>0,020 | 0,038          |                |       |
|                                    |   |   | <b>Autres</b>   | Entreprises privées Françaises<br>Entreprises privées Etrangères<br>Laboratoire commun EPICENTRE (LAAS/RIBER)<br><i>[Préciser]</i> | 0,097          |                |                |                |                | 0,043          | 0,080          | 0,092 |
|                                    | <b>Coût personnel Permanent (Hors CNRS)</b>   | Lille 1<br>UGA<br>ENSMM<br>UFC<br>Université Fédérale de Toulouse<br>Paris Sud<br>Paris 7   |   | 0,179  | 0,179          | 0,177          | 0,187          | 0,187          | 0,187          | 0,187          | 0,187          | 0,187 |
|                                    |   | Total ETPT autres organismes (hors CNRS)  | 2,39  | 2,39   | 2,37           | 2,5            | 2,5            | 2,5            | 2,5            | 2,5            | 2,5            |       |
|                                    | <b>TOTAL AUTRES RESSOURCES [II]</b>   |   | <b>2,565</b>  | <b>1,542</b>   | <b>0,932</b>   | <b>0,957</b>   | <b>1,147</b>   | <b>1,214</b>   | <b>1,128</b>   | <b>1,095</b>   | <b>1,085</b>   |       |

\*\* Si le CNRS ne coordonne pas le projet

|                                |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>TOTAL RESSOURCES [I+II]</b> | <b>5,539</b> | <b>4,931</b> | <b>4,097</b> | <b>4,254</b> | <b>6,529</b> | <b>5,619</b> | <b>7,368</b> | <b>4,382</b> | <b>4,393</b> |
| <b>SOLDE ANNUEL</b>            | <b>0,126</b> | <b>0,077</b> | <b>0,125</b> | <b>0,078</b> | <b>0,335</b> | <b>0,206</b> | <b>0,256</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> |
| <b>SOLDE Cumulé</b>            |              | <b>0,077</b> | <b>0,048</b> | <b>0,126</b> | <b>0,462</b> | <b>0,256</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | <b>0,001</b> |

## Analyse

### Par nature de dépenses

- Le solde de la partie fonctionnement est équilibré chaque année entre 2021 et 2025

- Le solde de la partie personnel est équilibrée chaque année entre 2021 et 2025
- Le solde de la partie immobilisation est à zéro en 2025. Il est négatif les années précédentes car nous prévoyons de consommer l'excédent thésaurisé pour contribuer à l'autofinancement de l'Equipex Nanofutur et du PEPR électronique

### **Au global**

#### **2021**

- En 2021 le solde cumulé augmente car nous thésaurisons de la dotation RTB pour contribuer à l'autofinancement de l'Equipex Nanofutur et du PEPR électronique.
- Pour assurer le fonctionnement il a fallu utiliser les ressources propres banalisées alors que nous ne le faisons pas avant, en grande partie car nous avons eu
  - Des travaux importants (radiers tankers azote)
  - Plus de pannes importantes
  - Reconstitutions de stocks d'EPI suite au COVID
  - Augmentation de la facture énergétique
  - Baisse des recettes de facturation interne du fait d'une moindre activité 2020 liée au covid (nous encaissons en 2021 les opérations technologiques de 2020)

#### **2022**

- Le solde cumulé diminue car nous restituons une partie la thésaurisation en immobilisation
- Nous prévoyons d'utiliser toujours grandement les ressources propres banalisées pour
  - Compenser la hausse de l'énergie
  - Equilibrer la part fonctionnement

#### **2023**

- Idem 2022

#### **2024-2025**

- Soldes annuel et cumulé à l'équilibre car
  - Les RPB compensent le manque de ressources
  - Nous avons fini en 2023 de reverser la thésaurisation en équipement.

## **CERTIFICATION DES TARIFS ET FACTURATION**

### **Certification des tarifs**

Pilote pour la mise en place nationale de la tarification auditable CNRS la plateforme bénéficie d'une tarification auditable depuis 2014.

Nous avons engagé une mise à jour du dossier de tarification afin de réactualiser notre coût complet sur la base d'une nouvelle année de référence et pour mettre à jour notre grille tarifaire en proposant un nouveau format qui permette notamment d'inclure dans la facturation interne les enjeux liés aux financements européens. L'année de référence pour le calcul de la mise à jour de tarification a été 2019.

La publication des tarifs a été faite dans le numéro de novembre 2020 du bulletin officiel du CNRS, pour application rétroactive au 1<sup>er</sup> janvier 2020.

L'ensemble des informations sont reportées dans le document " Détermination du coût complet 2019 et élaboration des tarifs pour les produits et prestations de la plateforme de micro et nanotechnologies du CNRS-LAAS" (HAL Id : hal-03187772, version 1)

### **Procédure mise en place pour les facturations futures**

Afin de consolider encore notre processus de facturation et ainsi les justifications sur les contrats supports nous avons mis en place une procédure à destination des porteurs de projets afin que nous déterminions à priori des



activités, et autant que faire se peut, l'origine du support financier des activités. Ce document est commun pour la plateforme de micro et nanofabrication et la plateforme de caractérisation.

Le document adressé à tous les porteurs de projets figure en annexe.

Nous procédons à la facturation soit :

- À la demande du chercheur pour des justifications intermédiaires ou en fin de contrat.
- En fin année civile.

La procédure établie est la suivante:

1. Envoi d'un mail au porteur du projet pour confirmation du support financier indiqué en début d'année (ou début de projet)
2. Extraction des heures sur Myfab et calcul du coût associé avec le tarif correspondant au support financier
3. Envoi du récapitulatif (heures et coût) au porteur du projet pour accord
4. Envoi au responsable d'équipe
5. Envoi à la gestion

Il est à souligner que le travail collaboratif, mis en route depuis plusieurs années, entre les services techniques et les services administratifs est extrêmement positif. Il permet une amélioration continue de nos procédures et du suivi des projets. Les échanges réguliers sur les difficultés rencontrées (ex : l'évolution des différents règlements financiers), les accès à Geslab pour les services techniques.... permettent une prise en charge en amont de la facturation et cela se concrétise par une diminution flagrante des allers – retours des factures entre les différents intervenants.

### **Facturation 2021**

Au titre de 2021 la facturation vers les équipes du laboratoire s'est montée à 629434€ plus ou moins 5% en fonction de la justification possible ou non de la fourniture sur les projets européens. Il s'agit là du montant total injecté dans le processus de facturation qui dépend des services gestion du LAAS et financiers de la DR14. Le traitement du total de ce montant a pu aller au-delà de la fin 2021.

Ce montant est de 39% supérieur à celui de 2020 (451 243€).

Divers facteurs sont à prendre en compte, pour expliquer ces variations ; les principaux semblent être

- Volume de la technologie réalisée (plus ou moins d'activité)
- Nature de la technologie réalisée (activités plus ou moins onéreuses)
- Facturation en année N d'activités des années précédentes en plus des activités de l'année N
- Evolution des tarifs (montant des produits et nature du financement).

# PARTENARIAT RENATECH

Objectif

Bilan des demandes

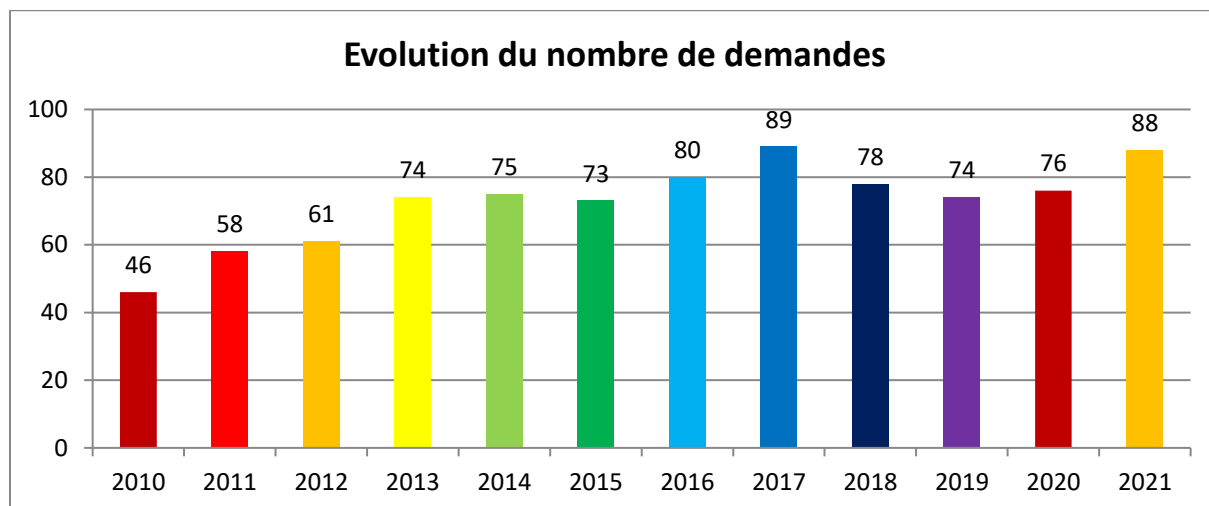
Actions initiées

Projets 2021

## OBJECTIF

Les objectifs et le fonctionnement de cette cellule sont identiques à ceux explicités les années passées dans les rapports COMTEAM disponibles sur HAL.

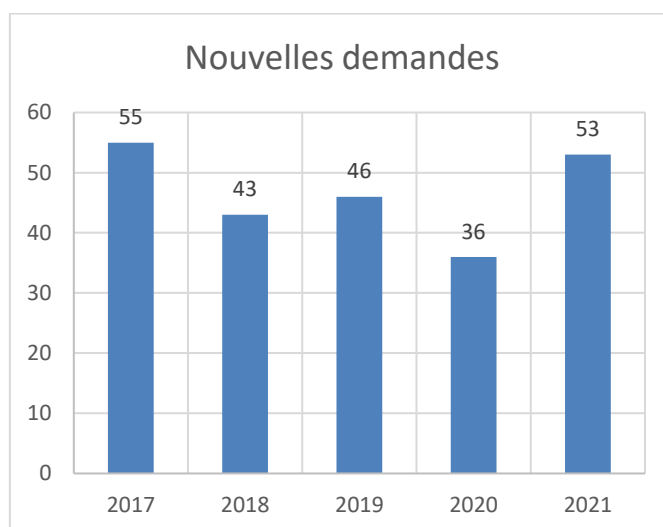
## BILAN



L'ensemble des projets 2021 est listé en fin du chapitre.

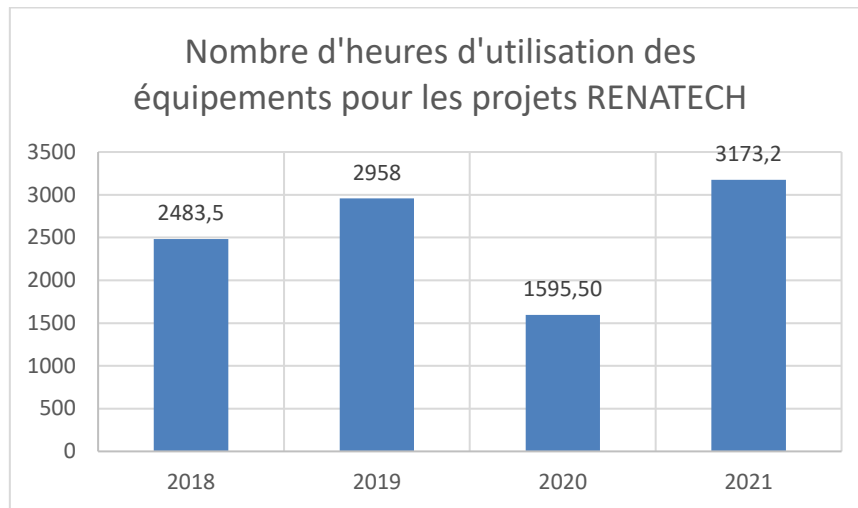
Le nombre total de projets est en augmentation.

Le nombre de nouvelle demande, en forte hausse, confirme l'augmentation des sollicitations.



Globalement, le nombre d'établissements qui nous sollicitent reste le même, par contre certains nous sollicitent plus. A titre d'exemple, nous avons été sollicités 2 fois plus que les autres années par les laboratoires montpelliérains pour réaliser des masques (9 projets en 2021 contre 4 en 2020).

Au-delà de l'évolution du nombre de projets, il est intéressant de noter que le nombre d'heures d'utilisation des équipements pour les projets est aussi en hausse.

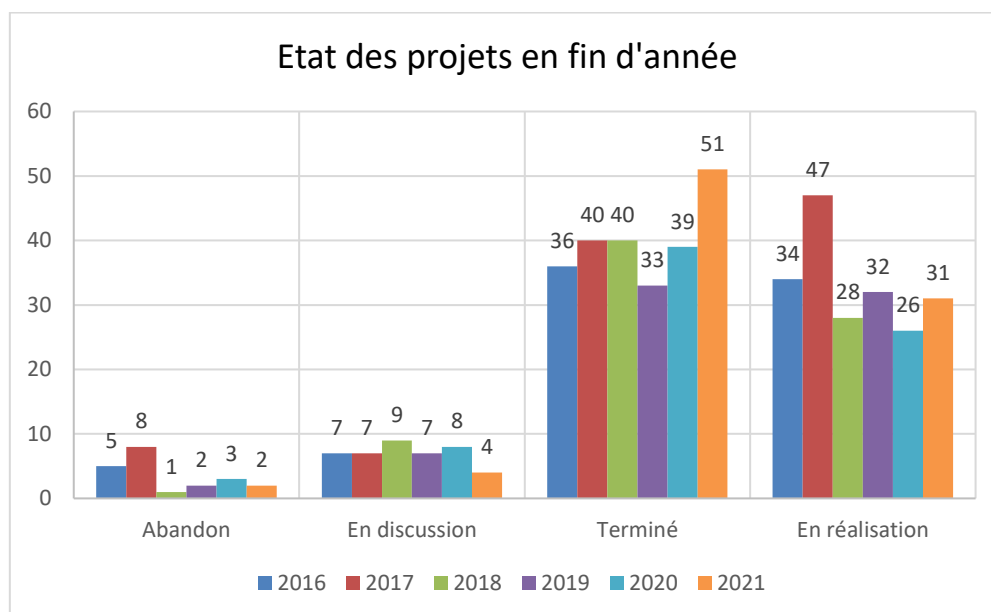


L'ensemble des hausses constatées confirme une augmentation de la sollicitation de la plateforme de micro et nanotechnologie du LAAS par les demandeurs externes.

### Traitement des demandes

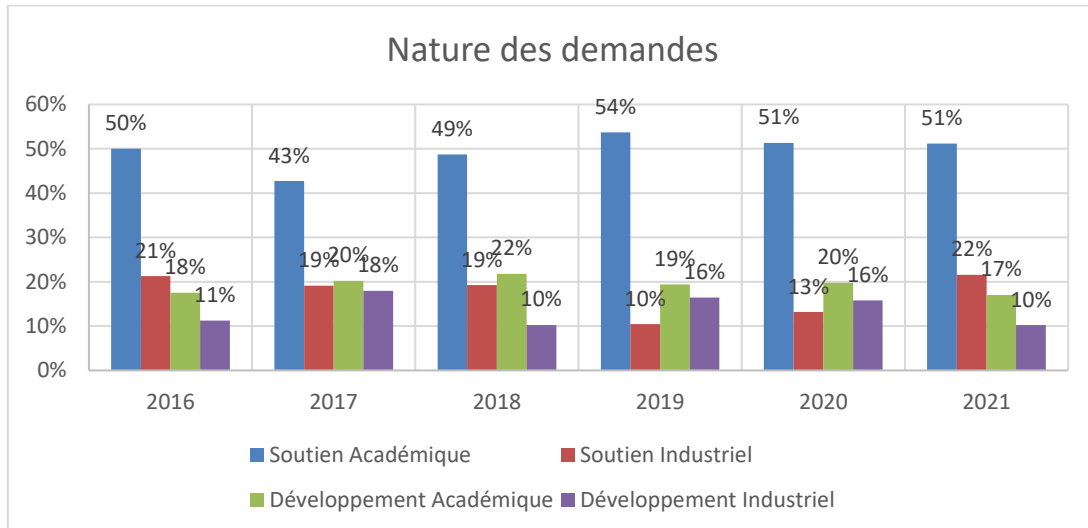
88 projets en 2021 dont 35 projets anciens qui se sont prolongés:

- 2 abandonnées par le demandeur
- 51 projets terminés
- 31 demandes en cours de réalisation qu'on retrouvera en 2021
- 4 en discussion



### Nature des demandes

- Académique : porteur du projet issu du monde académique
- Industriel : porteur du projet issu du monde industriel
- Soutien : projet avec peu d'étapes technologiques et/ou maîtrisées (Ex : réalisation d'un masque, d'une métallisation, ...)
- Développement : projet nécessitant la mise au point d'une ou plusieurs étapes technologiques.



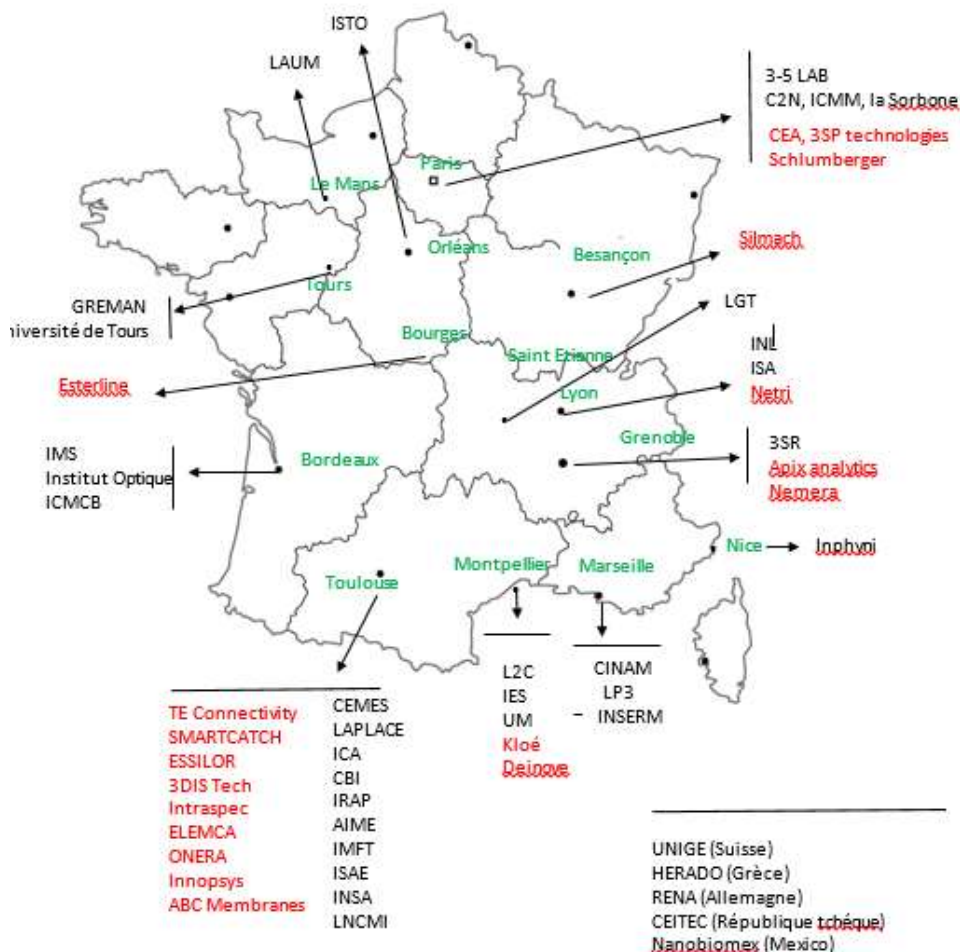
Les projets nécessitant peu de développement représentent 73% des demandes.

La demande industrielle remonte : 29 contre 19 en 2021

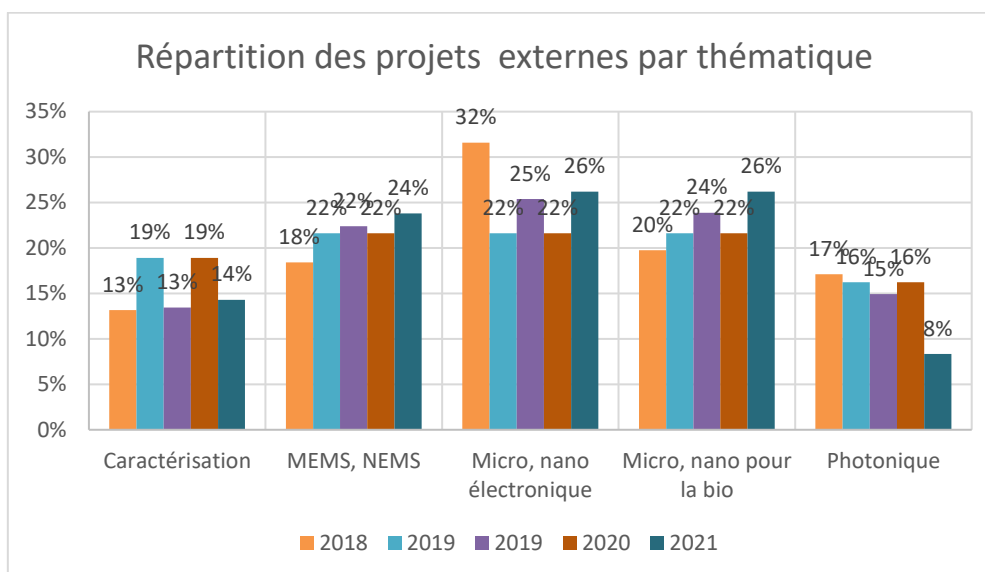
La demande internationale est stable : 4 projets comme en 2020 mais plus faible que les années précédentes.

Cela peut être lié à la situation sanitaire générale, à surveiller.

La cartographie de répartition de ces demandes est la suivante :

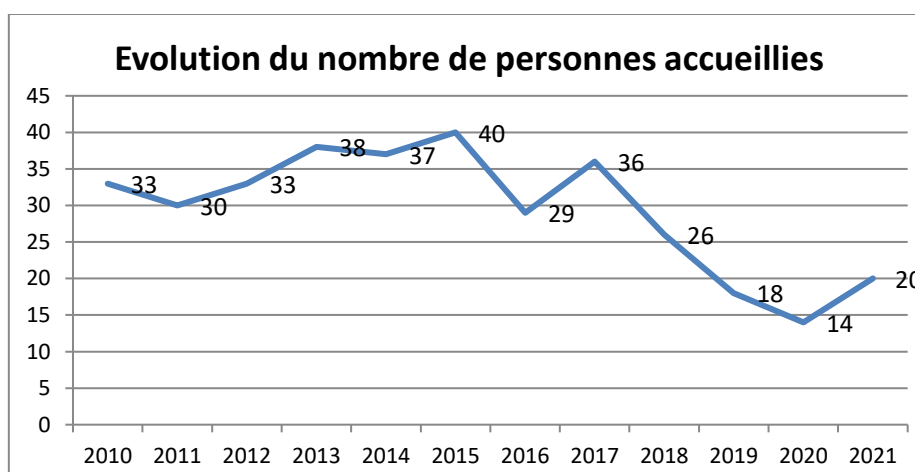


## Thématique scientifique des demandes



Au cours des 5 dernières années, les demandes dans le domaine des MEMS, NEMS, Micro-nano électronique et micro et nano pour la bio sont stables. Seul fait notable cette année, la chute des demandes dans le domaine de la photonique.

## Accueil de personnes

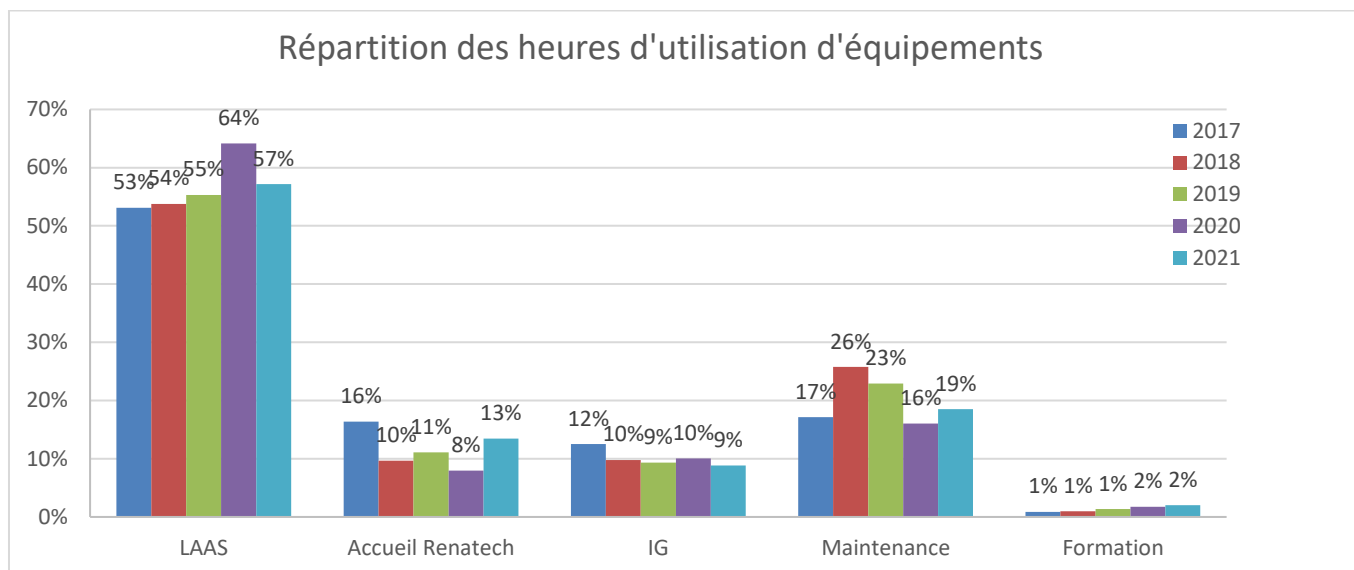


Le nombre de personnes accueillies était en baisse depuis plusieurs années, il remonte cette année. Le nombre de personnel industriel accueilli est égal au nombre d'accueil académique.

## Niveau d'activité représenté par les projets Renatech

Le graphe suivant représente la répartition des utilisations d'équipements sur MyFab pour

- Les projets LAAS : projets portés par des chercheurs/enseignants-chercheurs du LAAS,
- Les projets RENATECH : projets portés par des personnes externes au LAAS (académiques ou industriels)
- Les développements d'intérêt général : développements de technologie réalisés par TEAM pour la communauté. Ex Mise au point des dépôts électrolytiques de Ni, mise au point et qualification de nouvelles résines, mise au point de procédés PECVD....
- La maintenance
- La formation



Les heures d'utilisation des équipements pour les projets RENATECH représente 13 % de l'ensemble. Les heures d'utilisation « projets » représentent 70% des heures d'utilisation totales.

#### Apports pour le laboratoire

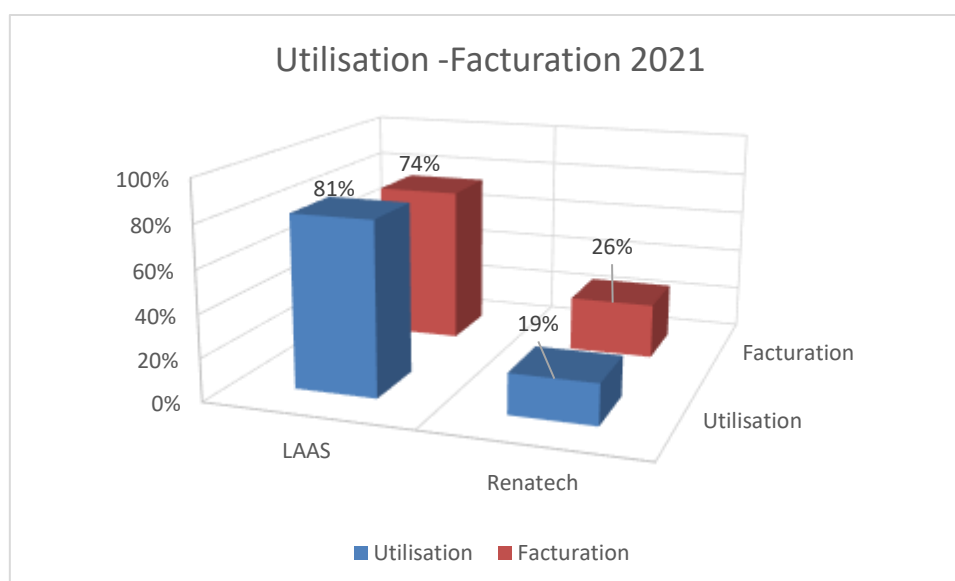
Au-delà du fait que cette ouverture nous permet de recevoir le financement RTB pour le développement de notre capacité technique elle amène d'autres aspects très positifs.

#### Financier :

Toutes 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.

|                          | 2014   | 2015   | 2016   | 2017   | 2018   | 2019   | 2020   | 2021   |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Sommes encaissées</b> | 363082 | 305074 | 322005 | 384445 | 335831 | 184631 | 119394 | 225555 |

La facturation des projets externes RENATECH représente 26% des sommes facturées pour 2021. Le montant encaissé dans le cadre de Renatech est plus important que les 2 dernières années.



### **Equipements :**

3DisTech a participé financièrement à l'achat de 2 équipements indispensables pour ses développements. Ces équipements sont utilisés par toute la communauté et restent la propriété du CNRS.

### **Débouchés pour les étudiants**

A plusieurs reprises au fil des années des partenaires nous ont sollicités afin d'embaucher des personnes à même de réaliser les travaux en salle blanche ou de les poursuivre au sein même de l'entreprise. En 2021, cela a donc permis à 3 étudiants de trouver des débouchés temporaires voire définitifs.

## **CONTRIBUTIONS PARTICULIERES AU RESEAU RENATECH**

Au-delà de nos engagements habituels du fait de notre appartenance au réseau Renatech les personnels de la plateforme sont investis dans des actions spécifiques.

### **Déploiement de la nouvelle application en ligne**

Dans la cadre de la refonte de l'application en ligne de déclaration des projets le service TEAM a eu une action très forte en soutien de FEMTO-ST et de l'IEMN qui respectivement sont chargés de coordonner les réflexions et de développer l'application. Nos contributions ont été apportées sur

- L'architecture et la forme des données recueillies
- Leur compatibilité avec l'application MyFab pour permettre un télé-versement.
- Le soutien aux utilisateurs par la rédaction de modes d'emploi, le déverminage des erreurs.

Cette implication se poursuit pour développer les fonctionnalités de l'application qui a été mise en ligne au début de janvier 2022 : <https://projets.renatech.org>

### **Animation du groupe d'expert Euronanolab lithographies**

Suivant la volonté de construction d'un réseau à l'échelle européenne Renatech est particulièrement impliqué dans le projet Euronanolab (<http://euronanolab.eu/>). Dans ce projet, sur le modèle Renatech, le service TEAM est animateur en coordination avec le pôle lithographie du C2N du groupe d'experts en lithographies. Cet ensemble regroupe 58 participants venant de 37 laboratoires issus de 15 pays. En 2021 plusieurs visio-conférences ont été organisées pour que les partenaires apprennent à se connaître. Lorsque le contexte sanitaire sera plus favorable nous travaillerons à entrer dans un phase plus active de collaborations.

### **Référent MyFab**

Le LIMS Myfab est déployé dans quatre des cinq centrales Renatech. Le LAAS ayant été précurseur dans ce domaine est le référent du réseau dans ses interactions avec l'Université de Chalmers qui est le développeur Myfab. Nous essayons d'établir des collaborations plus étendues avec Chalmers et plus largement tous les utilisateurs de MyFab (une vingtaine de plateforme en Europe). Nous avons collectivement au nom de Renatech proposé une stratégie d'augmentation des services rendus ; là aussi le contexte sanitaire freine des avancées significatives.

### **Référent facturation auditable**

La plateforme ayant été plateforme pilote en 2014 pour le déploiement d'une facturation certifiée nous sommes quatre à cinq fois par an sollicités pour partager notre expérience avec des structures qui souhaitent mettre en place ce processus.

Au titre de 2021 nous pouvons citer des interactions avec

- C2N
- Université de Lyon
- Université de Rouen



En 2022 nous devrions participer à une ANF du CNRS sur le sujet.

### **Référent Renatech+ pour le grand sud-ouest**

Dans le sud-ouest le réseau Renatech+ comprend les laboratoires

- XLIM (Limoges)
- IES (Montpellier)
- IMS (Bordeaux)

La pandémie covid 2019 a mise en veille toute action dans ce cadre. Dès que la situation sera stabilisée nous relancerons les interactions.

## **ACTIONS INITIÉS**

### **Gestion commune avec I2C, gestion, personnel et RCP**

Nous avons géré ensemble : 72 factures, 3 contrats et avenants, 20 accueils (ZRR et conventions).

Le travail collaboratif, mis en route depuis plusieurs années, entre les services techniques et les services administratifs est constructif. Il permet une amélioration continue de nos procédures et du suivi des projets.

Cette année, nous avons mis en place un contrat commun pour l'accueil de projet sur la Plateforme de micro-nanotechnologies et sur la Plateforme caractérisation. Ce contrat « type » a été validé par la délégation régionale. Il simplifie la gestion administrative au niveau du personnel, de la gestion des contrats...et le suivi sur les plateformes. Ce contrat a été utilisé pour le CEA et un nouveau est en cours d'établissement avec Smartcatch.

Le résultat des tous ces échanges est largement positif. Aujourd'hui, nous savons répondre rapidement aux demandeurs extérieurs et les relations avec la DR sont facilitées.

## **PROJETS RENATECH 2021**

| Nom du projet   | Nature        | Origine demande        | National ou international        | Nom du demandeur        | Origine géographique        | Contact              |
|---|---------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------|
| Assemblage et interconnexion 3D de systèmes électroniques               | Développement | industriel             | National                         | 3DIS-Tech               | Toulouse                    | Ghannam A.           |
| Microrésonateurs+ondes acoustiques                                      | Développement | académique             | National                         | IMS                     | Bordeaux                    | Dejous C.            |
| Mesure de charge d'espace par microscopie à force électrostatique (EFM) | Soutien       | académique             | National                         | LAPLACE                 | Toulouse                    | Villeneuve C.        |
| LabComDéveloppement   | Développement | industriel             | National                         | ESSILOR                 | Toulouse                    | H. Camon             |
| MasqueC2N   | Soutien       | académique             | National                         | C2N                     | Orsay                       | G Agnus              |
| Process SLB   | Développement | industriel             | National                         | Schlumberger            | Elancourt                   | K. Danaie            |
| Micro et nano engrenages  | Développement | académique             | National                         | CEMES                   | Toulouse                    | C. Bourgerette       |
| Détecteur à Pixels à Grille piégeante                                   | Développement | industriel             | National                         | CEA                     | Saclay                      | N. Fourches          |
| Assemblage  | Soutien       | industriel             | National                         | Confidentiel            | Paris                       |                      |
| Assemblage de composants  | Soutien       | académique             | National                         | IRAP                    | Toulouse                    | Roudil Gilles        |
| Imagerie de Champ Electromagnétique par Thermographie                   | Développement | académique             | National                         | CEMES                   | Toulouse                    | JF Bobo              |
| TEST siur le four d'oxydation Alox                                      | Soutien       | académique             | National                         | 3-5 Lab                 | Palaiseau                   | B Simozrag           |
| IR Cell   | Développement | industriel             | National                         | TE-Connectivity         | Toulouse                    | E. Durupt            |
| DNA Curtains  | Soutien       | académique             | National                         | CBI                     | Toulouse                    | F Erdel              |
| Monazite  | Soutien       | académique             | National                         | LGT                     | St Etienne                  | AM Seydoux-Guillaume |
| Masque verre chrome   | Soutien       | académique             | National                         | INSERM                  | Marseille                   | L Aoun               |
| Microelectrode arrays Unige   | Soutien       | académique             | International                    | Université de Genève    | Genève                      | ML Tercier-Waeber    |
| Masque de photolithographie   | Soutien       | académique             | National                         | Cinam                   | Marseille                   | R. Parret            |
| BioBouchons   | Soutien       | académique             | National                         | IMFT                    | Toulouse                    | O Liot               |
| BeBop   | Soutien       | académique             | National                         | IMFT                    | Toulouse                    | O Liot               |
| Masques NEMS@L2C  | Soutien       | académique             | National                         | UM                      | Montpellier                 | A Noury              |
| Découpe Packaging Doc ISAE  | Soutien       | académique             | National                         | ISAE                    | Toulouse                    | P Touron             |
| Cellule photovoltaïque interdigitée                                     | Soutien       | académique             | National                         | INL                     | Lyon                        | E. Fourmond          |
| Report et reconnexion de Puce daisy chain TSV                           | Soutien       | industriel             | National                         | Intraspec               | Toulouse                    | Courjault            |
| Report de Composant + Bonding   | Soutien       | académique             | National                         | IMS                     | Talence                     | A. Bordet            |
| <b>Nom du projet</b>  | <b>Nature</b> | <b>Origine demande</b> | <b>National ou international</b> | <b>Nom du demandeur</b> | <b>Origine géographique</b> | <b>Contact</b>       |

|   |               |                        |                                  |                         |                             |                   |
|---|---------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------|
| Masque détecteur IR                                 | Soutien       | académique             | National                         | IES                     | Montpellier                 | P Christol        |
| Serigraphie sur silicium                            | Développement | industriel             | National                         | Apix analytics          | Grenoble                    | K Khelloufi       |
| MicroPoling   | Développement | académique             | National                         | ICMCB                   | Bordeaux                    | M.Dussauze        |
| Nanostim  | Soutien       | industriel             | National                         | Cinam                   | Marseille                   | A Nasserredine    |
| CTC-uCATCH  | Soutien       | industriel             | National                         | Smartcatch              | Toulouse                    | A.Cerf            |
| Micro-oscillateurs fluidiques                       | Développement | académique             | National                         | ICA                     | Toulouse                    | L Baldas          |
| Etude d'une profil de gravure lag par DRIE          | Développement | académique             | National                         | IES                     | Montpellier                 | A Giani           |
| Micropuces FIB en Champ Pulsé                       | Développement | académique             | National                         | LNCMI                   | Toulouse                    | M Leroux          |
| DRL Titane pour LIFT                                | Soutien       | académique             | National                         | LP3                     | Marseille                   | A Casanova        |
| Detection of outgassing Radon                       | Soutien       | académique             | National                         | IRAP                    | Toulouse                    | L Lavergne        |
| NextWatch   | Soutien       | industriel             | National                         | SilMach                 | Besançon                    | T Faure           |
| Métasurface désordonnée                             | Développement | académique             | National                         | Institut Optique        | Bordeaux                    | P Lalanne         |
| PMUT  | Soutien       | académique             | National                         | GREMAN                  | Tours                       | F Barcella        |
| Ionesco   | Soutien       | académique             | National                         | UM                      | Montpellier                 | A Noury           |
| SuspensionDense                                     | Soutien       | académique             | National                         | 3SR                     | Grenoble                    | Naillon A         |
| Micro-résonateur                                    | Soutien       | académique             | National                         | IES                     | Montpellier                 | M Bahriz          |
| KLOE210205  | Soutien       | industriel             | National                         | Kloe                    | Montpellier                 | N Brillouet       |
| Spectroscopie vibrationnelle exaltée                | Développement | académique             | National                         | IES                     | Montpellier                 | T Taliercio       |
| Structures IES                                      | Soutien       | académique             | National                         | ICMM                    | Orsay                       | H Korri-Youssoufi |
| Source planaire holographie                         | Développement | académique             | National                         | C2N                     | Saclay                      | B Dagens          |
| Mucus On Chip                                       | Soutien       | académique             | National                         | Sorbonne                | Paris                       | J. Fresnais       |
| Canaux microfluidiques                              | Soutien       | académique             | National                         | INSERM                  | Marseille                   | L Aoun            |
| Microactionneurs                                    | Soutien       | académique             | National                         | LAUM                    | Le mans                     | T Mhammedi        |
| Etude profilométrique                               | Soutien       | industriel             | National                         | ONERA                   | Toulouse                    | J Belfio          |
| Cablage   | Soutien       | industriel             | National                         | ELEMCA                  | Toulouse                    | J Dhennin         |
| Caractérisations FTIR                               | Soutien       | industriel             | National                         | 3SP Technologies        | Paris                       | P Issert          |
| Microdiffusion                                      | Soutien       | académique             | National                         | UM                      | Montpellier                 | D Truzzolillo     |
| Masques lithographie IES                            | Soutien       | académique             | National                         | IES                     | Montpellier                 | B Charlot         |
| <b>Nom du projet</b>                                | <b>Nature</b> | <b>Origine demande</b> | <b>National ou international</b> | <b>Nom du demandeur</b> | <b>Origine géographique</b> | <b>Contact</b>    |
| Masque de photolithographie de peignes interdigités | Soutien       | académique             | National                         | IES                     | Montpellier                 | Jolly Claire      |

|   |               |                        |                                  |                         |                             |                         |
|---|---------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| DECOUPE LAME CALIBRATION                          | Soutien       | industriel             | National                         | Innopsys                | Toulouse                    | JC Cau                  |
| LTO   | Soutien       | académique             | National                         | CEMES                   | Toulouse                    | A Louiset               |
| Poutres type 'MicRho' pour projet H2MEMS          | Développement | académique             | National                         | IMS                     | Bordeaux                    | I Dufour                |
| Formation procédés technologiques                 | Soutien       | Industriel             | National                         | Nanomakers              | Paris                       | L. Teulon               |
| Devices TMD-graphène                              | Soutien       | académique             | National                         | UM                      | Montpellier                 | S Nanot                 |
| Mask preparation for CEITEC                       | Soutien       | académique             | International                    | CEITEC                  | Prague                      | R Zahradnicek           |
| Mesure d'échantillons                             | Soutien       | industriel             | National                         | NEMERA                  | Grenoble                    | G Huet                  |
| Masques CMOS 2021                                 | Soutien       | académique             | National                         | AIME                    | Toulouse                    | F Gessinn               |
| Découpe de substrat piézoélectrique               | Soutien       | académique             | National                         | LAUM                    | Le Mans                     | M Lepage                |
| Vieillessement Membranes PAN                      | Soutien       | industriel             | National                         | ABC membranes           | Toulouse                    | N Abidine               |
| Dosimeters  | Soutien       | industriel             | International                    | HERADO                  | Grèce                       | M Fragopoulou           |
| Nautile   | Soutien       | académique             | National                         | GREMAN                  | Tours                       | F Barcella              |
| Masque2021-1                                      | Soutien       | académique             | National                         | IMFT                    | Toulouse                    | M. Marcoux              |
| EPCIS   | Soutien       | académique             | National                         | INL                     | Lyon                        | A Fave                  |
| Formation Au Electroplating                       | Soutien       | industriel             | National                         | Auxitrol                | Bourges                     | G Chartier              |
| SuperCap ALD                                      | Soutien       | académique             | National                         | Greman                  | Tours                       | D,Silva de Vasconcellos |
| Micromodèles pour les géosciences                 | Soutien       | académique             | National                         | ISTO                    | Orléans                     | S Roman                 |
| MMX InfraRed Spectrometer                         | Soutien       | industriel             | National                         | CNES                    | Toulouse                    | L Berthod               |
| Dry film for fluidic MEMS                         | Développement | industriel             | National                         | CEA                     | Grenoble                    | T Alava                 |
| Process Lag                                       | Soutien       | académique             | National                         | IES                     | Montpellier                 | A Giani                 |
| Development of N2 flushing system                 | Développement | industriel             | International                    | RENA                    | Guetenbach                  | R Clemens               |
| LIFT double pulse                                 | Soutien       | académique             | National                         | LP3                     | Marseille                   | A. Casanova             |
| Systèmes optiques hybrides pilotés électriquement | Soutien       | académique             | National                         | Cinam                   | Marseille                   | R Parret                |
| Plasmonic nanocrystals                            | Développement | académique             | International                    | Nanobiomex              | Mexico                      | A Martinez              |
| RBCflow_in_networks                               | Développement | académique             | National                         | IMFT                    | Toulouse                    | S Lorthoix              |
| RF Resonators                                     | Soutien       | académique             | National                         | GREMAN                  | Tours                       | D Silva                 |
| <b>Nom du projet</b>                              | <b>Nature</b> | <b>Origine demande</b> | <b>National ou international</b> | <b>Nom du demandeur</b> | <b>Origine géographique</b> | <b>Contact</b>          |
| CRISTAL   | Développement | académique             | National                         | IN2P3                   | Grenoble                    | R Flaminio              |
| DND-uFlu  | Soutien       | industriel             | National                         | Deinove                 | Montpellier                 | R Evelio                |
| Développement Wafer SU-8                          | Développement | industriel             | National                         | Netri                   | Lyon                        | F Larramendy            |

|   |               |            |          |           |          |             |
|---|---------------|------------|----------|-----------|----------|-------------|
| Wafer Messie  | Soutien       | industriel | National | Innopsys  | Carbonne | V Reynou    |
| Nanotechnology ratchet samples preparation          | Soutien       | académique | National | INSAT     | Toulouse | JC Portal   |
| Brasure par refusion de 14 connecteurs U FL sur PCB | Soutien       | industriel | National | Intraspec | Toulouse | N Courjault |
| GaAsBi 111  | Développement | académique | National | INSAT     | Toulouse | H Carrere   |

# DEMANDES INTERNES

Les demandes  
Éléments d'analyse

**LES DEMANDES INTERNES 2019** LES PROJETS SURLIGNES EN **ROUGE SONT TERMINES**, CEUX SURLIGNES EN **VERT SONT NOUVEAUX**.

| EQUIPE | Référence  | Nom  | Porteur         | Objet  | Correspondant TEAM    |
|--------|------------|--|-----------------|--|-----------------------|
| ISGE   | P-17-02302 | <u>MOVeToDIAM</u>                              | Isoird          | Composants de puissance sur diamant  | Imbernon              |
|        | P-17-02055 | <u>OPGAN</u>                                   | Morancho        | Optimisation des Performances électriques des composants de puissance GaN  | Imbernon              |
|        | P-16-01718 | <u>Exagan</u>                                  | Morancho        | Assembleg de HEMT de puissance   | Charlot               |
|        | P-20-03112 | <u>chip fuse</u>                               | Bourennane      | fusible intégré sur puce silicium  | Imbernon              |
|        | P-20-03305 | <u>C pi GaN</u>                                | Morancho        | MOS vertical dans GaN  | Imbernon              |
|        | p-20-03345 | <u>Nano 2022</u>                               | Morancho        | Interrupteurs de puissance HEMTs en GaN normally-off   | Imbernon              |
|        | P-22-03752 | <u>LAPIN 113</u>                               | Isoird          | PIN '(113) diamond diodes  | Imbernon              |
| NEO    | P-20-03073 | <u>Actionneurs à nanothermite</u>              | Rossi           | ingénierie de couches énergétiques multifonctionnelles par 3D printing   | Mesnilgrente          |
|        | P-20-03072 | <u>Nanolaminés</u>                             | Rossi           | comprendre les processus réactionnels les plus fondamentaux durant l'initiation et la réaction des matériaux Al/Oxydes | Salvagnac             |
|        | P-17-02038 | <u>Microsupercap 3D</u>                        | Pech            | Micro supercondensateurs   | Bourrier              |
|        | P-22-03747 | <u>HYPHY</u>                                   | Rossi           | Photocatalyseur  | Salvagnac             |
| PHOTO  | P-13-00231 | <u>Diodes laser à cristal photonique</u>       | Gauthier Lafaye | Filière nano pour diode laser à cristal photonique et laser aléatoire  | Dubreuil              |
|        | P-13-00232 | <u>Composants photoniques AIOX</u>             | Almuneau        | Composants photoniques AIOx  | Dubreuil              |
|        | P-21-03387 | <u>Labcom optique</u>                          | Camon           | Labo commun OPALE  | Laborde               |
|        | P-14-00729 | <u>Composants nanophotoniques sur verre</u>    | Gauthier Lafaye | Filtres spectraux à cristal photonique sur verre   | Daran / Dubreuil      |
|        | P-14-01244 | <u>Composants Pour la photovoltaïque III-V</u> | Almuneau        | cellules photovoltaïques III-V   | Arnoult               |
|        | P-17-02029 | <u>Puces Atomes froids</u>                     | Gauthier Lafaye | Puces magneto optiques   | bourrier / Dubreuil   |
|        | P-19-02966 | <u>Dimension</u>                               | Gauthier Lafaye | Croissance de MoS2 sur substrats structurés  | Dubreuil              |
|        | P-20-03057 | <u>Active combs</u>                            | Calvez          | Realisation de peignes de fréquences sur puce GaSb   | bouscayrol / Dubreuil |
|        | P-20-03058 | <u>Reson</u>                                   | Calvez          | Filtres nanométriques non-linéaires sur LiNbO3 avec SiN et SiO2  | Daran                 |

|            |                 |   |  |   |                      |
|------------|-----------------|---|--|---|----------------------|
|            | P-20-03097      | <u>AEM VCSEL</u>  | Almuneau   | composant intégré VCSEL / modulateur à électro-absorption                             | Dubreuil             |
|            | P-20-03098      | <u>MIMIC SEL</u>  | Aluneau  | Fabrication VCSEL moyen infrarouge  | Dubreuil             |
|            | P-20-03243      | <u>systèmes PV-TE nanostructurés</u>                    | Massiot  | Fabrication de cellules solaires III-V.   | Doucet               |
|            | P-20-03247      | <u>TRAVEL</u>   | Almuneau   | Réseaux de diffraction sub longueur d'onde  | Dubreuil             |
|            | P-20-03268      | <u>MITI</u>   | Calvez   | Structuration de matériaux à transition de phase                                      | Dubreuil             |
| MH2F       | P-13-00180      | <u>HF BIO</u>   | Grenier  | Microdétecteurs hyperfréquence fluidiques et biologiques                              | Laborde              |
| OASIS      | P-18-02464      | <u>Capteur photonique intégré pour détection de gaz</u> | Tap  | Capteur photonique intégré pour la détection de gaz                                   | Lecestre             |
|            | P-22-03773      | <u>Capteur photonique intégré</u>                       | Bernal   | Capteur photonique intégré  | Lecestre             |
| MOST       | P-18-02427      | <u>Montage de puces hyperfréquences</u>                 | Tournier   | Assemblage par bonding  | Charlot              |
| MINC       | P-16-01840      | <u>CARANUC</u>  | Pons   | Capteur de radiation nucléaire pour l'instrumentation du bâtiment réacteur            | Charlot/Reig         |
|            | P-18-02463      | <u>Switch MEMS</u>                                      | Pons   | Switch mécanique bistable sur membrane Si déformée par fluage                         | Charlot              |
|            | P-16-01723      | <u>COCNANO</u>  | Pons   | capteurs d'onde de choc   | Reig                 |
|            | P-19-02783      | <u>OPTENLOC</u>   | Takacs   | Optenloc validé -a<br>Optenloc exploratoire-b   | Charlot              |
|            | P-20-03267      | <u>Intégration substrat souple</u>                      | Dragomirescu   | Intégration substrat souple confirmés-a<br>Intégration substrat souple exploratoire-b | Charlot<br>Charlot   |
| MPN        | P-13-00201      | <u>Nanofils</u>   | Larrieu  | <u>Dispositifs bio</u>  | Mazenq               |
|            |                 |   | Larrieu  | <u>Structuration NFs top down</u>   | Lecestre             |
|            |                 |   | Larrieu  | <u>Transistors 3D</u>   | Lecestre             |
|            | P-18-02694      | <u>Nano TI</u>  | Plissard   | Growth and characterizations of Nanoscale BiSb materials                              | Arnoult              |
|            | P20-03049       | <u>Transistors verticaux</u>                            | Seguy  | Transistors organiques verticaux  | Salvagnac            |
|            | P-13-00185      | <u>DISPOS</u>   | Seguy  | Réalisation de composants organiques  | Salvagnac            |
|            | P-20-03114      | <u>MundFab</u>  | fuccio   | technologies de traitement avancées à basse température pour la nanoélectronique      | Imbernon<br>Lecestre |
|            | P-20-03290      | <u>MOBinACENE</u>                                       | Seguy  | Intégration d'acènes dans OFET, OPV et OGMR   | Mesnilgrente         |
| P-21-03397 | <u>AQUATERS</u> | Plissard  | Mise au point de dépôts à basse température (T250°C) d'isolants sur des nano-objets enrobés Argent | Dubreuil  |                      |



|            |  |  |   |  |                   |
|------------|--|--|---|--|-------------------|
|            | P-21-03439   | <u>IC Technology for the 2nm Node</u>                                    | Fuccio  | développer et démontrer des options technologiques qui permettront de réaliser une technologie CMOS 2 nm                                   | Imbernon Lecestre |
|            | P-21-03570   | <u>PRoSETTI</u>  | Durand  | propriétés structurales, électroniques et de transport électronique des isolants topologiques  | Alexandre Arnoult |
| MICA       | P-13-00181   | <u>MOEMS VCSEL</u>   | Bardinal  | Etudes génériques et prospectives pour la réalisation de fonctions optiques en polymères (lentilles, MOEMS) sur composants optiques VCSELS | Reig              |
|            | P-18-02445   | <u>Actionneurs microfluidiques laminés</u>                               | Raimbault   | Actionneurs microfluidiques par lamination de films secs   | Mesnilgrente      |
|            | P-18-02456   | <u>Microrésonateurs optiques 850nm</u>                                   | Raimbault   | Microrésonateurs optiques à couplage vertical et réseaux de couplage métalliques   | Conédéra          |
|            | P-14-00715   | <u>ChemFET</u>   | Temple  | Transistors chimiques à effet de champ à base nitrure de silicium ISFET  | Laborde           |
|            | P-13-00189   | <u>Eleccell</u>  | Launay  | Microcellules électrochimiques, intégration de micro-nano électrodes au sein de micro-puits  | Laborde           |
|            | P-13-00190   | <u>Plateformes chauffantes</u>   | Ménini  | Mono et multi capteurs de gaz  | Mesnilgrente      |
|            | P-16-01754   | <u>DOCT VCSEL</u>  | Bardinal  | microsystème SS-OCT pour l'analyse de la peau  | Doucet            |
|            | P-13-00191   | <u>Intégration de nouveaux matériaux pour la filière capteurs de Gaz</u> | Menini  | Intégration jet d'encre de nouveaux matériaux pour capteurs de gaz   | Mesnilgrente      |
|            | P-20-03346   | <u>Sonde multiparamètres pour milieu marin</u>                           | Raimbault   | intégration 3D   | Charlot           |
|            | P-22-03764   | <u>3DBEAM</u>  | Bardinal  | Technologies micro-optique polymères 3D sur VCSEL  | Reig / Doucet     |
| MILE       | P-17-02316   | <u>Microfluidique pour membranes biomimétiques</u>                       | joseph  | Canaux microfluidiques pour étudier les membranes  | Laborde           |
|            |  |  |   | Capsule  | Mesnilgrente      |
|            | P-18-02429   | <u>LOC</u>   | Gue   | laboratoires sur puce  | Mesnilgrente      |
|            | P-16-01735   | <u>μLAS</u>  | Bancaud   | biopuce microfluidique   | Mesnilgrente      |
| P-18-02631 | <u>Réalisation d'un mécano-chimio-stat pour cellules cancéreuses</u> | Delarue  | dispositif permettant de contrôler l'environnement mécanique et chimique d'une population de cellules cancéreuses | Mesnilgrente   |                   |

|      |            |                                    |          |  |                    |
|------|------------|------------------------------------|----------|--|--------------------|
|      | P-20-03309 | <u>biolican</u>                    | Jospheh  | concentration, purification, détection de biomarqueurs pertinents pour le cancer   | Mesnilgrente       |
| ELIA | P-13-00216 | <u>SANTECH</u>                     | Vieu     | Détection optique d'interactions biomoléculaires   | Carcenac           |
|      | P-17-02276 | <u>Multifab</u>                    | Malaquin | Plateforme de fabrication additive multi échelles et multi matériaux   | Courson            |
|      | P-15-01401 | <u>Cellules en 3D</u>              | Malaquin | micro environnement 3D pour culture cellulaire   | Calmon             |
|      | P-18-02623 | <u>Exobiologie</u>                 | Vieu     | capteurs de biodétection spatialisable   | Carcenac           |
|      | P-20-03108 | <u>AFM application in biology</u>  | Dague    | Silanisation de pointes AFM et FluidFM   | Mesnilgrente       |
|      | P-20-03122 | <u>INSITU</u>                      | Vieu     | Intégration de microélectrodes au sein de microdispositifs de capture  | Bourrier           |
|      | P-20-03125 | <u>COMBIOPSIE</u>                  | Vieu     | technologie de capture combinée de plusieurs biomarqueurs circulants non cellulaires   | Mazenq             |
|      | P-20-3131  | <u>Meso Physiological Systems</u>  | Malaquin | Développement de dispositifs microfluidiques pour la culture et l'analyse cellulaires dans des environnements contrôlés                | Laborde            |
|      | P-21-03358 | <u>macrophages</u>                 | Thibault | macrophages humains primaires Développement de nano-dispositifs pour l'étude des structures d'adhérence des                            | Laborde            |
|      | P-22-03787 | <u>Nanofutur</u>                   | Malaquin | Développements génériques pour equipex nanofutur   | Charlot / Bourrier |
| MEMS | P-17-02330 | <u>Agile muscle osmotique</u>      | Mansard  | Caractérisation de gels poreux   | Reig               |
|      | P-14-00709 | <u>MEMS</u>                        | Leichle  | Réalisation de NEMS  | Mazenq             |
|      | P-16-01766 | <u>Biodispositif implantable</u>   | Bergaud  | Réalisation d'électrodes implantables  | Laborde            |
|      | P-16-01772 | <u>Soleil</u>                      | Leichle  | Intégration de nanofluidique sur multicouch  | Bourrier           |
|      | P-21-03359 | <u>Zerouate</u>                    | Legrand  | Electronique douce et parahaptique à base de dispositifs électromécaniques en milieu liquide   | Mazenq             |
|      | P-15-01449 | <u>HERMES</u>                      | Legrand  | Sondes MEMS pour AFM   | Mazenq             |
|      | P-19-02752 | <u>3D brain</u>                    | Maziz    | Développement d'électrodes implantables multidimensionnelles pour la détection électrochimique de biomarqueurs des troubles du cerveau | Laborde            |
|      | P-21-03488 | <u>Scaffolds électromécaniques</u> | Bergaud  | Fabrication et caractérisation de  | Reig               |

|             |                   |   |                    |   |                    |
|-------------|-------------------|---|--------------------|---|--------------------|
|             |                   |   |                    | <b>scaffolds électromécaniques</b>  |                    |
|             | <b>P-21-03641</b> | <u>E motion</u>                                 | <b>Nicu</b>        | <b>structurer des métamatériaux à base de composites résines/nanoparticules PZT</b> | <b>Doucet</b>      |
|             | <b>P20-03115</b>  | <u>MEMS Orga</u>                                | <b>Nicu</b>        | <b>Evaporation de matériaux organiques cristallins</b>                              | <b>Salvagnac</b>   |
| <b>TEAM</b> | <b>P-19-03010</b> | <u>bio NIL</u>                                  | <b>Darab</b>       | <b>Développement de procédés d'impression à base de bio-matériaux</b>               | <b>Daran</b>       |
|             | <b>P-18-02692</b> | <u>Développements en caractérisation</u>        | <b>Reig</b>        | <b>Développements d'intérêt collectif en caractérisation</b>                        | <b>Reig</b>        |
|             | <b>P-22-03767</b> | <u>DEVchim</u>                                  | <b>Doucet</b>      | <b>Développements d'intérêt collectif en chimie</b>                                 | <b>Doucet</b>      |
|             | <b>P-22-03779</b> | <u>Developpement de procédés en jet d'encre</u> | <b>Mesnilgrete</b> | <b>Développements d'intérêt collectif en jet d'encre</b>                            | <b>Mesnilgrete</b> |
|             | <b>P-22-03784</b> | <u>Développements dépôts électrochimiques</u>   | <b>Bourrier</b>    | <b>Développements d'intérêt collectif en électrochimie</b>                          | <b>Bourrier</b>    |
|             | <b>P-22-03785</b> | <u>Développements PVD</u>                       | <b>Salvagnac</b>   | <b>Développements dépôts PVD</b>  | <b>Salvagnac</b>   |
|             | <b>P-22-03789</b> | <u>Développements assemblage</u>                | <b>Charlot</b>     | <b>Développements assemblage</b>  | <b>Charlot</b>     |
|             | <b>P-22-03788</b> | <u>Développements litho laser</u>               | <b>Calmon</b>      | <b>Développements litho laser</b>   | <b>Calmon</b>      |
|             | <b>P-22-03791</b> | <u>Développements traitements thermiques</u>    | <b>Imbernon</b>    | <b>Développements traitements thermiques</b>  | <b>Imbernon</b>    |
|             | <b>P-22-03790</b> | <u>Développements implantation</u>              | <b>Imbernon</b>    | <b>Développements implantation</b>  | <b>Imbernon</b>    |
|             | <b>P-14-00954</b> | <u>Développements gravure plasma</u>            | <b>Lecestre</b>    | <b>Développements gravure plasma</b>  | <b>Lecestre</b>    |
|             | <b>P-22-03792</b> | <u>Développement EJM</u>                        | <b>Arnoult</b>     | <b>Développements EJM</b>   | <b>Arnoult</b>     |
|             | <b>P-15-01578</b> | <u>Développements photolithographie</u>         | <b>Mazenq</b>      | <b>Développements photolithographie</b>   | <b>Mazenq</b>      |
|             | <b>P-22-03793</b> | <u>Développements ALD CVD</u>                   | <b>Dubreuil</b>    | <b>Développements ALD CVD</b>   | <b>Dubreuil</b>    |

## ELEMENTS D'ANALYSE

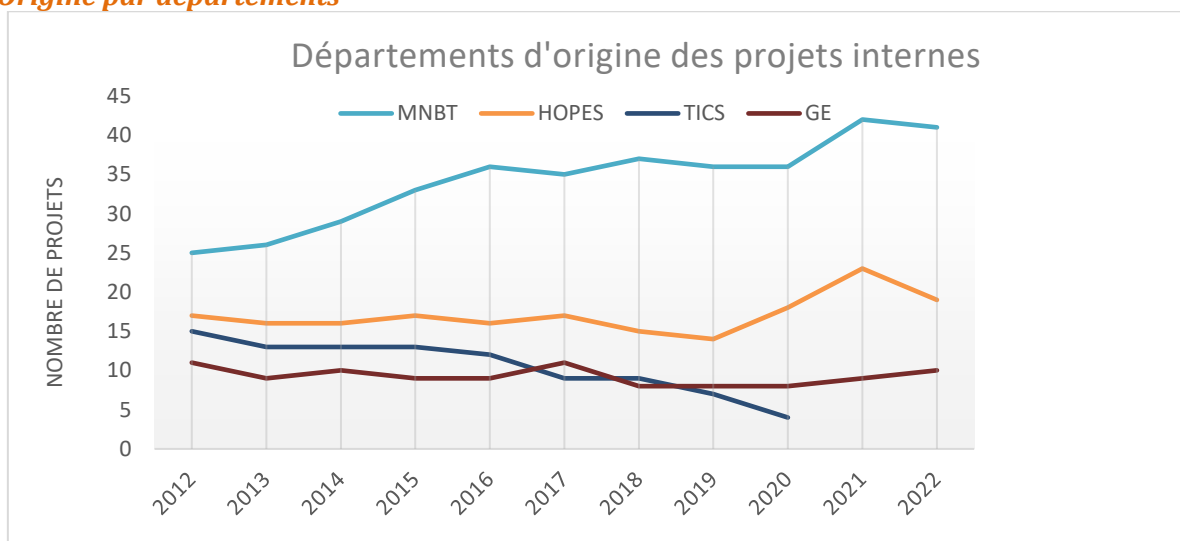
Chaque zone du service TEAM gère un projet des développements d'intérêt collectif, nous ne traitons pas ici de ces projets dont la plupart des développements ont été présentés dans les chapitres précédents.

### Projets 2022

Un décompte brut sans analyse indique une augmentation du nombre total de projets demandant un support, pour arriver à 70 demandes soit 4 de moins qu'au début 2021.

### Evolution pluriannuelle

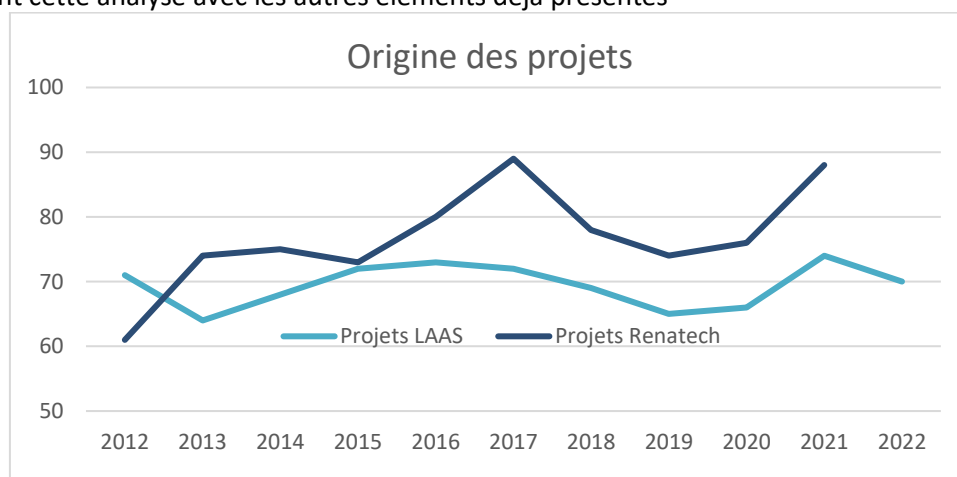
#### Origine par départements



- Pas d'évolution notable.

#### Projets LAAS vs projets Renatech

Même si les deux éléments ne sont pas corrélés il est intéressant d'analyser leur proportion en complétant cette analyse avec les autres éléments déjà présentés



Forte croissance du nombre de projets Renatech

Si l'on considère que les activités pour les projets externes ne représentent que 13% de l'activité totale on comprend aisément que l'envergure moyenne des projets externes est bien inférieure à celle des projets portés par les chercheurs du laboratoire.

# SYNTHESE

Par zone  
Générale

## SYNTHESE PAR ZONE

### Assemblage

#### *Organisation*

Julia Borah est l'interlocutrice à privilégier pour toutes demandes liées au montage de composants. Il est rappelé qu'il faut réserver et valider les équipements avant leur utilisation.

#### *Équipement*

Un nouvel équipement de report par flip chip doit arriver en milieu d'année et doit permettre l'utilisation de nouveaux procédés d'intégration basses températures comme la thermosonnie de bump d'or ou la brasure d'alliages comme le SnBi ou l'Indium.

#### *Formation*

Cours sur l'assemblage disponible en ligne à partir de 2022.

### Caractérisation

#### *Arrivée de Mairame Diallo*

L'arrivée de Mairame permet d'être plus réactif sur les formations (aujourd'hui souvent 1 à 2 semaines de délai), d'augmenter le suivi utilisateurs (au jour le jour) et nous espérons aussi limiter le temps de maintenance.

#### *Nouveaux équipements et jouvence*

De nouveaux équipements arriveront cette année, ce qui demandera quelques aménagements dans la zone mais augmentera les possibilités d'analyses actuelles (plus de gamme d'observation sur le profilomètre optique et résolution spatiale sur l'ellipsomètre).

#### *Attention aux mauvaises manipulations*

Tous les utilisateurs doivent être attentifs aux manipulations menées pour limiter les risques sur les équipements. Le fait que ce soit une zone en libre-service ne veut pas dire que l'on doit « dépêcher » de faire les manipulations. Il est essentiel de remettre les équipements dans les configurations standards après utilisations, de faire attention aux supports fragiles, de replacer les outils à leurs places, ...

### Chimie

#### *Développement des activités de synthèse/formulation :*

La décision de recruter pour la zone un permanent IR avec un profil synthèse constitue une nouvelle orientation de la zone. L'arrivée de Daniel Ferri Angulo en février 2022 sera l'occasion d'un ajustement des modes de fonctionnement de la zone. L'objectif de ces ajustements est de permettre aux trois personnes présentes de dégager la majeure partie de leur temps pour élaborer de nouveaux matériaux qui seront mis en forme dans la salle blanche.

#### *Espace et équipements chimie exploratoire :*

L'évolution des activités de la zone s'accompagnera d'investissements pour la mise en place des équipements utiles au soutien des projets. Plusieurs pistes sont envisagées : installation d'un poste avec ligne de Schlenk (rampe à gaz) enrichi de fonctions dévolues à la synthèse chimique ; évaporateur

rotatif, hotte dédiée, lyophilisateur. Les choix définitifs seront guidés à la fois par les échanges avec les chercheurs et l'anticipation des besoins futurs. La réflexion prendra en compte les espaces d'implantation actuellement disponibles (pièce chimie exploratoire et les deux plans de travail à rénover en zone MEMS / acides) et les risques de contamination croisée

## **CVD**

### **Organisation**

Quatre personnes travaillent en CVD/ALD. Les ingénieurs sont issus des traitements thermiques, de l'implantation ionique et de la gravure par plasma. Leur formation sur les techniques de dépôts en CVD et ALD est nécessaire et longue.

### **Evolution des équipements**

- Installation d'un outil de suivi de la courbure pour contrôler les dépôts dans CCPECVD.
- Une version 2 de l'outil de suivi en temps réel de la réflectivité des dépôts dans ICPECVD.

### **Procédés technologiques**

- Des développements de dépôts RuOx(Hy) encore conduits dans l'ALD-NOMOS avec une collaboration externe pour les caractérisations des matériaux déposés.
- Des traitements in-situ par plasma pour améliorer le dépôt HfO<sub>2</sub> dans l'ALD-MOS.
- Un traitement in situ dans ICPECVD sur LiNbO<sub>3</sub> avant dépôt de matériaux isolants et réduire les pertes optiques dans les structures GRIGFs.
- La réalisation dans ICPECVD de matériaux à différents indices de réfraction pour applications photoniques.

### **Formations**

Cours technologique CVD et ALD en version numérique et en ligne.

## **Dépôts sous vide**

### **Activité de la zone**

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 matériaux énergétiques demandent toujours un développement constant.

### **Développement**

En 2022, les développements en soutien aux projets autour des Pyromens vont perdurer de façon significative.

## **Dépôts Electrochimiques**

### **Personnel :**

L'arrivée de Justine Bonneau et sa rapide prise en main de toutes les analyses des bains lui a permis de participer aux développements de la zone dès sa première année, ce qui représente en général pour les autres CDD une année d'apprentissage de la technologie. Du coup nous avons pu garder une bonne dynamique de développement de nouveaux procédés. Elle va pouvoir dès 2022 participer au développement de procédé complet dans le cadre de projets.

### **Procédés & Collaborations :**

Les différentes collaborations aussi bien sur les équipements que sur les procédés ont démontré encore de nombreux résultats positifs pour les zones et les procédés du laboratoire. Ces collaborations vont encore se poursuivre en 2022 en espérant qu'elles soient tout aussi productives.

### **Jouvence équipements de caractérisation**

Afin de financer la jouvence des équipements de caractérisation électrochimique avant qu'ils ne soient inutilisables, nous sommes à la recherche de financement même partiel de la somme que nous pourrions compléter avec d'autres projets ou fond propre.

### **Epitaxie par jets moléculaires**

#### **Maintenance MBE412**

Le MBE412 va subir une grosse maintenance au printemps 2022. Notamment, nous allons remplacer les panneaux cryogéniques saturés par des panneaux neufs. Les anciens panneaux seront envoyés en nettoyage, afin de permettre une rotation dans le futur. Les panneaux cryogéniques n'ont jamais été remplacés depuis l'installation de la machine. Leur saturation induit la création d'une grande densité surfacique de défauts sur les plaques épitaxiées, qui devrait considérablement diminuer avec les nouveaux panneaux cryogéniques. Le canon RHEED 20 keV actuel sera remplacé par un 30 keV.

#### **Labcom EPICENTRE**

Le laboratoire commun avec la société RIBER, débuté en juin 2021, va permettre la valorisation des outils de suivi in situ de la croissance développés au laboratoire. En contrepartie, le laboratoire sera équipé d'un système d'épitaxie original qui ouvre la voie vers les croissances automatisées, et permettra de réaliser des empilements hybrides originaux dans les meilleures conditions.

#### **Outils de mesure in situ**

Les outils de mesure in-situ de la croissance continuent d'être développés, ou évoluent. Par exemple, la mesure des flux par absorption atomique a bénéficié d'une amélioration majeure grâce à la mise en œuvre d'un aller/retour de la lumière absorbée dans le flux.

### **Gravure plasma**

Nous sommes deux à 80% ce qui correspond à 1,6 ETP (Equivalent Temps Plein). Il faut noter que la zone gravure comprend de plus en plus d'équipements (10 machines). Un travail de vérification, d'optimisation et de développement est nécessaire sur chaque équipement. Actuellement nous passons 90% de notre temps à faire un travail de maintenance, de service et de formation. Il faut noter que la maintenance curative nous prend beaucoup de temps (voir « Maintenance significatives »). Il est de plus en plus difficile de libérer du temps pour faire de l'optimisation / développement de procédés, ce qui sera très dommageable pour la zone gravure plasma sur le long terme.

### **Jet d'encre et traitement de surface**

#### **Jet d'encre**

Le nombre de projets est stable sur les dernières années. L'utilisation est importante en raison des développements de procédés.



### **Traitement de surface**

L'essentiel de l'activité concerne le traitement hydrophobe/anti-adhérent de moules pour PDMS. Cependant les développements continuent dans ce domaine avec la mise au point d'autres traitements et l'arrivée du Nanonex Ultra-100 à remettre à niveau.

### **Ressources humaines**

Du fait de l'augmentation du parc d'équipements, de la prise de conscience de l'intérêt de la maîtrise des états de surface et Véronique Conédéra partant à la retraite en 2023, un recrutement sera nécessaire dans les années à venir pour continuer à développer la zone afin de répondre au mieux aux besoins des chercheurs.

### **Lithographie laser**

#### **Fabrication des masques et réticules**

La quantité de masques fabriqués en 2021 pour les projets exogènes est en augmentation par rapport aux années précédentes. Le nouvel équipement HMX dédiés aux traitements chimiques des masques et les mises à jour récentes des logiciels de pilotage de la DWL 200 nous permettent de répondre aux sollicitations en quelques jours. Un nouveau protocole de commande nous permet de démarrer automatiquement l'écriture de 10 masques pendant les week-ends. Dans le futur l'équipement HMX pourra aussi graver des masques de résolution sub-micronique réalisés avec un masqueur électronique.

#### **Lithographie 3D**

Les équipements pour la structuration 3D des matériaux en salle blanche verront leurs capacités augmentées après l'installation du module GT+ du PP Nanoscribe dans le cadre du projet Multifab et l'acquisition d'un nouveau système de traitement laser dit "FLICE" (Femtosecond Laser Irradiation and Chemical Etching) incluant en option la photo-polymérisation bi-photons dans le cadre de l'Equipex Nanofutur. Ces nouveaux équipements compléteront nos moyens de fabrication 3D multi-échelles et multi-matériaux.

### **Nanolithographies**

#### **Lithographie électronique :**

Prospective pour l'achat, en 2022 à priori, d'un nouvel équipement de lithographie électronique plus automatique et plus performant avec un accès facilité à la technique.

Prochain responsable : Laurent Mazenq !

La pérennité de la technique semble assurée ...

#### **Nanoréplication :**

Nouveaux développements de Clothilde Pera (développement des films en PLLA)

+ Stagiaire commun avec Photo

= dynamique positive !

### **Photolithographie**

#### **Changement de personnel**

La transition de Laurent Mazenq vers la zone de nanolithographies (50% dès 2022) pose la question du manque d'effectif à venir en photolithographie.

### **Hausse coût de maintenance Stepper**

Le vieillissement de l'équipement entraîne des coûts de maintenance significatifs (70K€ en 2021)

### **Reprise d'activité post-2020**

L'activité en photolithographie, bien qu'en hausse par rapport à 2020, reste en baisse de 14% par rapport à 2019.

### **Traitements thermiques et implantation ionique**

#### **Activité**

L'activité est en légère augmentation au niveau des fours due notamment aux projets liés à l'oxydation de nanofils de silicium mais en baisse au niveau de l'implantation ionique à cause de la diminution des projets microélectroniques.

#### **Equipements**

En 2022, nous prévoyons la remise à niveau de la commande des fours de recuits Freescale avec l'aide du service I2C et avec éventuellement le recrutement d'un stagiaire ou d'un CDD. Cela permettrait de réaliser des recuits métaux sous rampes automatiques ainsi que des oxydations thermiques sèches pour des composants NoMOS.

#### **Procédés**

Nous allons également caractériser les oxydes thermiques réalisés dans nos fours dans le cadre du recensement des matériaux de la centrale de technologie du LAAS.

<https://lims.laas.fr/WebForms/Equipment/EquipmentView.aspx?toolId=25>

## **SYNTHESE GENERALE**

### **Personnel**

- Depuis 2012 le bilan sur les personnels permanents est de -5.
- Le poste d'IR matériaux a été obtenu.
- Si l'on se projette à six ou sept ans au rythme actuel nous arriverons à -7 ou -8 postes permanents.
- Disparition de personnel attitré au support compensé par l'implication des autres personnels TEAM, l'appel à la sous traitance
- Sous-effectif en zones chimie, électrochimie, assemblage, caractérisation.
- Plus de personnel attitré en support et soutien
- Cette situation appauvrit le soutien apporté aux projets de recherche et à terme met en péril les développements de procédés amonts et l'acquisition de nouvelles compétences.
- Réflexion lancée par TEAM sur son organisation interne, la nature de ses actions et les méthodologies pour les mener à bien.
- Cinq promotions dont deux changements de corps

### **Equipements**

- Installation de neuf équipements.
- Cinq procédures d'achat en cours début 2022.
- Entre 5 et 7 procédures à lancer en 2022
- Projets très structurants :
  - Obtenu Equipex Nanofutur et
  - Attendu : PEPR électronique en lien avec une extension de la plateforme

- Mise à jour de la prospective équipement du laboratoire début 2022

### Procédés

- Encore en capacité de mener des développements de procédés mais on voit que dans les zones sous dotées ils sont bien souvent retardés ou simplement abandonnés.
- On ne peut toujours que déplorer de ne pas disposer de retours systématiques des utilisateurs quant aux procédés réalisés.
- Manque d'association des personnels dans les publications
- Manque de citation de Renatech dans les remerciements
- Proposition de mise en place d'un moment d'échange sur la technologie sur les modèle des mardis du vivant.

### Bilan des activités

- Volume d'activité apparemment en baisse de l'ordre de 8 %, mais sans doute plutôt un artefact car les utilisateurs sont plus attentifs à noter la durée réelle de leurs travaux puisque celle-ci sert à facturer les activités.
- Déploiement d'un système de badge pour activer/désactiver les équipements pour avoir le relevé exhaustif des activités

### Partenariat Renatech

- Activité en hausse.
- Ces activités restent circonscrites à 13% de l'activité globale de la salle blanche pour environ 26% des sommes encaissées en facturation.

### Formations

- Près de 600 heures de formations pratiques
- Trente heures de cours « théoriques »
- Développement du site de elearning interne

### Sécurité

- Peu d'actions significatives en 2021.

### Budget

- Les dépenses retrouvent leur niveau de 2018.
- Les économies liées aux travaux de réduction des consommations énergétiques étant malheureusement compensées par la hausses des coûts.

### Demandes internes de soutien

- Légère baisse des demandes internes qui s'établissent à 70 ..

# ANNEXE

## Liste des équipements au 1<sup>er</sup> janvier 2022

**LISTE DES EQUIPEMENTS AU 31 DECEMBRE 2021(extraction depuis l'application Myfab)**

| Nom (code facturation)                      | Référence | Zone               | Date d'installation | Equipementier        |
|---|-----------|--------------------|---------------------|----------------------|
| <b>étuve ThermoX (F-FRAI)</b>               | A51       | Assemblage (Bât G) | 2017-01-01          | Thermo scientific    |
| <b>Découpe Graphtec (A-MONT)</b>            | A52       | Assemblage (Bât G) | 2019-10-01          | Graphtec             |
| <b>Form 3 (L- 3D)</b>                       | A53       | Assemblage (Bât G) | 2019-12-16          | Formlabs             |
| <b>carotteuse ultra sonique (A-MONT)</b>    | A31       | Assemblage (Bât G) | 2007-12-12          | fishione             |
| <b>Mesure planéité (A-POLI)</b>             | A36       | Assemblage (Bât G) | 2010-12-15          | Logitech             |
| <b>Film monter UH-115 (A-MONT)</b>          | A24       | Assemblage (Bât G) | 2014-03-03          | Ultron Systems, Inc. |
| <b>Nettoyage wafers UH-117 (A-MONT)</b>     | A25       | Assemblage (Bât G) | 2014-03-03          | Ultron Systems, Inc. |
| <b>Etuve Horo (A-MONT)</b>                  | A17       | Assemblage (Bât G) | 2014-03-03          | HORO                 |
| <b>Etuve TETHYS (A-MONT)</b>                | A18       | Assemblage (Bât G) | 2014-03-03          | TETHYS               |
| <b>Scriber Karl-SUSS RH-100 (A-MONT)</b>    | A2        | Assemblage (Bât G) | 2014-03-03          | Karl-SUSS            |
| <b>Scriber SET (A-MONT)</b>                 | A3        | Assemblage (Bât G) | 2014-03-03          | SET                  |
| <b>Report/Collage Tresky T4907 (A-MONT)</b> | A6        | Assemblage (Bât G) | 2014-03-03          | Dr Tresky            |
| <b>Report/Collage Tresky T3000 (A-MONT)</b> | A7        | Assemblage (Bât G) | 2014-03-03          | Dr Tresky            |
| <b>Report eutectique KnS 6482 (A-MONT)</b>  | A9        | Assemblage (Bât G) | 2014-03-03          | Kulicke and Soffa    |
| <b>Scie diamanté DAD-321 (A-MONT)</b>       | A1        | Assemblage (Bât G) | 2014-03-03          | DISCO                |
| <b>hotte montage (F-FRAI)</b>               | A21       | Assemblage (Bât G) | 2006-12-20          | unknown              |
| <b>Micro Injecteur (A-MONT)</b>             | A23       | Assemblage (Bât G) | 1999-12-16          | Narishige            |
| <b>Hotte polissage (F-FRAI)</b>             | A20       | Assemblage (Bât G) | 2006-12-13          | unknouwn             |
| <b>Polisseuse PM5 (A-POLI)</b>              | A5        | Assemblage (Bât G) | 1998-12-16          | Logitech             |
| <b>Micro-soudeuse KnS 4700 (A-MONT)</b>     | A12       | Assemblage (Bât G) | 2014-03-03          | Kulicke and Soffa    |
| <b>polisseuse ESCIL (A-POLI)</b>            | A39       | Assemblage (Bât G) | 2011-10-12          | Escil                |
| <b>oscilloscope (F-FRAI)</b>                | A43       | Assemblage (Bât G) | 2012-12-12          | Tektronix            |
| <b>Grinder G&amp;N (A-POLI)</b>             | A4        | Assemblage (Bât G) | 2014-03-03          | Grinder              |
| <b>Fer à souder Weller (F-FRAI)</b>         | A42       | Assemblage (Bât G) | 2015-01-01          | Weller               |
| <b>Scriber JFP-S100 (A-MONT)</b>            | A41       | Assemblage (Bât G) | 2014-03-03          | CEFORI               |

|  |        |   |            |                   |
|--|--------|---|------------|-------------------|
| <b>Jauge de mesure d'épaisseur (A-POLI)</b>                      | A35    | Assemblage (Bât G)                          | 2014-03-03 | Logitech          |
| <b>Wafer Substrate Bonding (A-POLI)</b>                          | A19    | Assemblage (Bât G)                          | 2015-12-15 | Logitech          |
| <b>Micro-soudeuse TPT HB-16 5 (A-MONT)</b>                       | A10    | Assemblage (Bât G)                          | 2014-03-03 | TPT               |
| <b>Micro-soudeuse KnS 4526 (A-MONT)</b>                          | A11    | Assemblage (Bât G)                          | 2014-03-03 | Kulicke and Soffa |
| <b>ThermoGravimetric Analysis TGA (C- DSC)</b>                   | C-24   | Caractérisation / Characterization (bat G1) | 2021-09-17 | Mettler-Toledo    |
| <b>Differential Scanning Calorimetry (C- DSC)</b>                | C-21   | Caractérisation / Characterization (bat G1) | 2017-10-04 | NETZSCH           |
| <b>Spectromètre UV-VIS (C-SPEC)</b>                              | C-19   | Caractérisation / Characterization (bat G1) | 2017-03-14 | PerkinElmer       |
| <b>Profilomètre mécanique Tencor P17 (F-FRAI)</b>                | C-20   | Caractérisation / Characterization (bat G1) | 2017-06-19 | KLA Tencor        |
| <b>Testeur sous pointes (F-FRAI)</b>                             | C-23   | Caractérisation / Characterization (bat G1) | 2014-03-03 | SET               |
| <b>Ellipsomètre HJY (C-SPEC)</b>                                 | C-07   | Caractérisation / Characterization (bat G1) | 2005-01-01 | Horiba Jobin Yvon |
| <b>Digidrop (F-FRAI)</b>   | C-09   | Caractérisation / Characterization (bat G1) | 2004-01-01 | GBX Instrument    |
| <b>Résistivimètre manuel (F-FRAI)</b>                            | C-10   | Caractérisation / Characterization (bat G1) | 2000-01-01 | ---               |
| <b>Résistivimètre automatique (F-FRAI)</b>                       | C-11   | Caractérisation / Characterization (bat G1) | 2003-01-01 | Changmin Tech     |
| <b>Profilomètre optique Wyko (F-FRAI)</b>                        | C-12   | Caractérisation / Characterization (bat G1) | 2001-12-01 | VEECO             |
| <b>Profilomètre optique LEXT (F-FRAI)</b>                        | C-13   | Caractérisation / Characterization (bat G1) | 2008-01-01 | Olympus           |
| <b>Microscope optique Leica (F-FRAI)</b>                         | C-14   | Caractérisation / Characterization (bat G1) | 2008-01-01 | LEICA             |
| <b>Profilomètre mécanique Tencor P16+ (F-FRAI)</b>               | C-16   | Caractérisation / Characterization (bat G1) | 2009-01-01 | KLA Tencor        |
| <b>PECS (D-PRST)</b>   | C-18   | Caractérisation / Characterization (bat G1) | 2002-01-01 | GATAN             |
| <b>FIB Dual Beam (C- FIB)</b>                                    | C-01   | Caractérisation / Characterization (bat G1) | 2012-06-01 | FEI               |
| <b>MEB S-4800 (C- MEB)</b>                                       | C-02   | Caractérisation / Characterization (bat G1) | 2005-01-01 | HITACHI           |
| <b>MEB S-3700N (C- MEB)</b>                                      | C-03   | Caractérisation / Characterization (bat G1) | 2008-01-01 | HITACHI           |
| <b>AFM ICON (C- AFM)</b>   | C-04   | Caractérisation / Characterization (bat G1) | 2011-01-01 | BRUKER            |
| <b>FTIR (C-SPEC)</b>   | C-06   | Caractérisation / Characterization (bat G1) | 2015-07-01 | BRUKER            |
| <b>semitool Spin Rinse Dryer Main Chem (F-FRAI)</b>              | F1     | Chimie / Chemistry (Bât F)                  |            | Semitool          |
| <b>clean wet bench organic solvents (F-FRAI)</b>                 | CHIM-5 | Chimie / Chemistry (Bât F)                  | 2017-03-06 | DV Tech           |
| <b>wet batch photoresist stripping by AZ100 remover (F-FRAI)</b> | CHIM-3 | Chimie / Chemistry (Bât F)                  | 2005-01-01 | VACO              |
| <b>Glove box for HF based chemistry (F-FRAI)</b>                 | CHIM-6 | Chimie / Chemistry (Bât F)                  | 2019-01-01 | DVTECH            |

|  |             |  |            |                |
|--|-------------|--|------------|----------------|
| <b>right organic solvents fume hood with lowerable window (F-FRAI)</b> | CHIM-2      | Chimie / Chemistry (Bât F)             | 2000-01-01 | Fluidair       |
| <b>left organic solvents fume hood with lowerable window (F-FRAI)</b>  | CHIM-1      | Chimie / Chemistry (Bât F)             | 2000-01-01 | Fluidair       |
| <b>Sonication cabin (F-FRAI)</b>                                       | F14         | Chimie / Chemistry (Bât F)             | 2019-10-01 | DVTECH         |
| <b>UV -ozone (F-FRAI)</b>  | F6          | Chimie / Chemistry (Bât F)             | 2013-06-01 | Jelight        |
| <b>optical microscope NIKON (F-FRAI)</b>                               | F7          | Chimie / Chemistry (Bât F)             | 2005-01-01 | NIKON          |
| <b>wet bench III-V (F-FRAI)</b>  | CHIM-10     | Chimie / Chemistry (Bât F)             | 2005-01-01 | Coillard       |
| <b>wet bench for harmless chemistry (F-FRAI)</b>                       | CHIM-9      | Chimie / Chemistry (Bât F)             | 2005-01-01 | Coillard       |
| <b>acid wet bench for multicleaning and etching (F-FRAI)</b>           | CHIM-8      | Chimie / Chemistry (Bât F)             | 2018-09-24 | PTS            |
| <b>Batch Buffer Oxide Etching 1-7 MOS (F-FRAI)</b>                     | F11         | Chimie / Chemistry (Bât F)             | 2005-01-01 | cybernétix     |
| <b>fume hood exploratory chemistry (F-FRAI)</b>                        | F-ELECTRO-2 | Chimie / Chemistry (Bât F)             | 2008-01-15 | to be precised |
| <b>wet bench metal etching (F-FRAI)</b>                                | CHIM-7      | Chimie / Chemistry (Bât F)             | 2005-01-01 | VACO           |
| <b>wet bench organic solvents PDMS and outgasing (F-FRAI)</b>          | CHIM-4      | Chimie / Chemistry (Bât F)             |            | PTS            |
| <b>D8-Discover (M- DRX)</b>  | M4          | EJM/MBE (Bât G2)                       | 2012-03-26 | Bruker AXS     |
| <b>MBE412 (M- EJM)</b>   | M1          | EJM/MBE (Bât G2)                       | 2011-05-03 | RIBER SA       |
| <b>Paillasse Chime EJM- Acides - III/V (F-FRAI)</b>                    | M6          | EJM/MBE (Bât G2)                       |            | LAAS           |
| <b>Paillasse Chime EJM - Solvants - III/V (F-FRAI)</b>                 | M7          | EJM/MBE (Bât G2)                       |            | LAAS           |
| <b>Sorbonne dépôt électrolytiques</b>                                  | E 25        | Electrochimie / electroplating (Bât F) | 2021-12-12 | PTS            |
| <b>Yamamoto Nickel 4/6" (E-MANU)</b>                                   | E24         | Electrochimie / electroplating (Bât F) | 2019-10-21 | Yamamoto       |
| <b>Yamamoto 4" (E-MANU)</b>  | E23         | Electrochimie / electroplating (Bât F) | 2015-09-01 | Yamamoto       |
| <b>Auroless (E-MANU)</b>   | E15         | Electrochimie / electroplating (Bât F) | 2006-06-15 | Minaservices   |
| <b>Paillasse de Développement &amp; Ultrason (F-FRAI)</b>              | E17         | Electrochimie / electroplating (Bât F) | 2009-06-01 | Minaservices   |
| <b>Paillasse de Développement &amp; Stripping (F-FRAI)</b>             | E19         | Electrochimie / electroplating (Bât F) | 2005-01-01 | LAAS           |
| <b>Gravure KOH (E-ANIS)</b>  | E20         | Electrochimie / electroplating (Bât F) | 2009-06-01 | Minaservices   |

|  |     |  |            |                  |
|--|-----|--|------------|------------------|
| <b>Gravure TMAH (E-ANIS)</b>                 | E21 | Electrochimie / electroplating (Bât F) | 2009-06-01 | Minaservices     |
| <b>Yamamoto Cuivre 4/6" (E-MANU)</b>         | E7  | Electrochimie / electroplating (Bât F) | 2015-09-01 | LAAS             |
| <b>Paillasse dépôts Alternatifs (E-MANU)</b> | E8  | Electrochimie / electroplating (Bât F) | 2005-06-15 | LAAS             |
| <b>Cvs (E-CARA)</b>                          | E11 | Electrochimie / electroplating (Bât F) | 2007-06-15 | Metrhom          |
| <b>Polarographie (E-CARA)</b>                | E12 | Electrochimie / electroplating (Bât F) | 2007-06-15 | Metrhom          |
| <b>AAS (E-CARA)</b>                          | E13 | Electrochimie / electroplating (Bât F) | 2008-06-15 | Perkin Elmer     |
| <b>Rena Nickel 4 pouces (E-AUTO)</b>         | E3  | Electrochimie / electroplating (Bât F) | 2010-07-14 | RENA             |
| <b>Rena Or 4 pouces (E-AUTO)</b>             | E1  | Electrochimie / electroplating (Bât F) | 2005-06-15 | RENA             |
| <b>Rena Cuivre 4 pouces (E-AUTO)</b>         | E2  | Electrochimie / electroplating (Bât F) | 2005-06-15 | RENA             |
| <b>Titration (E-CARA)</b>                    | E14 | Electrochimie / electroplating (Bât F) | 2010-07-14 | Metrhom          |
| <b>ALCATEL P1 (G-DRIE)</b>                   | G4  | Gravure plasma/plasma etching (Bât F)  | 2009-01-01 | ALCATEL-ADIXEN   |
| <b>ALCATEL P4 (G-DRIE)</b>                   | G5  | Gravure plasma/plasma etching (Bât F)  | 2009-01-01 | Alcatel - Adixen |
| <b>DIENER plasma O2 (F-FRAI)</b>             | G6  | Gravure plasma/plasma etching (Bât F)  | 2010-01-01 | DIENER           |
| <b>TEPLA plasma O2 (F-FRAI)</b>              | G7  | Gravure plasma/plasma etching (Bât F)  | 2002-01-01 | TEPLA            |
| <b>Etchlab 200 (G- ICP)</b>                  | G8  | Gravure plasma/plasma etching (Bât F)  | 2015-09-03 | SENTECH          |
| <b>SI500-Chlorée (G- ICP)</b>                | G9  | Gravure plasma/plasma etching (Bât F)  | 2015-09-03 | SENTECH          |
| <b>ICP2 III-V et NoMos (G- ICP)</b>          | G1  | Gravure plasma/plasma etching (Bât F)  | 2003-11-19 | Trikon (SPTS)    |
| <b>Hotte implanteur (F-FRAI)</b>             | I2  | Implantation (Bât G2)                  | 2007-01-01 | Minaservice      |
| <b>Implanteur ionique IMC 200 (I-IMPL)</b>   | I1  | Implantation (Bât G2)                  | 2007-05-08 | Eaton            |
| <b>hotte solvants (F-FRAI)</b>               | A50 | Integration/Assemblage (Bât G1/G)      | 2016-01-01 | Mina services    |
| <b>Hotte Wafer Bonder (F-FRAI)</b>           | A48 | Integration/Assemblage (Bât G1/G)      | 2017-02-06 | Devetek          |
| <b>Parylene C30S (D-PARY)</b>                | D8  | Integration/Assemblage (Bât G1/G)      | 2016-02-29 | Comelec          |
| <b>Pull shear testeur (A-MONT)</b>           | A49 | Integration/Assemblage (Bât G1/G)      | 2016-01-01 | Xyztec           |
| <b>plaque chauffante 300°Cx (A-INTE)</b>     | A32 | Integration/Assemblage (Bât G1/G)      | 2008-02-13 | Sawatec          |
| <b>sérigraphie (A-INTE)</b>                  | A30 | Integration/Assemblage (Bât G1/G)      | 2007-12-19 | DEK              |
| <b>Aligneur Suss (A-INTE)</b>                | A47 | Integration/Assemblage (Bât G1/G)      | 2011-12-20 | SUSS             |
| <b>Shiple 3024 (A-INTE)</b>                  | A38 | Integration/Assemblage (Bât G1/G)      | 2011-01-01 | Shiple           |
| <b>Wafer bonder SUSS (A-INTE)</b>            | A37 | Integration/Assemblage (Bât G1/G)      | 2011-12-14 | SUSS             |
| <b>encolleuse (A-MONT)</b>                   | A40 | Integration/Assemblage (Bât G1/G)      | 2015-01-01 | Janome           |



|  |         |   |            |                        |
|--|---------|---|------------|------------------------|
| <b>Four de refusion (A-INTE)</b>               | A33     | Integration/Assemblage (Bât G1/G)               | 2008-01-01 | Madell                 |
| <b>viscosimètre (F-FRAI)</b>                   | A34     | Integration/Assemblage (Bât G1/G)               | 2009-12-16 | Fungilab               |
| <b>étuve MEMMERT (A-MONT)</b>                  | A45     | Integration/Assemblage (Bât G1/G)               | 2000-01-01 | Memmert                |
| <b>Etuve vieillissement thermique (A-MONT)</b> | A46     | Integration/Assemblage (Bât G1/G)               | 1996-12-11 | Secasi                 |
| <b>Shiplely 360 (A-INTE)</b>                   | A29     | Integration/Assemblage (Bât G1/G)               | 2004-01-01 | Shiplely               |
| <b>Report flip chip (A-INTE)</b>               | A27     | Integration/Assemblage (Bât G1/G)               | 2001-12-18 | SET                    |
| <b>Wafer bonder AML (A-INTE)</b>               | A28     | Integration/Assemblage (Bât G1/G)               | 2005-01-01 | AML                    |
| <b>UV Ozone (F-FRAI)</b>                       | J9      | Jet d'encre / ink jet (Bât G1)                  | 2012-06-13 | Jelight                |
| <b>spectroline 248nm (F-FRAI)</b>              | J10     | Jet d'encre / ink jet (Bât G1)                  | 2014-09-16 | spectroline            |
| <b>balance (F-FRAI)</b>                        | J11     | Jet d'encre / ink jet (Bât G1)                  | 2010-05-11 | Mettler                |
| <b>Altadrop (J- JET)</b>                       | J4      | Jet d'encre / ink jet (Bât G1)                  | 2007-09-01 | Altatech               |
| <b>paillasse jet d'encre (F-FRAI)</b>          | J5      | Jet d'encre / ink jet (Bât G1)                  | 2015-12-15 | Coillard               |
| <b>paillasse electroless (E-MANU)</b>          | J6      | Jet d'encre / ink jet (Bât G1)                  | 2015-12-15 | Coillard               |
| <b>Ceradrop (J- JET)</b>                       | J12     | Jet d'encre / ink jet (Bât G1)                  | 2018-04-05 | Ceradrop               |
| <b>Vacuo-temp (F-FRAI)</b>                     | J13     | Jet d'encre / ink jet (Bât G1)                  | 2021-12-07 | J.P. SELECTA           |
| <b>viscosimètre(F-FRAI)</b>                    | J7      | Jet d'encre / ink jet (Bât G1)                  | 2007-06-13 | anton paar             |
| <b>DILASE 3D HR (L- 3D)</b>                    | L5      | Jet d'encre / ink jet (Bât G1)                  | 2016-03-15 | KLOE                   |
| <b>DILASE 3D MR (L- 3D)</b>                    | L8      | Jet d'encre / ink jet (Bât G1)                  | 2018-07-12 | KLOE                   |
| <b>HMX (L-DWL)</b>                             | L9      | Lithographie laser : Laser Lithography (Bât G1) | 2021-07-22 | SUSS                   |
| <b>MOS wet bench (F-FRAI)</b>                  | LASER-2 | Lithographie laser : Laser Lithography (Bât G1) |            | Minaservice            |
| <b>PHOTONIC PROFESSIONAL (L- 3D)</b>           | L4      | Lithographie laser : Laser Lithography (Bât G1) | 2013-07-02 | NANOSCRIBE             |
| <b>HMP 90 (L- DWL)</b>                         | L6      | Lithographie laser : Laser Lithography (Bât G1) | 2007-03-13 | SUSS                   |
| <b>DWL 200 (L- DWL)</b>                        | L1      | Lithographie laser : Laser Lithography (Bât G1) | 2005-07-01 | HEIDELBERG INSTRUMENTS |
| <b>DILASE 750 (L- 2D)</b>                      | L2      | Lithographie laser : Laser Lithography (Bât G1) | 2013-12-03 | KLOE                   |

|   |         |   |            |                    |
|---|---------|---|------------|--------------------|
| <b>RCA/Piranha cleaning MOS (F-FRAI)</b>                  | LASER-1 | Lithographie laser : Laser Lithography (Bât G1) | 2005-01-01 | VACO               |
| <b>Hotte Litho laser (F-FRAI)</b>                         | L7      | Lithographie laser : Laser Lithography (Bât G1) | 2017-05-17 | DV Tech            |
| <b>DILASE 650 (L- 2D)</b>                                 | L3      | Lithographie laser : Laser Lithography (Bât G1) | 2012-12-05 | KLOE               |
| <b>RAITH150 (N-RAIT)</b>                                  | N1      | Nanolithographies (bat G1)                      | 2005-01-03 | RAITH              |
| <b>Hotte nano (F-FRAI)</b>                                | N3      | Nanolithographies (bat G1)                      | 2017-12-15 | DVTEch             |
| <b>Nano-imprint equipment (N- NEX)</b>                    | N2      | Nanolithographies (bat G1)                      | 2010-06-15 | Nanonex            |
| <b>Paillasse Chime EJM-1 (F-FRAI)</b>                     | M5      | Photolithographies (Bât F)                      | 2007-07-02 | LAAS               |
| <b>Olympus MX50 (F-FRAI)</b>                              | G10     | Photolithographies (Bât F)                      |            | Olympus            |
| <b>Capteurs sécurité gaz</b>                              | S8      | Photolithographies (Bât F)                      |            | Honeywell          |
| <b>Portes automatiques salle blanche</b>                  | S9      | Photolithographies (Bât F)                      |            | Portalp            |
| <b>Tankers azote liquide</b>                              | S10     | Photolithographies (Bât F)                      |            | Linde              |
| <b>TERGEO (F-FRAI)</b>                                    | G12     | Photolithographies (Bât F)                      |            | PIE SCIENTIFIC     |
| <b>HMDS Primer Obducat (F-FRAI)</b>                       | P24     | Photolithographies (Bât F)                      | 2017-12-22 | Obducat Solar Semi |
| <b>Mask Aligner Suss MA6 Gen4 (P-PHOT)</b>                | P25     | Photolithographies (Bât F)                      | 2018-04-13 | Suss Microtec      |
| <b>NanoMOS wet bench (F-FRAI)</b>                         | LASER-3 | Photolithographies (Bât F)                      |            | PTS-DVTECH         |
| <b>SI500-Fluorée (G-DRIE)</b>                             | G11     | Photolithographies (Bât F)                      | 2020-01-06 | SENTECH            |
| <b>ICP3 NoMos (G- ICP)</b>                                | G2      | Photolithographies (Bât F)                      | 2003-11-19 | Trikon (SPTS)      |
| <b>EVG120 Automated Resist Processing System (P-PHOT)</b> | P1      | Photolithographies (Bât F)                      | 2005-06-16 | EVG                |
| <b>SprayCoater Suss Microtec (P-PHOT)</b>                 | P2      | Photolithographies (Bât F)                      | 2010-10-16 | Suss Microtec      |
| <b>Mask Aligner EVG 620 (P-PHOT)</b>                      | P5      | Photolithographies (Bât F)                      | 2005-06-16 | EVG                |
| <b>Mask Aligner Suss MA150 (P-PHOT)</b>                   | P6      | Photolithographies (Bât F)                      | 1998-01-01 | Suss Microtec      |
| <b>Mask Aligner Suss MA6 (P-PHOT)</b>                     | P7      | Photolithographies (Bât F)                      | 1998-01-01 | Suss Microtec      |
| <b>Hotplate automated SU8 n°2 (F-FRAI)</b>                | P11     | Photolithographies (Bât F)                      | 2002-01-01 | Suss Microtec      |
| <b>Hotplate automated SU8 n°1 (F-FRAI)</b>                | P10     | Photolithographies (Bât F)                      | 2005-01-01 | Suss Microtec      |
| <b>Oven polymers (F-FRAI)</b>                             | P12     | Photolithographies (Bât F)                      | 2002-01-01 | Memmert            |
| <b>HMDS Primer oven MOS (F-FRAI)</b>                      | P13     | Photolithographies (Bât F)                      | 2005-01-01 | Yes                |

|  |     |                            |            |                           |
|--|-----|----------------------------|------------|---------------------------|
| <b>HMDS Primer oven (F-FRAI)</b>                             | P14 | Photolithographies (Bât F) | 1999-01-01 | Yes                       |
| <b>Microscope leica photo auto (F-FRAI)</b>                  | P15 | Photolithographies (Bât F) | 2005-01-01 | Leica                     |
| <b>Microscope leica photo manuel (F-FRAI)</b>                | P16 | Photolithographies (Bât F) | 2005-01-01 | Leica                     |
| <b>Wet Bench / Photo 1 NoMOS resist development (F-FRAI)</b> | P17 | Photolithographies (Bât F) | 2005-01-01 | Minaservice               |
| <b>Wet Bench / Photo 1 NoMOS resist spinner (F-FRAI)</b>     | P18 | Photolithographies (Bât F) | 2005-01-01 | Suss Microtec             |
| <b>Wet Bench / Photo 2 NoMOS resist development (F-FRAI)</b> | P19 | Photolithographies (Bât F) | 2005-01-01 | Minaservice               |
| <b>Wet Bench / Photo 2 NoMOS resist spinner (F-FRAI)</b>     | P20 | Photolithographies (Bât F) | 2005-01-01 | Suss Microtec             |
| <b>Wet Bench / Photo 3 MOS resist development (F-FRAI)</b>   | P21 | Photolithographies (Bât F) | 2005-01-01 | Minaservice               |
| <b>Wet Bench / Photo 3 MOS resist spinner (F-FRAI)</b>       | P22 | Photolithographies (Bât F) | 2005-01-01 | Suss Microtec             |
| <b>Stepper I Line Canon (P-PHOT)</b>                         | P3  | Photolithographies (Bât F) | 2009-01-01 | Canon                     |
| <b>GenISys lab (LOGICI)</b>                                  | P23 | Photolithographies (Bât F) | 2017-09-26 | GenISys                   |
| <b>TFE 644 Pulvérisation (D-PRST)</b>                        | D10 | PVD (Bât F)                | 2017-11-13 | Thin Film Equipment (TFE) |
| <b>SFD (J-TRAI)</b>  | J3  | PVD (Bât F)                | 2014-12-18 | 31 degrees                |
| <b>Tousimis (J-TRAI)</b>                                     | J2  | PVD (Bât F)                | 2004-01-01 | Tousimis                  |
| <b>Univex 450 Pulvérisation (D-PRST)</b>                     | D2  | PVD (Bât F)                | 2008-01-01 | Oerlikon                  |
| <b>AC450CT Pulvérisation (D-PRST)</b>                        | D5  | PVD (Bât F)                | 2020-09-22 | Alliance Concept          |
| <b>Plassys Organiques (D-OLED)</b>                           | D3  | PVD (Bât F)                | 2013-09-17 | Plassys                   |
| <b>Varian Evaporation (D-PRST)</b>                           | D4  | PVD (Bât F)                | 1996-01-01 | MTB Solutions             |
| <b>ApSy E100 (D-PRST)</b>                                    | D6  | PVD (Bât F)                | 2010-01-01 | Application Systemes      |
| <b>Riber degas (D-PRST)</b>                                  | D7  | PVD (Bât F)                | 2015-02-11 | Riber                     |
| <b>EVA 600 Evaporation (D-PRST)</b>                          | D1  | PVD (Bât F)                | 2010-01-01 | Alliance Concept          |
| <b>Plassys nano (D-PRST)</b>                                 | D9  | PVD (Bât F)                | 2017-03-01 | Plassys                   |

|   |     |   |            |             |
|---|-----|---|------------|-------------|
| <b>Recuit Au et Cu sur Si (T-FOUR)</b>  | T28 | Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2) | 1997-01-01 | ASM         |
| <b>Four Alox (T-FOUR)</b>               | T19 | Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2) |            | AET         |
| <b>RTP As-One (T-FOUR)</b>              | T13 | Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2) | 2008-01-01 | Annealsys   |
| <b>RTP As-Master (T-FOUR)</b>           | T14 | Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2) | 2008-01-01 | Annealsys   |
| <b>SPD (J-TRAI)</b>                     | J1  | Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2) | 2013-08-07 | MEMSSTAR    |
| <b>Four DIFPHOS6 (T-FOUR)</b>           | T4  | Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2) | 2006-01-01 | Centrotherm |
| <b>Recuit Polyimide (T-FOUR)</b>        | T9  | Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2) | 2011-01-01 | AET         |
| <b>Recuit métaux lourds 6" (T-FOUR)</b> | T10 | Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2) | 2011-01-01 | AET         |
| <b>Recuit verre 6" (T-FOUR)</b>         | T11 | Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2) | 2011-01-01 | AET         |
| <b>Recuit ferrite 6" (T-FOUR)</b>       | T12 | Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2) | 2011-01-01 | AET         |
| <b>Four RECUIT6 (T-FOUR)</b>            | T7  | Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2) | 2006-01-01 | Centrotherm |
| <b>Four AET Reve (T- CVD)</b>           | T20 | Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2) | 1996-01-01 | AET         |
| <b>PECVD 100 ApSy (T- CVD)</b>          | T21 | Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2) | 2018-11-30 | ApSy        |
| <b>Four AET Propre (T-FOUR)</b>         | T16 | Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2) | 1986-01-01 | AET         |
| <b>Four AET Bore (T-FOUR)</b>           | T17 | Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2) | 1986-01-01 | AET         |
| <b>Four AET Phosphore (T-FOUR)</b>      | T18 | Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2) | 1986-01-01 | AET         |

|   |     |   |            |                    |
|---|-----|---|------------|--------------------|
| <b>Recuit métaux divers sauf Au et Cu sur Si (T-FOUR)</b> | T26 | Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2) | 1997-01-01 | ASM                |
| <b>Recuit Au et Cu sur tout substrats (T-FOUR)</b>        | T27 | Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2) | 1997-01-01 | ASM                |
| <b>ICPECVD (T- CVD)</b>                                   | T22 | Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2) | 2010-01-01 | Oxford             |
| <b>ALD MOS (T- CVD)</b>                                   | T23 | Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2) | 2012-04-19 | Cambridge Nanotech |
| <b>Four SIPOLY6 (T- CVD)</b>                              | T5  | Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2) | 2006-01-01 | Centrotherm        |
| <b>Four SI3N46 (T- CVD)</b>                               | T6  | Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2) | 2006-01-01 | Centrotherm        |
| <b>Four OXYNIT6 (T- CVD)</b>                              | T8  | Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2) | 2006-01-01 | Centrotherm        |
| <b>Four OXYPHOS6 (T-FOUR)</b>                             | T3  | Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2) | 2006-01-01 | Centrotherm        |
| <b>Four OXYBORE6 (T-FOUR)</b>                             | T2  | Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2) | 2006-01-01 | Centrotherm        |
| <b>Four OXYPROP6 (T-FOUR)</b>                             | T1  | Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et     | 2006-01-01 | Centrotherm        |
| <b>Four Tempress Si-poly (T- CVD)</b>                     | T29 | Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et     | 1988-01-01 | Tempress           |
| <b>ALD-NOMOS (T- CVD)</b>                                 | T24 | Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et     | 2019-10-31 | Sentech            |