



HAL
open science

Bilan des activités 2022 de la plateforme de micro et nanotechnologies du LAAS-CNRS

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

► **To cite this version:**

Hugues Granier, Alexandre Arnoult, David Bourrier, Laurent Bouscayrol, Pierre-François Calmon, et al.. Bilan des activités 2022 de la plateforme de micro et nanotechnologies du LAAS-CNRS. Rapport LAAS n° 23229. 2023. hal-04124098

HAL Id: hal-04124098

<https://laas.hal.science/hal-04124098>

Submitted on 9 Jun 2023

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.

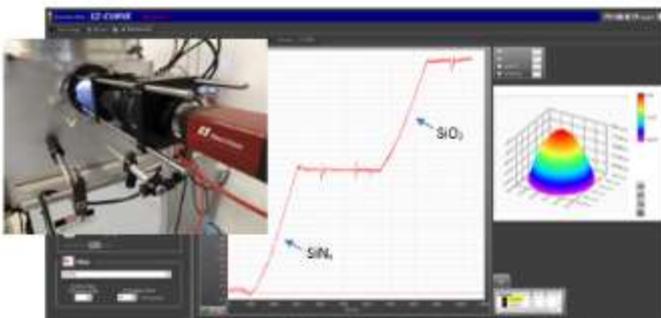


2022

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



Test n°	Results on 5µm test electrodes pattern	Test n°	Results on 5µm test electrodes pattern
1		5	
2		6	
3		7	
4		8	



Service TEAM

LAAS-CNRS

Mars 2023

PREAMBULE	1
LE PERSONNEL	2
LES PROCEDES	14
BILAN DES ACTIVITES	46
LES EQUIPEMENTS	63
FORMATIONS	78
SECURITE	87
BUDGET	91
PARTENARIAT RENATECH	103
DEMANDES INTERNES	116
SYNTHESE	125
ANNEXE	132

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 m² 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 2022 et se projette sur des actions à conduire en 2023.



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



PROJET CO-FINANCÉ PAR LE FONDS 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 2022

Carrières

Analyse pluriannuelle des postes permanents

Quels axes de réflexion pour pallier aux manques ?

Expression des besoins

STRUCTURE DE FONCTIONNEMENT DU SERVICE TEAM

Présentation résumée

Le service, directement sous l'autorité du Directeur, assure le support technique (les équipements) et technologique (les procédés) à la recherche pour le prototypage de micro et nano composants.

Ces recherches émanent du LAAS, d'autres laboratoires nationaux ou internationaux, d'industriels de toutes origines. La communauté concernée touche plus de 400 personnes, sur plus de 160 projets /an.

TEAM a la responsabilité de la salle blanche de 1600 m² qui mutualise des équipements d'une valeur totale de près de 40M€. Cette plateforme est une composante du réseau RENATECH (Réseau National de Technologie) de 5 grandes centrales ; estampillé IR (Infrastructure de Recherche) du CNRS.

Les équipements et les procédés permettent l'élaboration, la mise en forme, la caractérisation des matériaux, l'intégration ; sur des supports compatibles avec les applications visées par les micros et nano composants réalisés.

Les missions principales du service couvrent les points suivants

- Infrastructure : Fonctionnement, adaptation et développement
- Équipements : Expertise, gestion, maintenance, évolutions
- Procédés : Expertise, mise en œuvre, gestion, développements
- Support de projets de recherche : des chercheurs du LAAS ; des exogènes (via le réseau Renatech)
- Formation
- Encadrement en salle blanche sur les techniques et les technologies
- Dissémination, valorisation, transfert des savoirs et savoir faire

Organisation¹:

Composé de 27 agents (25.7 etpt) au 1^{er} février 2023 le service présente deux niveaux fonctionnels.

1. Le management est assuré par le responsable de service, assisté de quatre adjoints en charge respectivement des actions et du développement des compétences des membres du service sur la formation ; la sécurité ; la prospective des équipements ; le partenariat.
2. Les zones qui gèrent un ensemble de moyens spécifiques à un domaine technique.

Le responsable de service assume la responsabilité hiérarchique de tous les agents.

Dans les zones

Les responsables de zones sont nommés par le responsable de service.

Les personnels, spécialistes d'un ensemble technique homogène assument des responsabilités diverses.

Responsabilités techniques

Parfaite connaissance des équipements ; y apporter des améliorations, en assurer la maintenance ; rédiger les cahiers des charges lors des acquisitions et faire une analyse technique lors des choix ; développer les procédés nécessaires aux projets ; capitaliser et valoriser les savoirs ; bibliographie sur les équipements et les procédés

Responsabilités dans l'organisation

Du travail afin d'assurer le maximum de disponibilité des équipements ; rendre compte de l'activité ; présentation et exécution d'un budget de fonctionnement ; prospective en investissement, sécurité.

Responsabilités dans la qualité de l'activité

Fiabilité des équipements et procédés ; connaissance des limites ; conseils aux demandeurs.

Responsabilités de formation

Formation personnelle dans un objectif d'accroissement des compétences ; formation pratique des utilisateurs ; formations théoriques des utilisateurs sur les techniques et technologies.

Relations avec les autres zones

Travailler en cohérence optimale avec les autres zones.

Coordination technique de projet

Parallèlement les personnels sont impliqués dans les projets ; avec pour certains des responsabilités de coordination technique.

Le coordinateur est le correspondant technique d'un projet scientifique. Il est désigné par le responsable de service après concertation tripartite avec le responsable du projet.

C'est une mission "transverse" qui doit permettre :

- Aux membres du service : d'acquérir une meilleure connaissance des activités des différentes zones ; d'élargir leurs compétences ; de minimiser le cloisonnement des zones ; de faciliter les échanges entre les intervenants ; d'être impliqué dans des filières technologiques.
- Aux porteurs de projets d'avoir un interlocuteur privilégié.

Un coordinateur technique doit assumer des fonctions de participation (organisation) aux réunions de définition et de suivi technologique du projet afin d'en établir la trame technologique et la coordination ; d'études pour lever des verrous technologiques ; de conduite d'opérations technologiques, d'encadrement des étudiants. Il doit aussi contribuer à la mémoire du savoir-faire ; être associé à l'analyse et la valorisation des résultats, former d'autres IT à cette fonction.

Implication dans les actions d'intérêt collectif.

Elles peuvent concerner tous les agents. 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.) et des facilités ; etc.

Laboratoire :

Participation aux instances du laboratoire (CL, CLHSCT, etc.) ; correspondant Handicap, correspondant à l'Egalité Femme/Homme ; participation au groupe sur l'éthique ; Assistant de Prévention, etc.

National :

Participation au pilotage du réseau Renatech ; membres de jury de concours ; etc.

ORGANIGRAMME FONCTIONNEL (au 1er février 2023)



TEAM : TECHNIQUES ET ÉQUIPEMENTS APPLIQUÉS AUX MICRO ET NANO TECHNOLOGIES



Mohamed KAÂNICHE
Directeur du LAAS - CNRS

Responsable
Hugues GRANIER, IRHC 70 %

27 agents (14 IR, 9 IE, 3 AI, 1 apprentie)
Personnel CNRS : 21
Personnel technique contractuel : 2
Personnel UPS : 1
Personnel INPT : 1
Personnel contractuel du programme ingénieur transfert du CNRS : 1
Alter : apprentie en alternance : 1

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 CONÉDÈRA 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

PACKAGING CHARLOT Samuel IEHC 20%	JET D'ENCRE ET TRAITEMENTS DE SURFACE MESNIGRENTE Fabien IECN 35 % CONÉDÈRA Véronique IRHC 15 %
CARACTÉRISATION Rava Benjamin IRCN 70 % DIALLO Mairame IECN 40 %	LITHOGRAPHIE LASER CALMON Pierre-François IRHC 25 % COLIN René-David IECN 25 % AGOIN JEANNE Alter 30%
CHIMIE DOUCET Jean-Baptiste IEHC 20 % FERRI-ANGULO Daniel IRCN 50 %	NANOLITHOGRAPHIES CARCENAC Franck IRHC 25 % MAZENQ Laurent IRCN 25 % DOUCET Jean-Baptiste IEHC 28 %
CVD DUBREUIL Pascal IRCN 30 % IMBERNON Éric IRCN 10 % MARROT Jean-Christophe IECN 10 %	PHOTOLITHOGRAPHIE LABORDE ² Adrian IECN 50 % MAZENQ Laurent IRCN 25 % DIALLO Mairame IECN 10 %
DÉPÔTS ÉLECTROLYTIQUES, GRAVURE ANISOTROPE DU SI BOURRIER David IRCN 50%	TRAITEMENTS THERMIQUES ET IMPLANTATION IONIQUE IMBERNON Éric IRCN 30 % MARROT Jean-Christophe IECN 30 %
DÉPÔTS SOUS VIDE SALVAGNAC Ludovic IEHC 20 % LIBAUDE Guillaume AI 40 % LABORDE ² Adrian IGE 10 %	SOUTIEN ET SUPPORT aux activités GRANIER Hugues IRHC 10 % DILHAN Monique IRHC 5 % BOUSCAYROL Laurent IECN 70 %
ÉPITAXIE PAR JETS MOLÉCULAIRES ARNOLTT Alexandre IRHC 15 % Quentin GRAVELIER AI 49 %	PARTENARIAT AVEC LES INDUSTRIELS GRANIER Hugues IRHC 20 % DILHAN Monique IRHC 10 % Kourdi Rislène ⁴ IRCN 100 %
GRAVURE PLASMA LECESTRE ³ Aurélie IGR2 80 % BOUSCAYROL Laurent IECN 30 % ARRIBAT ¹ Matthieu AI 80%	

RESPONSABILITES EN SOUTIEN DIRECT AUX PROJETS DE RECHERCHE

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

AGOIN JEANNE Alter 70%	DOUCET JEAN-BAPTISTE IEHC 50 %
ARNOLTT ALEXANDRE IRHC 85 %	DUBREUIL PASCAL IRCN 67 %
ARRIBAT ¹ MATTHIEU AI 20%	FERRI-ANGULO DANIEL IRCN 50 %
BOURRIER DAVID IRCN 50%	GRAVELIER QUENTIN AI 49 %
BOUSCAYROL LAURENT IECN 70 %	IMBERNON ÉRIC IRCN 55 %
CALMON PIERRE-FRANÇOIS IRHC 65 %	LABORDE ² ADRIAN IECN 40 %
CARCENAC FRANCK IRHC 65 %	LECESTRE ³ AURÉLIE IGR2N 20 %
CHARLOT SAMUEL IEHC 60 %	LIBAUDE GUILLAUME AI 60 %
COLIN RENÉ-DAVID IECN 25 %	MARROT JEAN-CHRISTOPHE IECN 60 %
CONÉDÈRA VÉRONIQUE IRHC 45 %	MAZENQ LAURENT IRCN 45 %
DIALLO Mairame IECN 50 %	MESNIGRENTE FABIEEN IECN 63 %
DILHAN MONIQUE IRHC 35 %	REIG BENJAMIN IRCN 30 %
	SALVAGNAC LUDOVIC IEHC 80 %

ACTIONS D'INTÉRÊT GÉNÉRAL AU DELÀ DU SERVICE

CHARLOT SAMUEL IEHC 20 %	ASSISTANT DE PRÉVENTION
COLIN RENÉ-DAVID IECN 5 %	CORRESPONDANT HANDICAP
DOUCET JEAN-BAPTISTE IEHC 2 %	CLHSC
DUBREUIL PASCAL IRCN 3%	FORMATEUR SST
GRAVELIER QUENTIN AI 2 %	CLHSC
IMBERNON ÉRIC IRCN 5%	PCR ET CLHSC
MAZENQ LAURENT IRCN 5 %	CONSEIL DE LABORATOIRE
MESNIGRENTE FABIEEN IECN 2 %	CLHSC



Point marquants 2022 et projection 2023 dans les zones

Assemblage

Départ de Julia Bohra en décembre 2022. Offre d'emploi sur un poste d'AI en cours pour la remplacer. Pas de candidat recensé à ce jour.

Déménagement de l'atelier électronique en salle de montage durant la période des travaux du bâtiment B.

Caractérisation

Nous passons de 3 personnes (~2ETP) en 2022 à 2 personnes en 2023 (1 seule pour les 6 premiers mois de l'année) avec le départ à la retraite d'Emmanuelle Daran et le congé maternité de Mairame Diallo (IE CDD). Cela aura pour impact d'allonger la réalisation des demandes que ce soit pour la formation ou l'aide ponctuelle.

Chimie

Arrivé le 14/02/2022 de Daniel Ferri-Angulo (IR permanent profil chimie de synthèse).

Départ fin 2022 de Justine Bonneau (AI CDD en partage à 50% avec la zone dépôt électrolytique). Un nouveau recrutement d'un.e AI en CDD est ouvert depuis janvier 2023 pour couvrir ce poste qui permet de garder une bonne dynamique de développements dans la zone.

Daniel Ferri-Angulo est en discussion avec la société APRECA (european projets coordinator), pour accueillir et encadrer une étudiant Erasmus dans la zone chimie pendant 6 semaines jusqu'à fin juin 2023.

CVD

J.C. Marrot a été formé en 2022 par E. Imbernon à l'utilisation des fours LPCVD.

E. Imbernon a suivi une formation sur le management de projets, se formera à la technique ALD en interne et externe.

P. Dubreuil a suivi une formation externe en école thématique sur ALD (présentation d'un poster, cf. évolutions procédés). Lors de la journée Renatech Dépôts, un poster et une présentation orale sur l'oxyde de silicium déposé par CCPECVD ont été présentés. Il suivra une formation externe sur la gestion des priorités et des urgences, gérer son temps de travail.

E. Scheid, chercheur (MPN) spécialiste en CVD/ALD, est parti à la retraite fin 2022.

Dépôts sous vide

Guillaume Libaude aurait dû suivre une formation sur l'interaction entre les objets connectés, qui a été annulée. Guillaume devrait la suivre en 2023.

Dépôts Electrolytiques

Depuis fin décembre 2022 Justine Bonneau a terminé son contrat CDD. Un recrutement pour la remplacer est en cours depuis janvier mais malheureusement jusque-là il est infructueux. De ce fait seulement un permanent au lieu de deux est présent sur la zone.

EJM

Les croissances, elles ont été réalisées exclusivement sur le MBE412, privé de ses cellules d'AI, pour trois projets distincts :

- La croissance de BiSb, par Dima Sadek, dont la thèse est encadrée par Sébastien Plissard (MPN),
- La croissance de jonctions PN pour la thèse de Nathan Monvoisin, encadré par Guilhem Almuneau et Inès Massiot (PHOTO),

- La prise d'images RHEED lors d'étapes simples pour la thèse d'Abdourahmane Khaireh, encadré par Peter Wiecha (MPN).

Dans le cadre du laboratoire commun Épicecentre, un IR CDD a été recruté début juillet 2022 (Erwan Cossec), afin d'aider au développement des logiciels LabVIEW de pilotage des instruments de mesures in-situ.

En 2023, un post-doctorant devrait s'impliquer dans la croissance de VCSELS dans le cadre du projet PhotoGenic, porté par G. Almuneau. Une stagiaire M2, Salima Fekraoui, encadrée par S. Plissard, devrait quant à elle débiter sa formation sur l'épitaxie par jets moléculaire.

Gravure plasma

En 2023 : départ de L. Bouscayrol (vers infrastructure) et arrivée d'un CDD AI (M. Arribat).

Jet d'encre et traitements de surface

Nous nous sommes préparés au départ à la retraite de Véronique Conédéra cette année 2023. Suite à son départ la zone ne comprendra plus qu'un IE ce qui est un risque pour la pérennité des procédés et compétences développées.

Lithographie Laser

Jeanne Aigoïn poursuit sa 2^{ème} année de formation ingénieur par apprentissage au sein des services I2C et TEAM. Jeanne conduit des développements pour la caractérisation et la mise en œuvre de matériaux hydrogels pour des applications à des projets de bio-impression 3D.

Dans le cadre de l'Equipex Nanofutur, les équipements pour la structuration 3D des matériaux en salle blanche verront leurs capacités augmentées après l'installation d'un nouveau système de traitement laser dit "FLICE" (Femtosecond Laser Irradiation and Chemical Etching) ; incluant en option la photopolymérisation bi-photons. Ce nouvel équipement complétera nos moyens de fabrication 3D multi-échelles et multi-matériaux et permettra le développement d'une nouvelle technique 3D de mise en forme de matériaux de type verre et silice fondue.

Photolithographie

Transfert effectif de la responsabilité de la zone photolithographie à Adrian Laborde au 1^{er} Janvier 2023. Laurent Mazonq bascule sur la zone nanolithographies. Il reste impliqué à 25% au sein de la zone photolithographie.

Mairame Diallo, à 20% sur la zone de photolithographie depuis septembre 2021, est en congés maternité jusqu'à juillet 2023. Sur l'aspect personnel, la zone est en déficit.

Nanolithographies

Beaucoup de mouvement en RH :

- Fin d'apprentissage de Clothilde Péra,
- Départ d'Emmanuelle Daran mi-décembre (retraite effective : février 2023)
- Reprise de la Nano-Impression, à terme, par Jean-Baptiste Doucet
- Migration de Laurent Mazonq vers la lithographie électronique dont il sera le futur responsable.

À terme, une personne supplémentaire (AI) sera nécessaire afin d'exploiter au mieux les équipements actuels et futurs (cf. le chapitre sur les équipements) de cette zone et favoriser la capitalisation des savoirs et des savoir-faire.

Traitements thermiques et implantation ionique

En 2023, Jean-Christophe Marrot va continuer à se former sur les bâtis d'oxydation et de redistribution AET et Centrotherm.

Support

Pas d'évolutions en 2022. Au 1^{er} janvier 2023 Laurent Bouscayrol a repris les actions en zone support, abandonnant les activités en gravure plasma.

Mouvements de personnels

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

Nous considérerons dans la suite la période qui cours du 1^{er} janvier 2022 au 31 janvier 2023

Départs

1 permanent

- E. Daran, IR, zone nanolithographies

3 contractuels

- M Borah, AI, zone assemblage
- J. Bonneau, AI, zones chimie/dépôts électrolytiques
- C. Pera, Apprentie Ingénieure, zone nanolithographies

Arrivées

1 permanent

- Daniel Ferri-Angulo, IR2, zone chimie.

2 contractuels

- Mathieu Arribat, AI, zone assemblage
- Rislène Kourdi, IR, ingénieure d'affaire pour la communauté des micro et nanotechnologies

L'effectif du service est resté stable en 2022. 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.

Evolution 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 :

Au premier janvier 2023 L. Bouscayrol a repris les actions de la zone support. Il reste pour 20% rattaché à la zone de gravure plasma afin d'assurer la transition avec la montée en compétences du CDD M Arribat ; et aussi pour apporter ses compétences en maintenance. Si le manque en zone support est donc en large partie comblé il convient d'être très vigilants car L. Bouscayrol pourrait faire valoir ses droits à la retraite dans les 5 ans à venir

Lithographie électronique

L'apprentissage de L. Mazonq progresse rapidement. Il sera en capacité de prendre rapidement la responsabilité de cette technique

Nano impression

Le départ d'E. Daran est partiellement compensé par JB Doucet.

Gravure plasma

La mobilité interne de L. Bouscayrol est compensée par le CDD de Mathieu Arribat.

Photolithographie

L'implication grandissante de L. Mazenq en lithographie électronique créé de-facto un manque.

Assemblage / Dépôts électrolytiques

Les départs de M Borah et J Bonneau devraient être compensés par des recrutements CDD en cours. Sous réserve de succès dans ces recrutements ; la situation étant très tendue sur ce sujet.

Evolutions dans les responsabilités

Photolithographie

Adrian Laborde a pris la responsabilité de la zone.

Support :

L'implication de L Bouscayrol soulage les autres membres du service des tâches de suivi des installations. Toutefois dans un souci de redondance les personnels restent en back up de L. Bouscayrol.

CARRIERES

2022

Nous nous félicitons de la promotion de :

- David Colin, IECN, promotion au choix
- Laurent Mazenq , IRCN, concours interne
- Adrian Laborde, IGECN, Université Paul Sabatier

2022 a été une année peu proluxe en changements de grades.

Les trois succès sont dans un changement de corps, toujours particulièrement difficile ; avec une mention spécifique pour le passage d'Adrian Laborde lié à une nouvelle opportunité de requalification des personnels à l'Université.

Evolutions pluriannuelle

Entre 2018 et 2022 le service a connu 16 promotions de corps, de grade ou d'échelon parmi ses personnels CNRS. Si l'on rapporte ces succès au nombre actuel de permanents CNRS, UPS et INPT (24) cela donne un taux de promotion de 66%.

Cette réussite est principalement 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 et de l'Université 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.

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

- o De quatre personnels pour palier à des manques pérennes
 - Electrochimie,
 - Assemblage
 - Caractérisation /photolithographie
 - Gravure plasma
- o De deux apprentis pour développer de nouvelles compétences
 - Matériaux pour la stéréolithographie 3D appliquée au vivant.
 - Développement de procédés innovants d'oxydation localisée de nouveaux matériaux aux épaisseurs nanométriques pour des applications dans l'énergie et l'espace (en cours de recrutement)

Evolution de l'effectif 2012-2022

Sur la période 2012-2022 le solde en postes permanents est de -5. Compte tenu des départs et de l'absence de recrutement ce solde passera à -7 fin 2023.

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.

A la fin 2023 au moins la moitié des zones présenteront des manques en personnel

- Des zones reposeront sur un seul permanent dépôt électrolytique, packaging, caractérisation, gravure plasma, jet d'encre ; ou moins de deux permanents en ETP : photolithographie, nanolithographie.
- Les actions de soutien 'du quotidien' (gestion du sas, des approvisionnements, facturation...) n'apparaissent que parce qu'elles sont conduites par les personnels du service au détriment de leurs responsabilités premières.

Il est extrêmement complexe d'assurer les fonctions essentielles au fonctionnement quotidien, et encore plus de poursuivre des développements de procédés ambitieux. 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 long terme

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

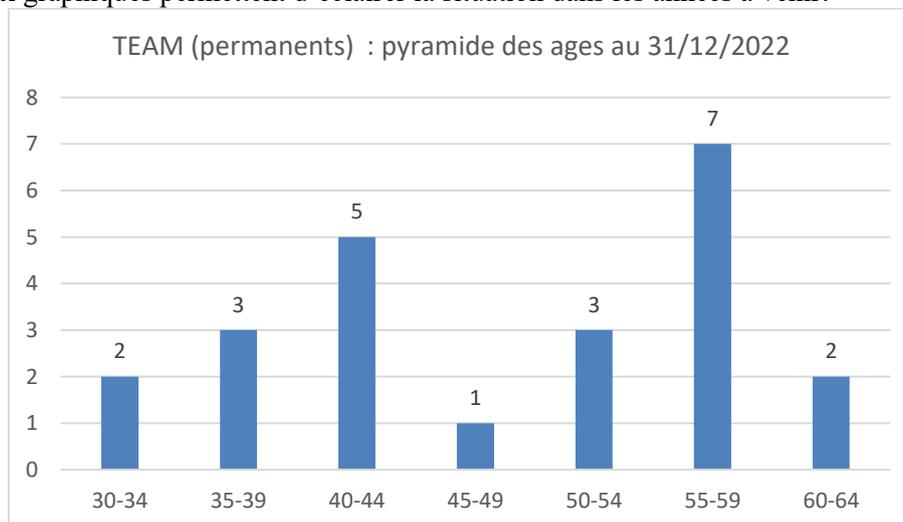


Figure 3 : pyramide des âges des permanents du service TEAM au 31/12/2022

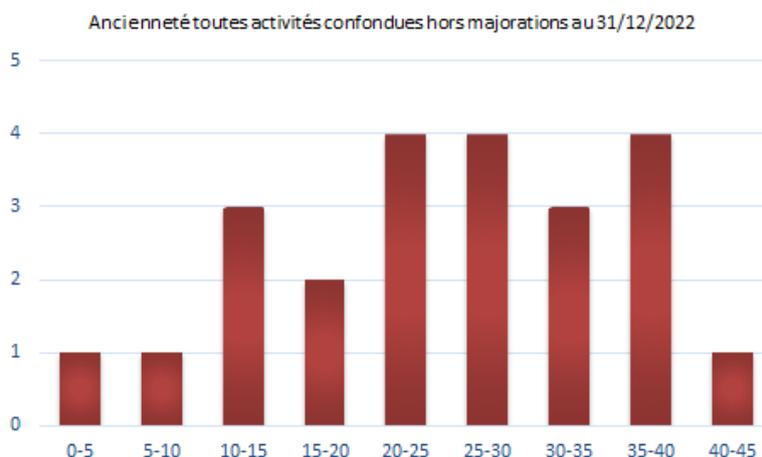


Figure 4 : Ancienneté des permanents du service TEAM au 31/12/2022

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 7 à 8 ans.

Analyse d'impact

Si la politique de recrutement n'évolue pas et garde le rythme actuel une refonte profonde des responsabilités des agents restants est inévitable.

Elle 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 ?

Nous proposons d'analyser plusieurs pistes qui sont engageantes à divers niveaux (humain, financier, technique, scientifique) et présentent bien sûr chacune des avantages et des inconvénients.

Evolution de l'organisation du service TEAM.

Des réflexions internes au service sont en cours. Notamment sur une évolution de la structure de zone. Mais une organisation différente ne palliera pas le manque de personnel. Elle permettra au mieux une meilleure interopérabilité entre les zones.

Abandon /réduction d'actions de soutien et/ou de service

L'arbitrage sur les actions à abandonner est extrêmement complexe. Laisser tomber toutes les actions de gestion des équipements n'est pas possible. Reste la dimension de la coordination de projet ; mais ce serait alors réduire les membres du service à réaliser les seules actions ingrates. Cela se traduira par une démotivation et la perte de personnels qui souhaiteront quitter le service.

Sous-traitance accrue

Le développement de la sous-traitance est une tendance qui s'accroît depuis quelques années. Cela nous est parfois imposé du fait d'équipements de plus en plus complexe que nous ne pouvons maintenir par nous-mêmes. Le phénomène pourrait être amplifié dans les années à venir du fait du manque de personnel. Cette situation provoque deux impacts.

Le plus fort est l'aspect financier car les contrats de maintenance présentent des montants très élevés qui sont obligatoirement reportés sur la facturation aux utilisateurs.

Le second est plus pernicieux. L'appel à la sous-traitance fait que les personnels du service connaissent moins intimement leurs équipements, ce qui peut avoir un impact sur la vision des développements technologiques possibles.

Toutefois la maintenance de premier niveau ne peut jamais être éliminée. Elle est toujours en lien avec les constructeurs et permet d'acquérir l'expérience et la connaissance nécessaire au bon management des équipements. Si l'équipementier disparaît, il faut rétrofiter ou mettre la machine au rancart. Si le personnel disparaît c'est aussi toute cette expérience et tous les liens qui sont perdus et ils sont longs à acquérir

Contribution plus grande des utilisateurs

Les utilisateurs de la salle blanche pourraient être mis à contribution par le biais d'un investissement en temps dans l'aide à la gestion de la salle blanche et de ses équipements. Toutefois, cela soulève plusieurs obstacles. Ces mêmes utilisateurs sont tout-d'abord déjà très accaparés par leurs projets. De plus, le besoin en salle blanche est celui d'hyper spécialistes, et on ne peut pas demander à un étudiant, un post-doc ou un chercheur d'acquérir ces compétences techniques. L'aide pourrait donc être apportée sur des actions de base ; mais elle doit être organisée pour être partagée par tous dans un souci d'équité.

Recrutements de CDDs plus pérennes, voire de CDI

Le laboratoire fait de gros efforts financiers afin de pouvoir recruter des CDD. Il est clair que ce besoin est pérenne, notamment sur les zones qui ne reposent que sur un seul permanent. Les contraintes imposées par le CNRS font qu'il y a une rotation élevée du nombre de CDD qui ne restent pas plus de 3 ou 4 ans. Il faut donc sans cesse former de nouvelles personnes qui ne sont efficaces qu'au bout de plusieurs mois, voire années. Un relâchement de cette contrainte par notre tutelle pourrait être une grande avancée en nous permettant de recruter des CDI. Cela nous impose néanmoins de consolider notre gestion financière afin de dégager les ressources nécessaires.

À toutes les difficultés déjà évoquées, il convient d'ajouter la difficulté de recrutement de CDDs depuis quelques années. Plusieurs éléments peuvent les expliquer. Un marché du travail tendu. La faible attractivité des salaires proposés. La durée limitée des contrats. Les faibles perspectives de recrutement pérenne. On peut donc penser que proposer des CDI limiterait ses effets.

Toutefois cela pourra générer d'autres effets très négatifs Outre le fait que l'on aurait deux statuts différents (et donc des différences de salaires, de primes, de droits, ... possibles) pour des personnels qui font le même travail ce pourrait être une porte-ouverte à la re-contractualisation des personnels en commençant par les personnels techniques

Financement de personnel contractuel sur ressources propres

Si le recrutement de personnels contractuels n'est pas la meilleure des solutions elle reste quand même relativement efficace malgré les bémols que nous avons déjà évoqués. Pour ne pas trop peser sur les financements par l'intérêt général il faudrait accroître les ressources propres issues des prestations au sein de la plateforme. Cette piste a clairement des limites car elle peut avoir un effet boule de neige.

Réduction du nombre de sollicitations

Le service soutient 160 projets par an en moyenne. Si la décroissance du nombre de personnels continue une piste pourrait bien sûr être celle de la diminution du nombre de projets soutenus.

Pour les projets internes, sans occulter les difficultés liées à l'évaluation individuelle des chercheurs et des enseignants-chercheurs, pourquoi ne pas explorer la piste de binômes qui porteraient un même projet ? En plus de diminuer le nombre de projets, cette solution permettrait peut-être d'accroître l'encadrement par le personnel scientifique des étudiants en salle blanche.

Pour les projets externes, qui, rappelons-le, ne représentent que 13% de l'activité, nous pourrions refuser d'en accueillir un certain nombre. Toutefois, cela va à l'encontre de la raison d'être du réseau Renatech et pourrait à terme se traduire par une baisse des financements du fonctionnement et de l'investissement en équipement de la plateforme.

Réduction des domaines de savoir-faire.

La plateforme offre une expertise dans quatre grands domaines de savoir-faire. Les micros et nano dispositifs, l'optique et la photonique, la micro-nanoélectronique, la bioélectronique, les biosystèmes et la biophysique. Une couverture aussi étendue s'explique par l'historique du laboratoire ; c'est également un marqueur fort de la plateforme. En contrepartie, cela demande l'existence de très

nombreuses expertises. Pour pallier le manque de poste, on pourrait donc réfléchir à réduire cette empreinte technologique. Mais cela n'est bien sûr possible qu'en adéquation avec les besoins des scientifiques du laboratoire. Cette solution ne serait vraiment qu'un pis-aller.

Amplification de l'implication des utilisateurs en salle blanche

Dans un certain nombre de cas, les projets sont entièrement réalisés par les personnels techniques du service ; sans aucune intervention des demandeurs. Cela se vérifie tant pour des projets internes que externes. Nous pourrions donc à l'avenir, conditionner l'accès à la salle blanche à une implication réelle dans les réalisations technologiques.

Politique de recrutement de la tutelle.

Au-delà des postes qu'elle nous attribue avec parcimonie notre tutelle pourrait mieux nous accompagner en construisant avec les laboratoires un calendrier pluriannuel des postes qui seront attribués. Actuellement les laboratoires remontent leurs besoins pluriannuels mais les attributions sont annuelles et au cas par cas. Une visibilité pluri annuelle permettrait de mieux organiser la gestion des ressources. Même s'il ne s'agit ici que de gérer la pénurie.

Soutien d'autres entités que la tutelle CNRS

La plateforme est une partie intégrante du laboratoire. Toutefois, elle est également clairement identifiée par nos partenaires comme une plateforme de l'université Paul Sabatier de l'INSAT et de l'INPT. Les travaux qui sont conduits sont valorisés par ces trois entités ; nombre de projets impliquant des enseignants-chercheurs. Néanmoins, le soutien direct de ces partenaires reste relativement faible, que ce soit en nombre de personnels, deux BiATSS actuellement, ou en termes de financement. Un soutien en ressources humaines pourrait donc apporter une partie de la solution. Un point de vigilance doit toutefois être de conserver le statut d'UPR.

La plateforme est également identifiée par la région Occitanie comme une structure mutualisée ouverte. Un travail de fond pourrait être mené avec la Région pour explorer la possibilité de financer des personnels CDI dont le rôle serait d'accueillir les demandes exogènes.

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, ...)

Les procédés

Développements conduits en 2022

Développements envisagés en 2023

Calibrations

Valorisation

Interactions service TEAM équipes de Recherche

DEVELOPPEMENTS CONDUITS EN 2022

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

Transfert des procédés d'intégration sur le nouvel équipement de flip chip

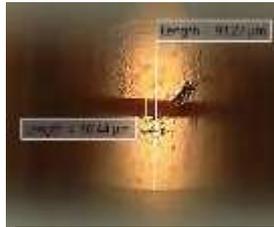
En 2022, le transfert et la qualification des procédés existants de l'ancien équipement a été fait sur le nouvel équipement.

Ont été initiés des développements sur la soudure par thermosonnie de bump d'or à basse température (50-200°C). Les premiers essais montrent la possibilité de réaliser des liaisons électriques fiables dès 100°C qui ont été testées mécaniquement. Des essais électriques doivent être conduits pour valider les résultats.

Début de développement sur la soudure par thermocompression cuivre/cuivre de bumps sous atmosphère réduite (acide formique).



Bumps de Cu déposé par dépôt électrolytique



Thermocompression bumps Cu/Cu



Bumps après test de cisaillement

Caractérisation

Pas de mise au point de procédé en 2022

Nous avons décidé de ne pas passer de 2 à 4 pointes sur la mesure I(V) au regard du coût (>12k€) par rapport aux besoins perçus en salle blanche.

Chimie

Synthèse et formulation de méthacrylate de gélatine de peau de porc. (Projet cellules en 3D P-15-01401, Bioprinting P-22-03854 et CBI-LAAS P-22-03862)

Les cultures cellulaires effectuées sur des hydrogels formés à partir des premiers tests de préparation de cette substance (en 2021) ont montré une trop grande variabilité du produit. En effet il est nécessaire de garantir un contrôle parfait des conditions de réaction pour avoir une reproductibilité optimale des hydrogels formés qui permettent de conclure sur l'aspect biologique des expérimentations en s'affranchissant des autres aléas. En 2022, Daniel Ferri-Angulo a développé un nouveau protocole de synthèse qui permet de modifier le taux de méthacrylation à la demande pour cibler différentes applications (**Fig.1**). Les tests récemment effectués en culture cellulaire, au sein de l'équipe ELIA, sur ces biomatériaux ont montré de résultats très prometteurs.

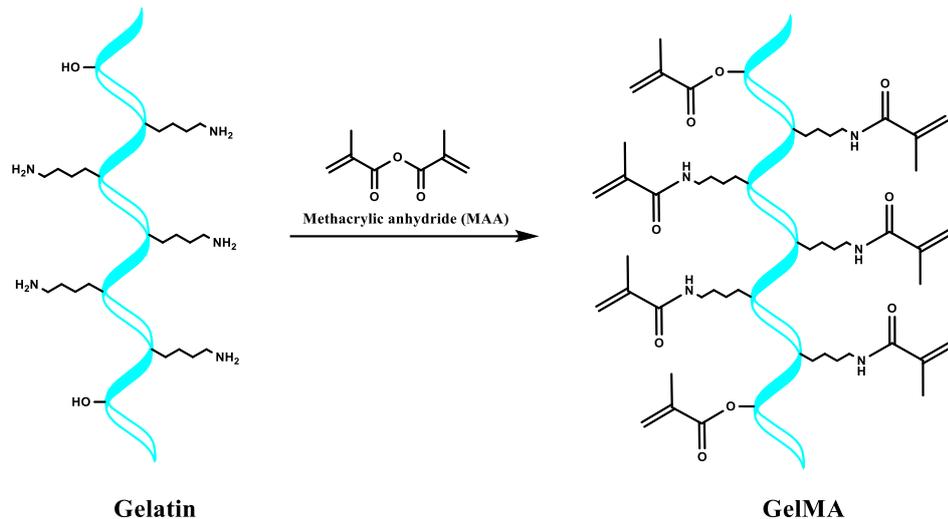


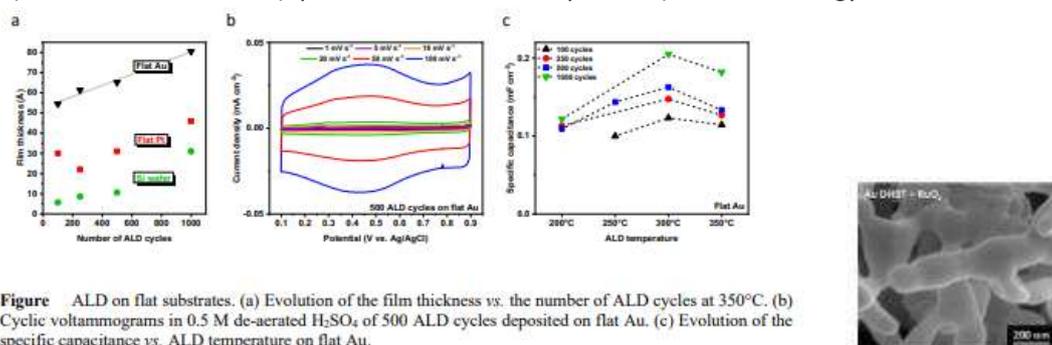
Fig. 1. Schéma de la synthèse de méthacrylate de gélatine (GelMA).

Grâce à ces résultats, nous avons pu établir un protocole de synthèse fiable et reproductible qui permettra d’assurer la continuité des 5 projets (4 ANR et 1 projet INSERM) en cours où ce biomatériau est hautement impliqué.

CVD

Procédé de RuO_x dans ALD NOMOS (MICROSUPERCAP 3D / P-17-02038)

L’objectif est d’accroître les capacités surfaciques en réalisant une structuration 3D de l’électrode et en déposant par ALD le RuO₂, un matériau pseudo capacitif, sur un collecteur de courant métallique extrêmement poreux, pour augmenter la surface exposée du matériau actif sur des substrats de forme très complexe (augmenter 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. Les premiers résultats, 15nm RuO_x déposés entre 200°C et 350°C, à partir de Ru(EtCp)₂ et O₂ sur du Pt ou de l’or avec une densité capacitive de 7 mF cm⁻² (*abstract à EMRS 2022*), puis d’autres résultats publiés (*Nanotechnology 2022 hal-03810574*).



Procédé de SiN_x: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_x:H avec une quantité minimum d’hydrogène [H] et un indice optique n=2,00. Suite à l’étude réalisée en 2021, la simulation numérique d’intégration du SiN_x:H avec des couches de dichalcogénures de métaux de transition MoS₂ dans des dispositifs photoniques composés de filtres à réseaux et d’un réflecteur arrière sur substrats de silicium et de silice a été validée (*Materials Research Express 2022 hal-03624387*).

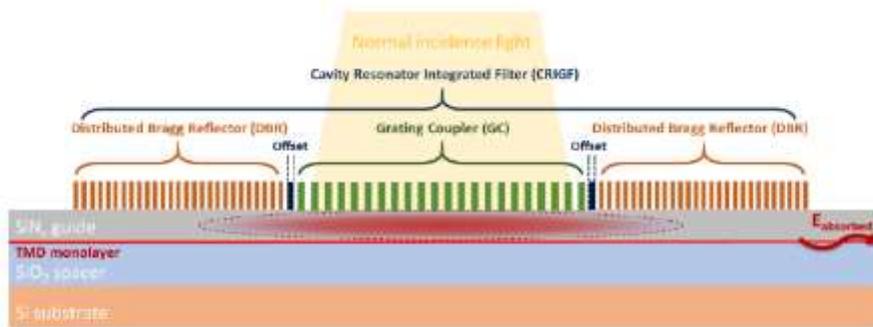
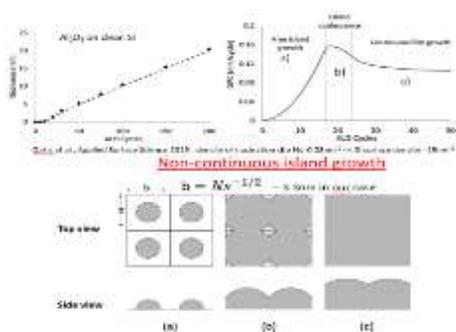


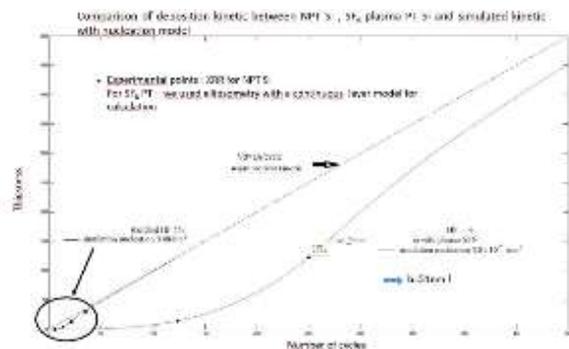
Figure : Schematic of the hybrid MoS₂/photonic vertical stack with description of CRIGF grating parts. The device is designed to focus the incident light in the SiN_x guiding layer. This configuration maximizes the absorption by the TMD monolayer directly below this guiding layer.

Procédé d'amélioration de la nucléation lors du dépôt ALD de Al₂O₃ sur silicium : (IG)

Un inconvénient commun du dépôt de couche atomique (ALD) est le phénomène de nucléation discrète sur la surface initiale du substrat d'accueil, qui conduit à une croissance non continue de couches très minces. Par exemple, sur du silicium, il est impossible de faire croître une couche continue d'Al₂O₃ plus mince que 3 nm par ALD en utilisant du triméthylaluminium (TMA) et de l'eau (H₂O). L'influence des traitements plasma in-situ dans un équipement ALD juste avant dépôt Al₂O₃, permettrait la création d'une couche interfaciale pour éliminer la nucléation. Ainsi des essais de nitruration/oxydation du silicium à l'aide d'un plasma à couplage inductif de gaz N₂, NH₃ et/ou O₂ ont montré une forte augmentation de la densité du site de nucléation lors du dépôt Al₂O₃, conduisant à une cinétique linéaire apparente de dépôt en fonction du nombre de cycles. Les résultats ont été présentés dans un poster à l'école thématique SALAD 2022 (*hal-03845065*).



Evolution de la nucléation Al₂O₃

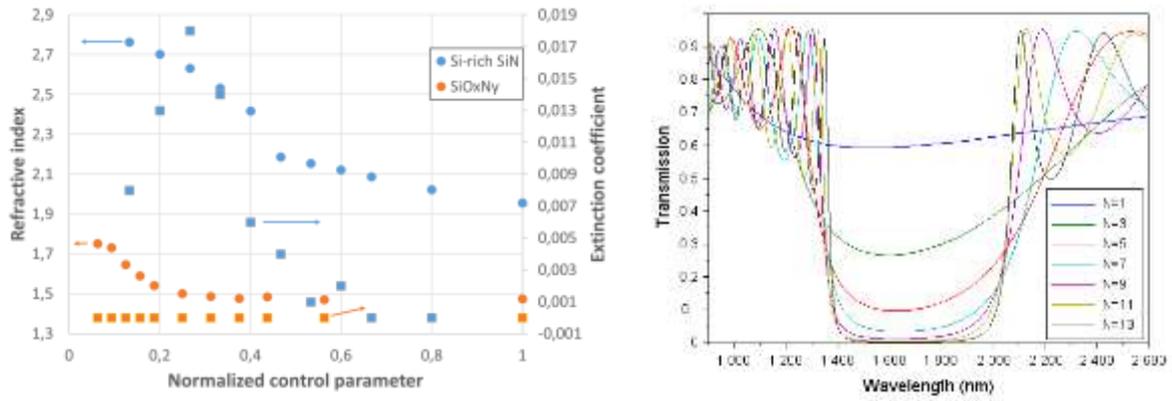


Amélioration de la nucléation par traitement plasma

Développement d'un outil de suivi in-situ des dépôts dans ICPECVD (IG, RESON /P-20-03058, DIMENSION / P-19-02966)

Pour suivre en temps réel les dépôts ICPECVD, un outil optique multi-longueur d'onde à partir d'une lumière blanche permet de suivre in-situ et en temps réel l'évolution de la réflectivité des dépôts au cours du temps et de run à run (collaboration PHOTONIQUE).

Cet outil est utilisé pour les projets RESON et DIMENSION pour des dépôts multicouches SiN_x:H, SiO_x:H, SiO_xN_y:H. En faisant varier le débit de N₂O et en gardant tous les autres paramètres constants, il a été possible avec le suivi optique d'obtenir une variation des indices optiques des couches déposées sur de la silice fondue pour la fabrication de couches anti reflets (de 3 à 13 couches) à 775nm et de miroirs optiques à 1550nm; d'intérêt pour les structures de filtres à réseau intégré résonant dans la cavité (*abstract JNTE 2022 hal-03948838*). Par la suite, cet outil sera fonctionnel pour l'IG.

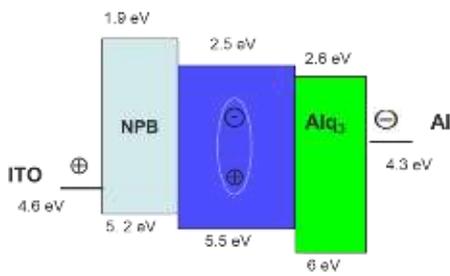


Figures : Indice de réfraction à 790nm et transmission des couches anti-reflet déposées par ICPECVD avec suivi optique in-situ.

Dépôts sous vide

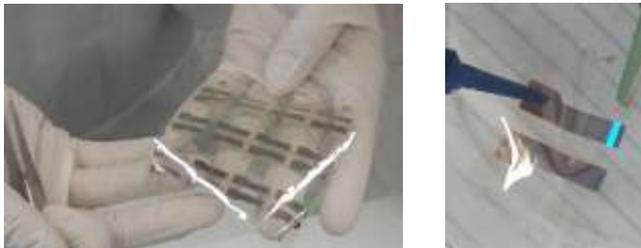
Electronique organique (MOBInACENE (P20-03290), Dispo (P-13-00185), MENS Orga (P-20-03115))

Premier test d'OLEDs bleues sur substrat souple (Parylène C)

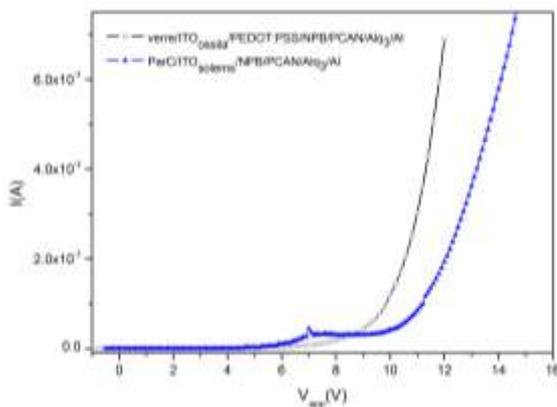


OLED « basique »

- ❖ HTL (Hole Transport Layer) : NPB (20 nm)
- ❖ EML (Emission Layer) : PCAN (40 nm)
- ❖ ETL (Electron Transport Layer) : Alq₃ (20 nm)
- ❖ Émission dans le bleu : 470 nm => Chr2



Comparaison OLEDs bleues verre vs par-c



- ❖ Tension seuil différente => travail de sortie de PEDOT : PSS plus important que celui de l'ITO
- ❖ Gamme de courant comparable

Ces premiers résultats valide la réalisation d'une OLED sur un substrat de par-c et vont nous permettre de réaliser des OLEDs plus complexe pour par exemple la réalisation d'électrodes implantables.

Actionneurs a nanothermites (P-20-03073)

Il a été constaté que l'ajout d'une couche de Ti/CuO dans la thermitte à base de Al/CuO peut améliorer l'efficacité de la combustion et abaisser la température d'allumage. Cette étude expérimentale vise à établir les mécanismes à l'origine de cette amélioration par analyse quantitative de l'oxydation du Ti au contact d'un oxydant fort, comme CuO. L'ajout de deux bicouches CuO/Ti avant le dépôt des multicouches CuO/Al permet de diminuer temps d'amorçage à 200 µs contre 15 ms sans CuO/Ti.

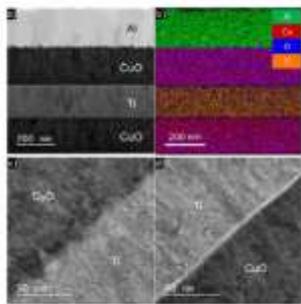


Figure 3. (a) TEM micrographs of the cross section of CuO/Ti/CuO/Al sample, (b) corresponding EDX mapping. High magnification TEM micrographs across the two different interfaces (c) CuO-Ti and (d) Ti-CuO. Each color indicates the different elements.

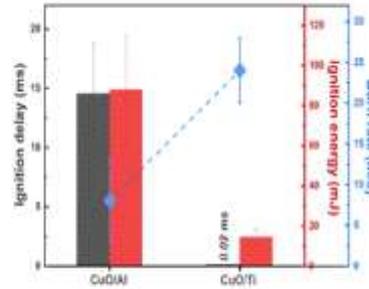
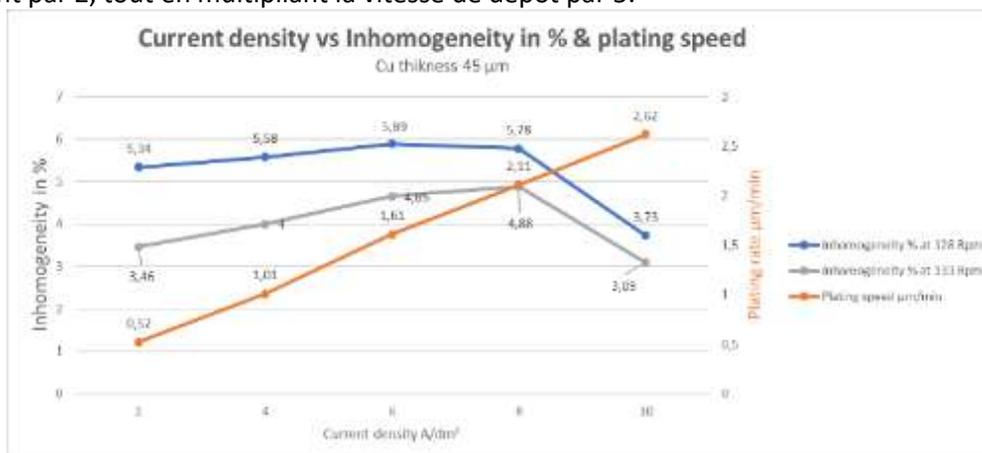


Figure 1. Ignition delay/energy and burn rate of CuO/Ti compared to CuO/Al. Samples are composed of 3-bilayers of each reactants with a mass ratio of fuel over oxidizer at 2.

Dépôts électrolytiques

Mise au point 4^{ième} génération d'équipement Yamamoto Cuivre (Société Yamamoto & action IG Développements dépôts électrolytiques P 22-03784)

La mise au point de la 4^{ième} génération de réacteur sur le Nickel nous a permis d'améliorer nettement nos résultats, inhomogénéité divisée par 2 (7% à 3.5%) tout en multipliant la vitesse de dépôt par 3. Nous avons upgradé notre dépôt de cuivre de la première à la quatrième génération. Nous avons obtenu les mêmes résultats que sur l'équipement de Ni, inhomogénéité divisée quasiment par 2, tout en multipliant la vitesse de dépôt par 5.



L'expérience acquise avec le bain de nickel nous a permis d'obtenir ces résultats en moins de 10 wafers test.

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 également à l'état de l'art pour ces fortes épaisseurs de cuivre avec des vitesses de dépôts importantes ($> 2.6 \mu\text{m}/\text{min}$) tout en gardant une très bonne inhomogénéité $< 5\%$

Nouveau bain d'or machine RENA IG (Développements dépôts électrolytiques P 22-03784)

Un nouveau bain d'or a été installé dans la machine RENA après l'évaluation de trois fabricants. Le bain choisi est encore en cours de mise au point des paramètres de dépôts. Pour l'instant nos résultats sont équivalents au précédent bain pour la vitesse de dépôts, la contrainte, la résistivité mais doivent être améliorés en pour la rugosité $> 80 \text{ nm}$ comparé à $< 30 \text{ nm}$ avant.

Une des particularités de ce nouveau bain est qu'il est bio compatible. Même s'il n'est pas certifié en tant que tel par le fabricant nous avons eu l'occasion dans le cadre d'un projet de faire des tests de cytotoxicité qui se sont avérés très bon.

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 2022 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 trois publications :

- *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*
- *Structural and electrical characterizations of BiSb topological insulator layers epitaxially integrated on GaAs -D. Sadek et al. - Crystal Growth & Design 2022, 22, 8, 5081-5091*
- *Growth of BiSb on GaAs (001) and (111)A surfaces: a joint experimental and theoretical study -D. Sadek et al. - Applied Surface Science 2023, publication acceptée.*

Croissance de GaAsBi sur GaAs(111)B (projet P-21-03678 - GaAsBi111)

Cette étude, initiée par Chantal Fontaine, poursuit le travail réalisé de la cadre de la thèse de Clara Cornille sur la croissance du GaAsBi. Parvenir à faire croître cet alliage, dont les conditions de croissances sont très particulières, sur GaAs (111) permettrait de tirer parti de la piézoélectricité de cette orientation cristallographique pour mieux en étudier les propriétés physiques. Cette étude est financée par le LPCNO de l'INSA de Toulouse.

Acquisition d'images RHEED pour analyse par deep-learning

Les diagrammes de diffraction d'électrons de haute énergie en incidence rasante (RHEED) donnent des informations très riches sur la surface du cristal en cours de croissance. L'analyse de ces images en temps réel se fait habituellement par un expert. Cependant, des informations simples, telle que la désoxydation ou pas de la surface peuvent être extraites automatiquement, grâce notamment à l'apprentissage automatique. C'est le travail de thèse d'Abdourahmane Khaireh, dirigé par Peter Wiecha (MPN), pour lequel des images RHEED ont été acquises lors de différentes étapes du procédé d'épitaxie. Ces images sont associées une à une aux paramètres de la chambre de croissance (température du substrat, angle de la rotation, pression, etc...) grâce à un logiciel LabVIEW développé pour cette tâche dans la zone.

Ce travail a donné lieu à une première publication :

Monitoring MBE Substrate Deoxidation via RHEED Image-Sequence Analysis by Deep Learning - A. Khaireh et al. - Crystal Growth&Design 2023, 23, 2, 892-898

Laboratoire commun LAAS-RIBER : EPICENTRE

Les instruments développés dans la zone sont transférés vers Riber. Un ingénieur de recherches CDD, Erwann Cossec, a rejoint notre équipe au LAAS afin de fiabiliser et rendre plus

robustes les codes LabVIEW. Il a notamment qualifié la communication avec les spectromètres choisis et a mis en évidence des erreurs dans les drivers que le constructeur s'est engagé à corriger.

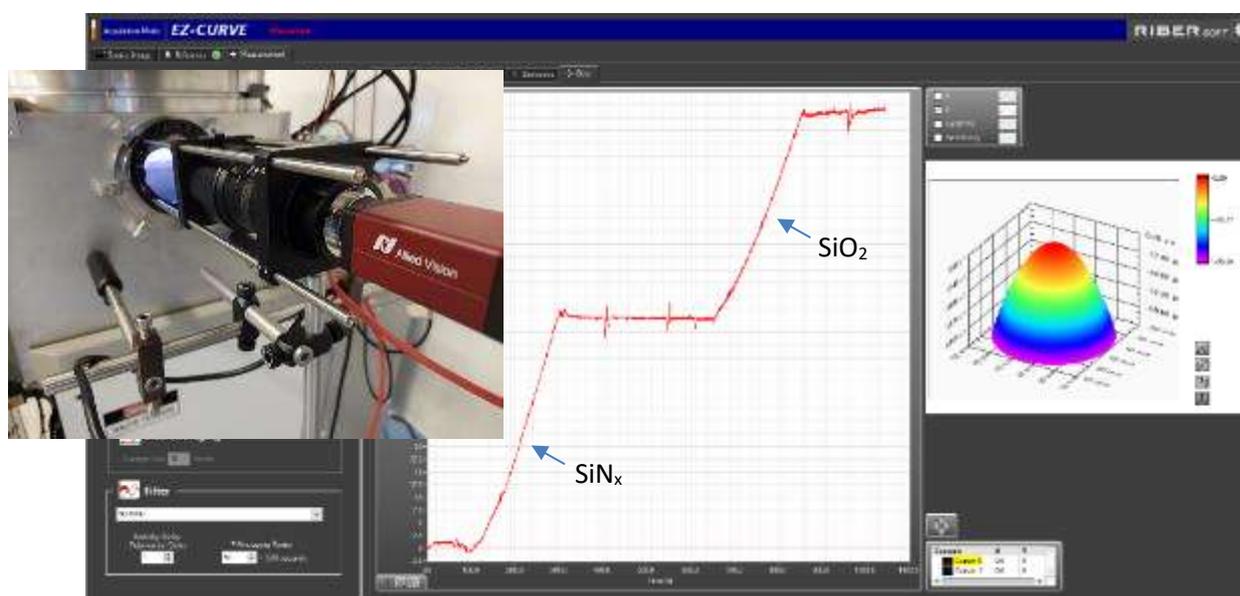
Une carte permettant la synchronisation des différents instruments est en outre développée par les membres du service I2C impliqués dans le laboratoire commun.

L'architecture globale des logiciels a été définie avec l'aide du service IDEA.

Mesure de courbure/Bow lors des dépôts PECVD

Le bâti ApSy PECVD1000 a été modifié afin de pouvoir réaliser un suivi de courbure lors des dépôts de SiO_2 ou de SiN_x . Deux hublots en regard ont été élargis, et offrent une vue en incidence rasante sur le substrat en cours de process (angle rasant d'environ 7°) suffisante pour réaliser la mesure sur un substrat de 100 mm de diamètre.

Les mesures réalisées montrent clairement des phénomènes dynamiques intéressants. Une caméra a été commandée afin de réaliser un instrument et le laisser à demeure sur ce bâti. Il permettra de réaliser des mesures systématiques lors de dépôts.



Variations du bow d'une plaque de Si lors des dépôts de SiN_x , puis de SiO_2 en PECVD

Gravure plasma

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

Gravure de HZO en chlore (MPN : K. Moustakas : Transistors 3D (P-13-00201-c))

La gravure d'un tri-couche $\text{TiN}/\text{HZO}/\text{SiO}_2$ est en cours d'optimisation en chimie chlorée. Nous effectuons le suivi in-situ de cette gravure par interférométrie laser.

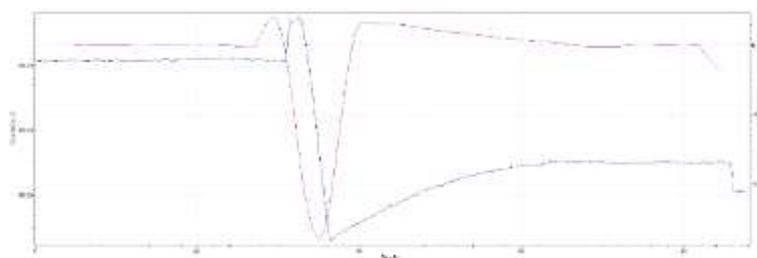


Fig.1 : Signal du suivi par interférométrie laser au cours de la gravure de $\text{TiN}/\text{HZO}/\text{SiO}_2$. Courbe bleu : intensité du signal en fonction du temps. Courbe violette : dérivée du signal en fonction du temps.

Gravure Irox en plasma Cl2-N2 (MPN : I. Muguet : Dispositif bio (P-13-00201-a))

Nous avons gravé un nouveau matériau (IrOx) en Cl2 / N2. Un procédé de nettoyage de la résine (AZ 5µm) a été optimisé afin d’obtenir des motifs bien définis sans résidus. Si nous faisons seulement un plasma O2 et/ou solvants, nous obtenons une forte quantité de résidus (Tests 1 à 6). Une étape de désoxydation est indispensable, car les produits de réaction (contenant du Ir, O, Cl, N, Si) sont présents sur toute la surface de la résine.

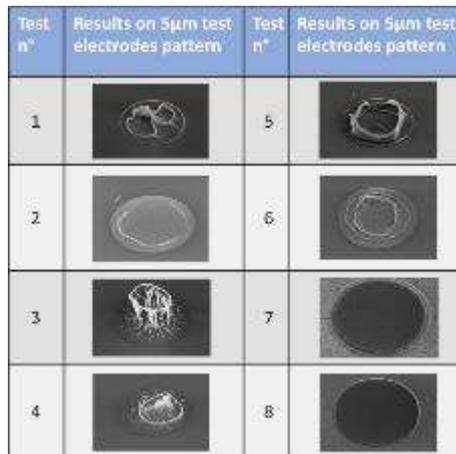


Fig.2 : Image MEB après différents protocoles de nettoyages de la résine (AZ 5µm) après la gravure d’une couche mince d’IrOx

Optimisation de procédés de gravure dans l’équipement SI500 fluorée :

Gravure Au/Cr en plasma Ar (TEconnectivity + ELIA : M. Sagot : CTC-uCATCH (P-20-033é(REN20-31))

Nous avons utilisé un procédé de gravure à base d’Ar afin de structurer une bicouche Au/Cr de 150nm. Après la gravure à l’Ar, nous avons observé la pulvérisation de l’Au et du Cr sur les flancs de la résine. Un procédé de nettoyage de la résine (Plasma O2 + Solvant sous US) a été optimisé afin d’obtenir des motifs bien définis sans re dépôt et sans résidus.

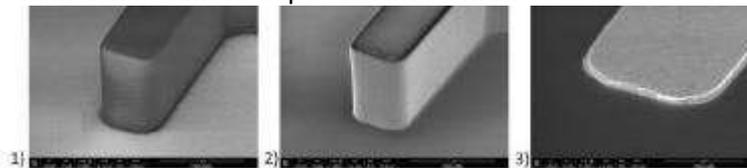


Fig.3 : Images MEB : 1) Après photolithographie (résine négative 5µm sur Au / Cr / Si3N4 / Si). 2) Après gravure Au/Cr par plasma Ar avec DFA. 3) Après nettoyage de la résine.

Gravure BCB en plasma O2/SF6 (PHOTO : L. Laplanche : Active combs (P-20-03057))

Le procédé de gravure du BCB à base de O2 et SF6 a été transféré du bâti ICP2 à la SI500 fluorée. La résine SPR700 a été utilisé comme masque de gravure. Nous obtenons une vitesse proche de 500 nm/min avec une sélectivité de 1 : 1.

Retrait de fond de résine pour la nano impression (TEconnectivity + PHOTO : L. Boudier : composants nanophotoniques sur verre : P-14-00729)

Le procédé de gravure de fond de résine pour la nano-impression a été transféré de l’ICP3 vers la SI500 fluorée. Un temps de gravure d’environ 2min est nécessaire pour retirer le fond de résine présent dans les ouvertures des motifs.

Optimisation de procédés de gravure dans l'équipement ICP3 :

Transfert des procédés de ICP2 vers ICP3 pour la gravure du GaAlAs (PHOTO : L. Laplanche : Active combs (P-20-03057)).

Suite, aux diverses pannes de l'ICP2, un procédé à base de Cl₂ / N₂ a été transféré dans l'ICP3, nous avons obtenu une vitesse de gravure d'environ 250nm/min. Ainsi, nous pouvons continuer graver du GaAlAs contenant des motifs métallique (même si l'ICP2 est HS).

Jet d'encre et traitements de surface

Traitement hydrophile (PEG) dans le SPD (IG)

Le greffage de SAM (self-assembled monolayer) de PEG (polyéthylène glycol) sur substrat Si, verre ou polymère après dépôt de SiO₂ in-situ a été mis au point. Les angles de contact sont bons mais la contamination croisée avec le FDTS est problématique. Le procédé ne pourra pas être mis en accès libre, il est nécessaire de travailler par campagne après avoir suivi le protocole de nettoyage de la chambre.

Lithographie Laser

Substrats fonctionnels en SU-8 fabriqués par photolithographie pour l'impression bi-photons (projet Cellules en 3D / P-15-01401)

Création de nouveaux substrats fabriqués en résine SU-8 par photolithographie pour l'impression 3D. La détection de l'interface entre la résine IP-Dip et la résine SU-8 a été calibré afin que le design à imprimer adhère correctement. Le substrat possède une zone de décrochage (à droite de la photo (fig1 (a)) pour isoler la zone d'intérêt pour la culture cellulaire de la languette, permettant de faciliter la manipulation pré-impression.

L'avantage de ces substrats est d'une part l'adaptabilité aux contraintes que posent certains appareils de caractérisation. (Confocal, nano-tomographie X). D'une autre part, il est possible de donner au substrat une fonction autre qu'uniquement supporter la pièce. Ici, le design choisi permet de laisser une zone d'accès aux cellules sous le design grâce à une membrane poreuse.



(b)

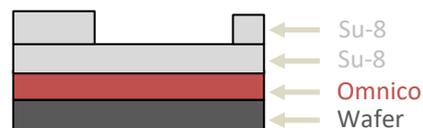


Figure 1: (a) Substrat d'impression 3D en SU-8 ; (b) Schéma de fabrication par photolithographie (Bastien Venzac et Ianis Drobecq)

Méthode de création de design pour l'écriture bi-photons avec contrôle des trajectoires laser dans le logiciel Describe (projet Bioprinting / P22-03854).

Couramment, les modèles à imprimer sont créés au préalable sur un logiciel de CAO (Fusion 360, SolidWorks, CATIA). Describe, qui est le logiciel de préparation et tranchage de modèle 3D, définit lui-même avec des pré-sets, les trajectoires que va effectuer le laser. Parfois, il est nécessaire de contrôler cette trajectoire pour éviter des effets de recouvrement (deux passages laser successifs) et de surdosage provoquant une déformation dans l'espace. Dans l'exemple ci-dessous, un échafaudage (Fig 2 (b)) est créé par des successions de trajectoires laser carrées (Fig 2 (a)) pour former les mailles et les piliers. Aucun recouvrement n'est observé aux intersections des fibres, ce qui assure une fidélité par rapport au modèle de consigne et une meilleure homogénéité des propriétés mécaniques latérales.

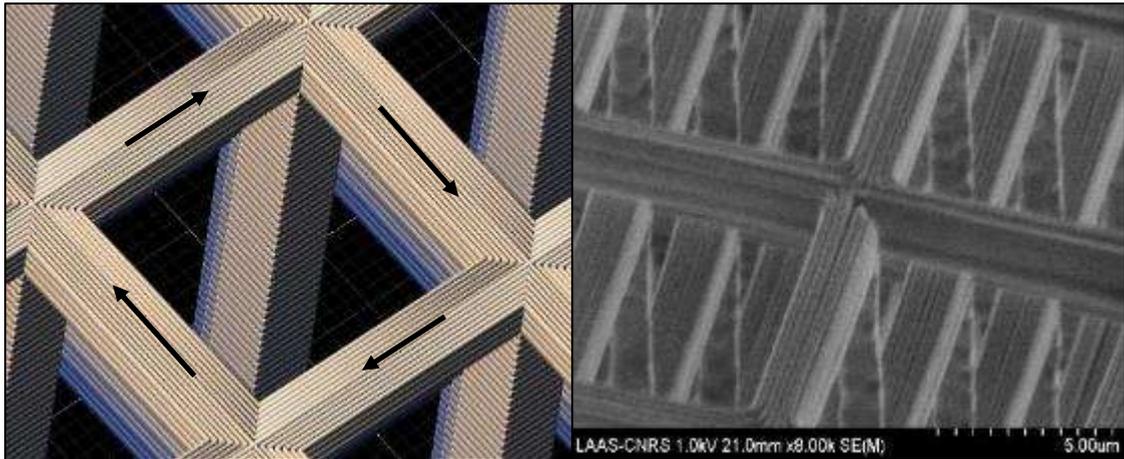


Figure 2: (a) Trajectoires laser carrées ; (b) image au MEB au modèle développé sur Describe (Ianis Drobecq)

Création d'une structure étalon pour tester la reproductibilité des impressions avec l'équipement PP Nanoscribe (projet Bioprinting / P22-03854).

Pour vérifier que la qualité d'impression d'un modèle reste la même sur le long terme, après une maintenance de l'appareil ou un changement de lot de résine, une structure référente (Fig. 3 (b)) permet de quantifier et corriger ces changements. Ici, nous souhaitons connaître les dimensions réelles d'une ligne unidimensionnelle et de faces bi-dimensionnelles afin de connaître précisément les limites de résolution de l'équipement Nanoscribe. Dans la configuration suivante :

- Objectif 63x, Oil NA = 1.2
- Résine IP-DIP
- Mode DiLL (immersion)

Nous fixons un voxel théorique de $0.2 \times 0.3 \mu\text{m}$ et donc une ligne de section équivalente. Or après mesure des sections de la structure étalon (Fig. 3 (a)) nous avons trouvé $0.2 \times 0.5 \mu\text{m}$. A cette résolution la différence de hauteur de voxel provoque un surdosage significatif. Nous avons donc adapté notre slicing pour limiter ce phénomène.

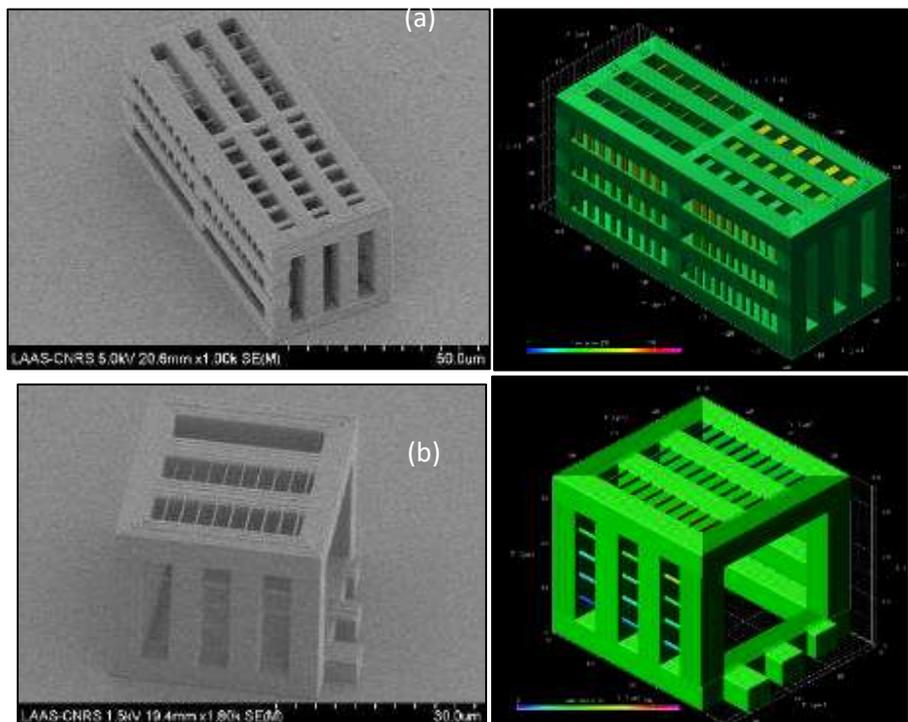


Figure 3: (a) Structure référente 63x ; (b) Cube de calibration de d'un passage laser en X, Y et Z (Ianis DROBECQ)

Nouveau procédé de fabrication de masters 3D pour le moulage de puce microfluidique (projet Mécano chimiostat pour étude résistance aux drogues / P-18-02631).

Les moules utilisés pour la fabrication de puces microfluidiques sont en général fabriqués à partir de la mise en forme de films secs ou résine SU-8 en photolithographie UV. Pour certaines géométries de moule cette technique n'est pas la mieux appropriée. On observe des limites au respect des côtes et des difficultés d'alignement des géométries. Pour améliorer la qualité des moules nous avons développé un nouveau procédé de fabrication par photopolymérisation bi-photons de la résine IP-S sur silicium (Fig. 4(a)). Après avoir optimisé les stratégies de détection d'interface et de raccordement de champs (Fig. 4(b)), nous avons fabriqué des moules de longueur supérieure à 8 mm et comportant des flancs de hauteurs comprises entre 2 et 530 μm .

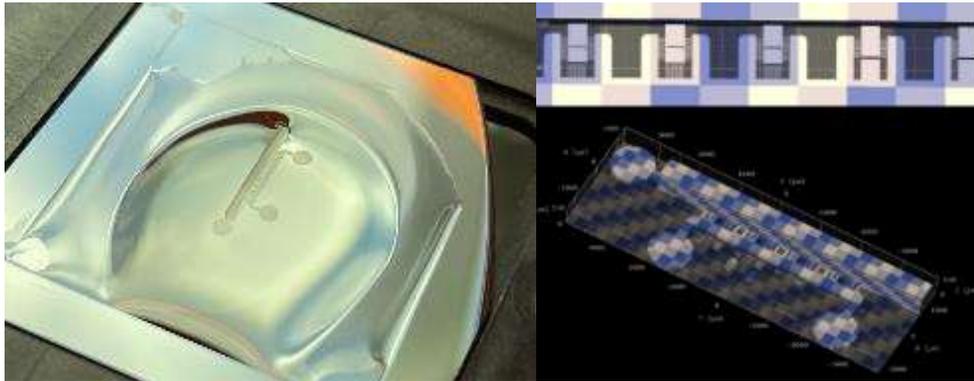


Figure 4: (a) Goutte de résine IP-S sur Si ; (b) Raccordement des champs PP Nanoscribe (Tiphaine MATEO)

Les principaux avantages de cette technique sont :

- Un meilleur alignement de l'ensemble des géométries en photo-polymérisant le moule en une seule étape,
- Un meilleur respect des côtes : $h=530 \mu\text{m} \pm 3 \mu\text{m}$,
- Un procédé de type prototypage permettant de changer aisément le design à chaque nouvelle fabrication,
- La possibilité de répliquer des contre-moules en PDMS pour multiplier la production de puces micro fluidique (Fig. 5).

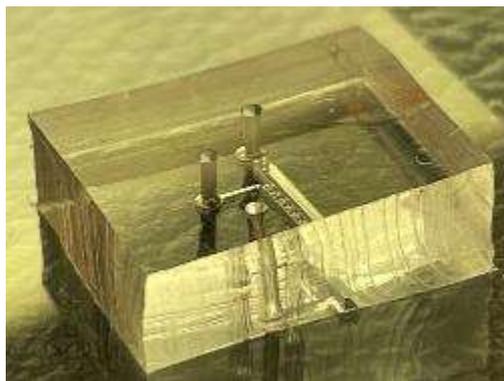


Figure 5: Puce microfluidique en PDMS (Tiphaine MATEO)

Caractérisation d'hydrogels au microscope électronique à balayage (projet Bioprinting / P22-03854).

Ce travail mené par Jeanne Aigoïn se fait sur la plateforme MultiFAB avec Julie Foncy, ingénieure de recherche du service I2C. Il consiste à étudier deux types d'hydrogels : le Gel-MA et le HA-MA. Ces hydrogels sont utilisés dans le cadre de projets de bio-impression et cette étude rentre dans l'objectif de l'apprentissage de Jeanne Aigoïn : étudier des projets d'impression 3D par stéréolithographie pour

les sciences du vivant. Le but est de caractériser ces hydrogels aux niveaux de leur structure et de leur propriété mécanique. Pour cela plusieurs tests de compression ont été effectués, permettant de déterminer la rigidité (le module d'Young) des matériaux. Dans un second temps, un protocole a été élaboré pour observer les hydrogels au MEB. Ce protocole comprend plusieurs étapes :

- Préparation des échantillons,
- Lyophilisation,
- Métallisation,
- Observation au MEB.

La partie préparation et lyophilisation est primordiale pour fixer la structure des échantillons et s'assurer de voir correctement leur porosité. Chaque échantillon d'hydrogel est exposé à des rayons UV pendant des temps différents (20 secondes, 30 secondes, 1 minute, 2 minutes et 5 minutes). On observe donc la porosité des hydrogels (Fig. 6) en fonction du temps d'exposition UV.

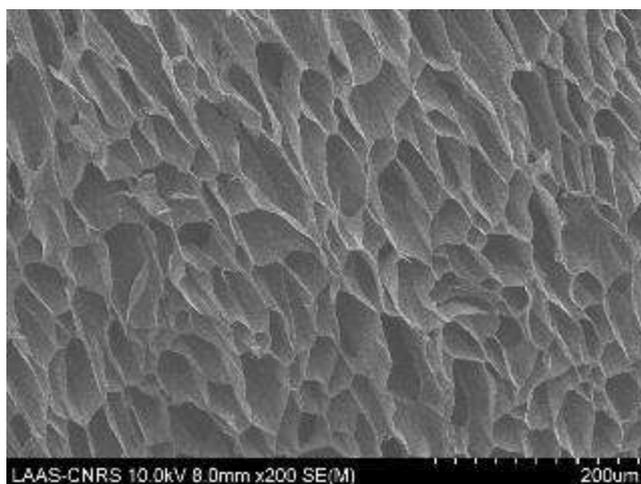


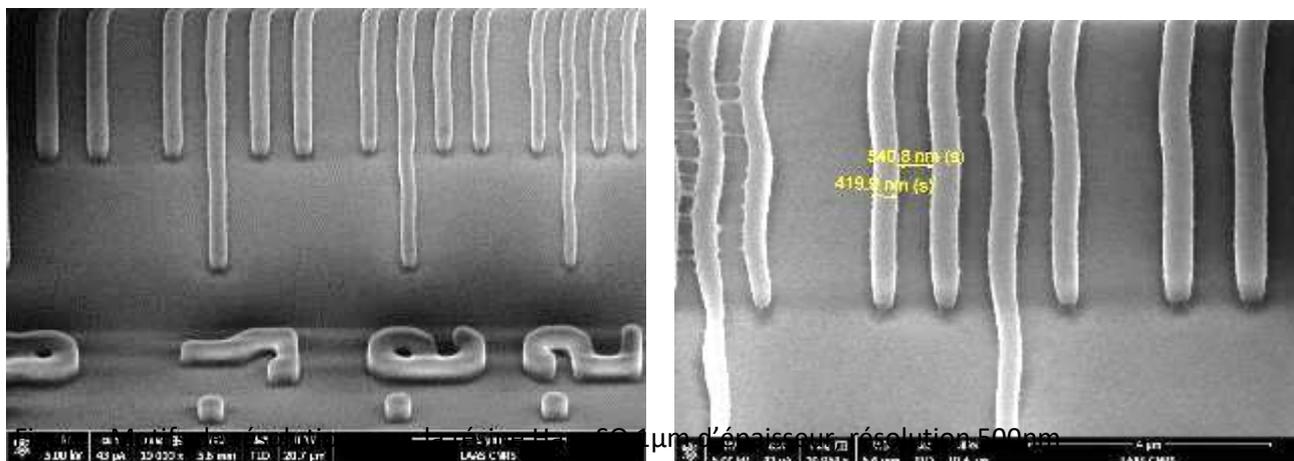
Figure 6: Image d'hydrogel Gel-MA photo-polymérisé pendant 1 min (Jeanne AIGOIN)

Photolithographies

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

Le développement des procédés films secs SUEX, initié en 2021, a continué en 2022. Les épaisseurs de 5 et 20µm se sont rajoutées aux épaisseurs déjà mises au point (50µm, 100µm, 250µm et 500µm). Un stage DUT, avec l'équipe Mile, a permis d'optimiser ces procédés.

Développement de procédés SU-8 Kemplab (IG / Mile P-18-02631)



Les procédés avec la SU-8 Kemplab, débutés en 2021, ont continué en 2022. Les procédés développés avec l'aide de Baptiste Alric (MILE) donnent de bons résultats. Cela place la Su-8 Kemplab comme une alternative sérieuse et low-cost à la SU-8 « classique ».

Développement de procédés SU-8 sur Tournette « 2 » Obducat (IG/Renatech)

Un procédé de dépôt SU-8 forte épaisseur (200 μ m), monocouche et à l'uniformité contrôlée (<5%) a été mis au point sur la tournette Obducat (tournette à capot fermé) dans le cadre d'une demande Renatech. Le procédé est plus rapide (1 seule couche vs bicouche auparavant) et plus uniforme. La recette est à disposition sur la tournette.

Nanolithographies

Biopolymères dans les procédés de nano-impression (action IG)

Suite aux travaux de Clothilde Pera au sein de TEAM et en fonction de nos disponibilités, nous souhaitons continuer le développement de l'utilisation de polymères biosourcés et/ou biodégradables et/ou bio compatibles : principalement le PLLA et le PVA ... les huiles dures sont aussi à explorer ainsi que les protéines végétales.

Utilisation du PLLA pour la fabrication de moules souples :

L'intérêt de l'acide poly lactique (PLLA) : il est biosourcé, biodégradable et biocompatible, transparent et avec une Température de transition vitreuse de 60°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 (voir [Figure 1](#)) en remplacement des films de COP (Zeonor), qui n'est ni biosourcé, ni biodégradable, pour fabriquer les moules souples intermédiaires.

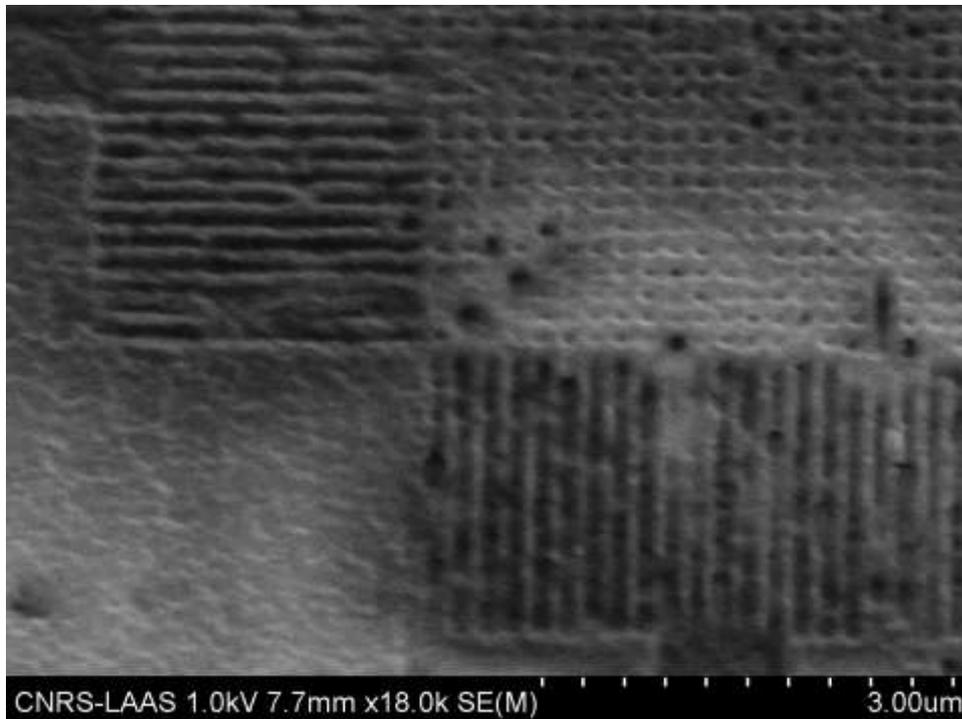


Figure 1 : motifs de 100nm de large au pas de 200nm répliqués dans un film de PLLA

Le PLLA utilisé n'étant pas de grade microélectronique et la production du film réalisé en environnement non contrôlé (hors salle-blanche), les résultats, bien que très encourageants,

nécessitent des améliorations sur la présence de défauts de dimension $<0.2\mu\text{m}$: le lavage des granulés utilisés pour le calandrage des films est à tester.

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.

Transfert de procédés de la lithographie électronique vers la Nano-Impression

Suite aux travaux de Léopold Boudier sur l'anamorphose en S-NIL, plusieurs projets jusque-là développés en lithographie électronique doivent pouvoir être réalisés par Nano-Impression. Ces projets, du LAAS (PHOTO) mais aussi externes (LP2N à Bordeaux), portent sur la réalisation de nombreux échantillons comportant des motifs de haute résolution et/ou nécessitant de grandes surfaces ($\geq 1\text{cm}^2$). Gain de coût unitaire et de temps pour les utilisateurs finaux.

Traitements thermiques et implantation ionique

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

Nous avons réalisé un oxyde thermique humide de 9,65 nm à 850°C. Ce développement entre dans le cadre d'un projet de réalisation de détecteur de pixel. Cet oxyde humide sera ensuite durci par irradiation X à l'extérieur du LAAS.

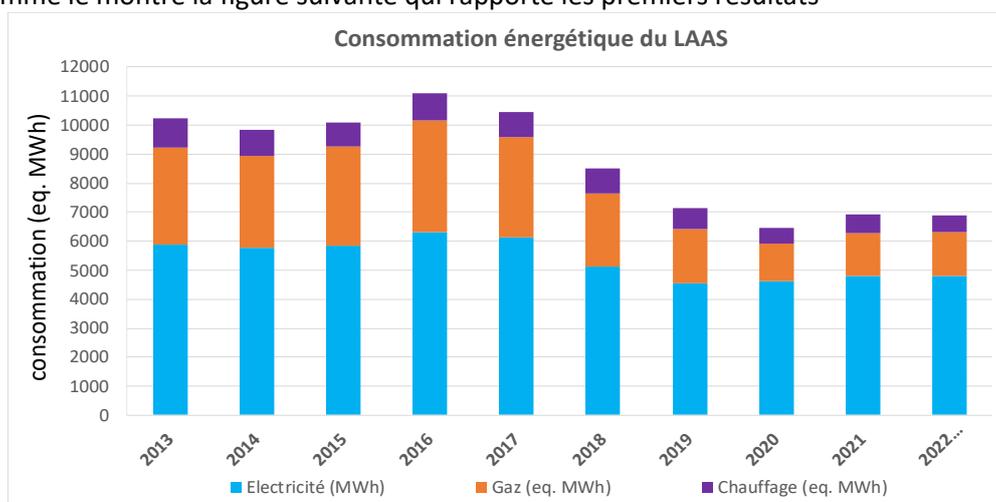
Support

Travaux de production d'énergie des bâtiments F et G

L'année 2022 a vu un avancement significatif des travaux d'optimisation énergétique

- Optimisation de la production d'eau glacée et récupération de la chaleur fatale
- Rénovation de la chaufferie
- Installation de photovoltaïque
- Luminaires LEDs
- Evolution de la GTC pour le comptage détaillé des postes de livraison énergétiques

L'ensemble des travaux menés au LAAS-CNRS (pas que pour la plateforme) depuis 2017 portent leurs fruits comme le montre la figure suivante qui rapporte les premiers résultats



Diminution de la consommation énergétique totale du LAAS supérieure à 30%.

- Electricité -25%.
- Gaz - 80%

DEVELOPPEMENTS ENVISAGES EN 2023

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

Développement de procédés d'interconnexion par thermocompression cuivre 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.

Développement de procédés de découpe et gravure par laser [IG/Projet]

Mise en place de procédés de découpe et de gravure par laser sur substrat silicium, verre, polymère et métal.

Caractérisation***Prospective achat nouveau MEB UHR avec EDX (PEPR)***

La prospective des équipementiers est en cours avec volonté de lancer le CCP à la fin du premier semestre 2023. Prévoir 12 mois de délai pour la fabrication et l'installation de l'équipement.

Développement de 4 pointes miniatures (IG)

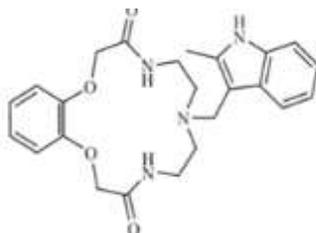
Nous prévoyons de réaliser des pointes miniatures (empreinte totale <1mm voir moins) pour la mesure de résistivité sur des substrat faible dimensions (diamant, morceaux de III-V,...).

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

Il s'agit d'utiliser et de mettre au point des polymères biocompatibles (ex. alcool polyvinylique comme sous couches pour lift-off) ou biosourcés et/ou biodégradables (ex. films d'acides poly lactique comme moules secondaires pour la nano impression). Ce travail se fera en relation avec les zones photolithographie et nanolithographie.

Réalisation des couches sensibles d'optodes sélectives du mercure. (Projet sonde multi paramètres pour milieu marin (P-20-03346)

La faisabilité d'une synthèse en 5 étapes d'un ionophore (éther couronne) sélectif du mercure a été évaluée en 2020, quelques dizaines de mg du produit ont été préparés. En 2023 il s'agira de contrôler la qualité du produit, et si cette qualité est satisfaisante, de l'intégrer dans une couche sensible pour la réalisation d'optodes. Si le produit préparé n'est pas de qualité satisfaisante ou s'il s'est dégradé, il faudra reprendre la synthèse, ce qui sera facilité par la présence des équipements de synthèse récemment acquis.



Scale-up de la fabrication méthacrylate de gélatine (Bioprinting P-22-03854 et CBI-LAAS P-22-03862)

Dû aux nombreux projets où la gélatine méthacrylate est impliqué et grâce au financement RTB 2021 nous avons commandé des réacteurs à double enveloppe reliés à des Cryo thermostats qui nous permettrons de synthétiser, à l'échelle de multi-grammes, la gélatine méthacrylate en garantissant la continuité du produit ainsi que la reproductibilité et répétabilité pour les différents projets qui sont en cours et ceux qui vont démarrer.

Synthèse et formulation des nouveaux biomatériaux photosensibles pour la stéréolithographie (Projet PRISME P-23-04079 et INVICTUS P-23-04080)

L'arrivée des réacteurs de synthèse à double enveloppe nous permettrons de synthétiser de nouveaux biomatériaux photosensibles qui seront utilisés dans la zone lithographie laser ainsi que dans la plateforme MultiFAB du LAAS pour, par exemple, développer une méthode de bio impression et de biomatériaux pour la régénération de tissus.

Intégration dans une matrice polymère de titanate de baryum. (Projet photonique).

Ce projet consiste à intégrer des nanoparticules de BaTiO₃ dans une matrice polymère pour obtenir un composite avec des propriétés optiques innovantes. Il nécessitera vraisemblablement une fonctionnalisation de surface des nanoparticules voire une synthèse de ces particules et des ligands qui seront greffés à leur surface ce qui sera rendu possible par les nouveaux équipements de synthèse.

CVD

Développement d'un outil de suivi in-situ dans 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. Des essais ont été réalisés avec succès lors de dépôts SiO_x, SiN_x sur Silicium. Ce travail est fait conjointement avec A. Arnoult (zone EJM) à partir de matériel commandé pour cela, et une étude sera conduite pour la fabrication de multi couches anti reflets

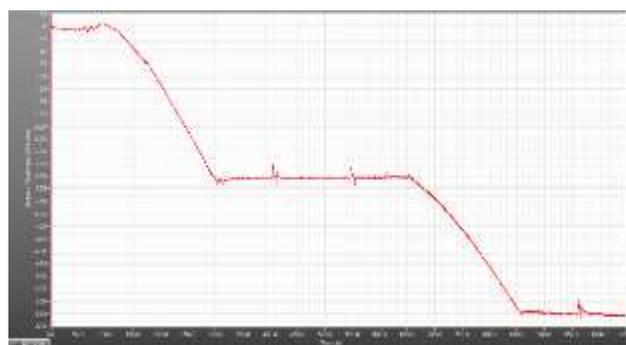


Figure : suivi EZ curve de la contrainte d'un empilement de couches SiO_x/SiN_x déposées sur silicium.

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

Il s'agira d'exploiter les développements faits dans ICPECVD, sur les dépôts de SiN_x:H et SiO_xN_y:H, avec le suivi optique in-situ développé pour cet équipement. L'objectif est de réaliser des structures multi matériaux déposés avec des indices de réfraction différents pour réaliser des matériaux antireflets et des filtres sur différents substrats.

Pour exemple, la réalisation de filtres CRIGF (Cavity Resonator Integrated Grating Filter) sur substrat LNOI (LiNbO_3) permet de rendre ces filtres accordables sur une gamme de longueurs d'ondes de quelques nm. Le dépôt sur les deux faces de couches minces de matériaux diélectriques précises au nm près, rendent une réflectivité moyenne minimale hors résonance du dispositif.

Traitements de surface in-situ pour le dépôt HfO_2 par ALD (MUNDFAB / P-20-03114a)

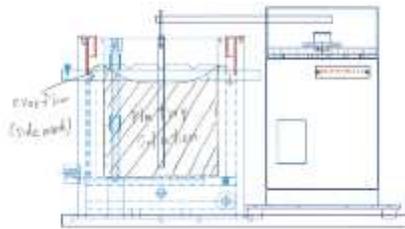
Il s'agira d'exploiter les résultats obtenus pour l'amélioration du dépôt Al_2O_3 pour le dépôt HfO_2 sur silicium. Ces traitements de surface in-situ par pré-dépôt HfO_2 ont pour but d'éviter l'oxydation catalytique du silicium par le précurseur d'Hafnium. Sans ces traitements, il a été constaté la croissance d'un SiO_2 de 1.5nm à l'interface entre Si/ HfO_2 , très préjudiciable à l'obtention d'un isolant de forte permittivité.

Dépôts sous vide

- Electronique organique : Composants sur substrats souples (parylène c)
- PyroMEMS : Exploration de nouveaux matériaux (TiB₂, Mg)
- Vias traversants : En interaction avec les zones dépôts électrolytiques et packaging.

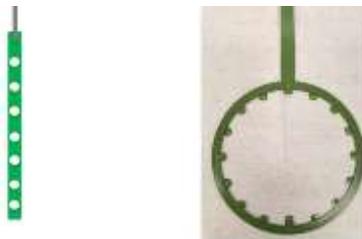
Dépôts électrolytiques

Amélioration quatrième génération de machine Yamamoto (Société Yamamoto & action IG Développement dépôts électrolytiques P 22-03784)



Tous nos tests démontrent que l'agitation est un des facteurs clefs pour améliorer encore les résultats. Jusqu'à maintenant la vitesse max de l'agitateur n'était pas limitante. Mais avec toutes les évolutions que nous avons réalisées c'est cette vitesse maximum qui n'est plus suffisante. Nous avons échangé avec Yamamoto-MS, ils vont nous fournir un moteur permettant d'atteindre les 200 rpm comparés au 130 rpm actuellement.

Notre collaboration continue également sur d'autres points comme la forme de l'agitateur et le nombre de points de contact électrique (de 8 à 16 contacts) afin de continuer à améliorer nos résultats.



Dorure des pièces libérées (Société Yamamoto & action IG Développement dépôts électrolytiques P 22-03784)

Dans le cadre de la collaboration avec la société Yamamoto-MS 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.



Mise en fonction et développement de procédé Flice (Projet Nanofutur & action IG Développements dépôts électrolytiques P 22-03784/ Lithographie Laser P 22-03788)



La machine de structuration 3D du verre doit arriver fin avril au LAAS. Son installation sera suivie d'une formation, de sa prise en main par TEAM et du développement de nouveaux procédés. Les différentes avancées vous seront présentées lors des mardis de la techno.

Installation Machine de via filling (Projet Nanofutur & action IG Développements dépôts électrolytiques P 22-03784)



La procédure d'achat est terminée, l'équipement devrait arriver en toute fin 2023 ou tout début 2024

Epitaxie par jets moléculaires

Laboratoire commun LAAS-RIBER : EPICENTRE

L'arrivée en 2023 de la chambre de croissance cryogénique devrait permettre de développer ce nouveau procédé de la croissance à basses températures. L'originalité de cette chambre est qu'elle devrait permettre de garder une température basse (typiquement -150C) lors de la croissance d'aluminium, tout en faisant tourner le substrat afin d'homogénéiser l'épaisseur du film.

Gravure plasma

Optimisation des gravures dans l'équipement SI500 fluoré

Gravure Bosch (IG) :

Les procédés de gravures DRIE de Si doivent être vérifiés et optimisés dans cet équipement.

Gravure Verre (MPN) :

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.

Gravure du Diamant (ISGE) :

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

Optimisation de gravures dans l'équipement SI500 chlorée

Gravure de l'AlGaN (ISGE):

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

Gravure de HZO (MPN) :

Continuer l'optimisation de procédés de gravure de couches minces TiN/HZO/SiO₂

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

L'équipement TERGEO est utilisé 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.

Jet d'encre et traitements de surface

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 époxy. Actuellement le traitement est effectué en spin coating, le produit périmé et il est difficile de le caractériser. Un traitement en phase vapeur sera plus reproductible et ainsi plus facile à caractériser.

Lithographie Laser

Prospective et analyse des performances d'un équipement Heidelberg MLA 150 (collaboration RENATECH FEMTO-ST)

Notre premier système d'écriture laser DWL 200 est utilisé depuis 18 ans pour la fabrication de photo-masques et réticules. Nous espérons prochainement fabriquer le 10 000^{ème} masque avec cet équipement. Avant ce masque il nous faut prévoir la jouvence de cet équipement. Cette année nous souhaitons collaborer avec nos collègues de FEMTO-ST qui disposent d'un nouvel équipement laser MLA 150. Pour améliorer nos techniques de fabrication des masques, nous envisageons de mener avec eux des essais d'écriture laser de nos designs avec leur équipement MLA et leur proposer de venir tester nos équipements HMX et HMP de développement résine et gravure chrome.

Installation équipement Laser Nano Factory Femtika (projet Nanofutur)

Des nouveaux procédés de photopolymérisation bi-photons avec des nouvelles résines seront développés avec l'équipement Femtika qui sera livré en avril. La longueur d'onde UV pour la création de voxel est inférieure à 400 nm avec notre équipement PP Nanoscribe. Cette longueur d'onde sera supérieure à 500 nm avec l'équipement Femtika. Nous pourrions structurer des nouvelles résines en 3D avec ce nouvel équipement.

Nanolithographies

Poursuite des développements conduits en 2022

Photolithographie

Prospective résines pour gravure profonde

Les tests de résines pour gravure profonde continuent. L'AZ 125nXT a été testée en 2022 et offrait des résultats décevants comparé aux solutions actuelles. La résine SPR 220 sera testée en 2023.

Prospective résine UV biosourcée

Des tests de formulations/synthèses d'une résine UV biosourcée seront menés avec la zone chimie.

Traitements thermiques et implantation ionique

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 et soutien

Amélioration de la consommation énergétique

Afin de réduire la consommation énergétique et son impact carbone le service TEAM a entamé des réflexions sur les pistes qui peuvent être mises en place à courts et longs termes.

Les solutions retenues seront mises en place en fonction des moyens financiers disponible ; en prenant en compte les spécificités des besoins de chaque zone pour garantir la fiabilité des process et la pérennité des équipements.

Une société spécialisée a été mandatée pour établir une étude préalable sur la faisabilité technique de ces actions, la quantification de leur impact sur les consommations énergétiques, leur éligibilité au Dispositif des Certificats d'économies d'énergie qui permet de récupérer dès la fin des travaux une partie des sommes investies.

Action envisagée n°1 : changement des CTA vétustes

Trois des 6 Centrales de traitement d'air de la salle blanche sont vétustes et basées sur une ancienne technologie, celle des moteurs asynchrones. Leur remplacement par des CTA avec des moteurs à commutation électronique (EC) permettrait une optimisation des consommations des CTA, jusqu'à 40%.

Action envisagée n°2 : Production photovoltaïque sur la terrasse technique

La majorité des CTA et extracteurs sont sur une terrasse technique. L'installation d'une couverture photovoltaïque répondrait à deux objectifs.

- Production en autoconsommation d'énergie électrique.
- Protection des équipements pour améliorer leur longévité.

La structure de la terrasse technique permet ces aménagements, pour un générateur photovoltaïque de l'ordre de 60 kWc.

Action envisagée n°3 : remplacement des FFU

L'air traité est envoyé dans le plenum puis soufflé en salle blanche par 129 filtres motorisés (FFU) sur lesquels sont disposés les filtres H10 de filtration absolue. Ces FFU ont 15 ans. Une nouvelle technologie de FFU est maintenant disponible, qui affiche une baisse de consommation électrique de

20 à 25 % par rapport à la génération précédente. De plus cette nouvelle génération peut être connectée à la GTC, ce qui permettra un pilotage individuel. Enfin elle permettrait un pilotage plus fin des consignes de T° par zone.

Le remplacement des FFU peut donc être envisagé ; et peut tout à fait être conduit par phases sur plusieurs années.

Action envisagée n°4 : Déploiement de compteurs en salle blanche.

Nous disposons aujourd'hui d'un comptage énergétique au niveau des bâtiments. Le déploiement de compteurs dans les tableaux divisionnaires des zones de la salle blanche permettrait de mener des analyses précises des points de consommation pour affiner la stratégie d'économies.

C'est d'autant plus pertinent qu'une étude de 2015 chiffrait à 67.87% l'impact des équipements procédés sur la consommation de la seule plateforme. Les travaux menés entre 2018 et 2022 ont réduits la part liée au traitement d'air relativement à la part liée aux équipements qui devient de facto encore plus prépondérante.

Action envisagée n° 5 : Changement du compresseur air sec.

Les compresseurs d'air sec sont vétustes et basés sur une ancienne technologie. Leur remplacement permettrait une optimisation de leur consommation.

Action envisagée n°6 : Découplage de l'allumage des luminaires

Par construction l'éclairage des 750 m² centraux de la salle blanche (bâtiment F) est activé par un seul interrupteur.

Des travaux peuvent être faits pour découpler électriquement l'éclairage des zones du bâtiment F en installant des interrupteurs pour n'allumer que les zones occupées.

Action envisagée n°7 : consignes saisonnières

Baisser de 1° la consigne l'hiver et augmenter de 1° l'été se traduit par 5 à 7% d'économie sur le traitement d'air. Une fois la SB stabilisée après les travaux actuels tester ces modifications mais avec des process de qualification avant et après modifications pour voir leur impact . On fait cette évolution par pas de 1°. Ces modifications seraient déclenchées manuellement sur la GTC

Action envisagée n°8 : Horlogeages des conditions en salle blanche

Par programmation de la GTC on relâche les contraintes de T° et H% pendant les périodes où la SB est vide

En semaine

- A 20H on relâche les contraintes de X° et Y%
- A 6H30 on remet les conditions initiales

Le WE

- Le vendredi soir on relâche les contraintes de X° et Y%
- Jusqu'au lundi matin 6H30

Lors de la fermeture annuelle

- Idem que WE

X° et Y% déterminés avec bureau d'étude pour ne pas :

- Mettre l'installation en péril
- Surconsommer pour revenir aux conditions optimales

CALIBRATIONS

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

Toutefois il convient d'insister que ces seules calibrations ne puissent 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^{er} 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

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 piézo	MyFab onglet document de l'équipement
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	MyFab onglet document de l'équipement
Vérification de calibration résistivimètre	Mesure et vérification de résistance carrée par rapport à un étalon en or	MyFab onglet document de l'équipement

Vérification de calibration Ellipsomètre	Vérification des zéros des polariseurs, de l'intensité de la lampe et mesure de l'étalon en SiO ₂ sur Si	MyFab onglet document de l'équipement
Vérification de calibration Profilomètres optiques	Vérification des mesures de l'étalon Z	MyFab onglet document de l'équipement
Vérification de calibration Balance	Mesure des poids étalons	MyFab onglet document de l'équipement
Calibration DSC	Mesure des métaux étalons puis report des informations dans le soft	MyFab onglet document de l'équipement

Mise en place en 2022

Objectif	Nature de l'action conduite	Où trouver les résultats ?
Vérification XY sur MEB	Utilisation de l'étalon MicroChip	MyFab onglet document de l'équipement

Chimie

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
	Contrôle par société CleanAir des conformités des débits d'extraction avec les données de qualification	Affichés sur les équipements

CVD

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

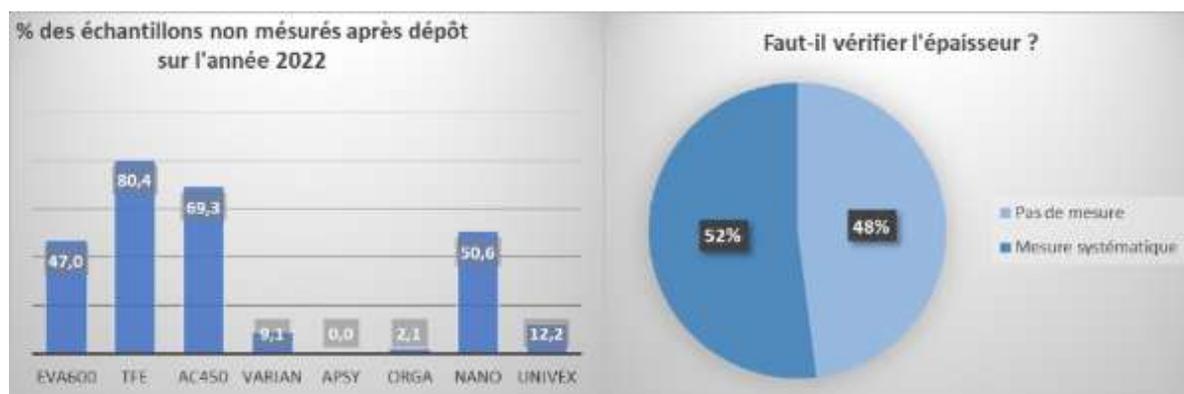
A mettre en place

Objectif	Nature de l'action conduite	Année mise en place
Qualification des procédés de dépôts	Suivi optique ICPECVD dépôts SiN _x , SiO _x , SiO _x N _y (3mois) : Epaisseur et indice	2023
Notice d'utilisation	1 protocole pour ICPECVD, 1 protocole pour Fours Centrotherm	2023

Dépôts sous vide

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	http://lims.laas.fr/team/PVD/Suivi Calibration PVD.xlsx
Qualification de couches métalliques CuO et TiO2 sur TFE	Analyse XRR	A chaque changement de cibles	http://lims.laas.fr/team/PVD/Suivi Calibration PVD.xlsx
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

Ces graphes représentent le retour des utilisateurs après vérification des épaisseurs déposés



Les retours après métallisations sont encourageants mais encore insuffisant. Ces retours sont nécessaires pour nous aider à avoir des équipements avec les bonnes calibrations.

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 Cu/Au/Ni Rena & Ni /Cu/ Cu high speed Yamamoto	Personnels zone
Mesure des concentrations d'ions métalliques	Mesure AAS et Titration Cu/Au/Ni Rena & Ni /Cu/ Cu high speed Yamamoto	Personnels zone
Mesure Homogénéité, contrainte pleine plaque, résistivité	Mesure Tencor 10 points+ contrainte Cu/Au/Ni Rena & Ni /Cu/ Yamamoto	Personnels zone

Mesure des concentrations d'additifs
 Mesure des concentrations d'ions métalliques

Titration & Spectromètre UV Au	Personnels zone
Spectromètre UV Au	Personnels zone

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	Tableau Excel
Vérification des résultats de gravure	Vérification des vitesses de gravure obtenues	Tableau Excel + MyFab
Nettoyage réacteur de gravure	Ouverture/nettoyage mécanique Changement de céramique	Tableau + MyFab

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 ₂	Cahier de suivi
Suivi équipement SFD	Log des produits utilisés et de la consommation de CO ₂	Cahier de suivi

Qualification du viscosimètre	Mesure de viscosité de l'eau	Myfab
Qualification du procédé de traitement de surface par UV/O ₃	Mesure de l'angle de contact d'un polymère avant et après traitement	Myfab
Qualification du procédé de traitement de surface par UV254nm	Mesure de l'angle de contact d'un polymère avant et après traitement	Myfab
Qualification des procédés du SPD	Réalisation des procédés génériques sur Si et Kapton	Myfab

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	http://lims.laas.fr/WebForms/Equipment/EquipmentView.aspx?toolId=183
Alignement laser DWL 200	Alignement laser	http://lims.laas.fr/WebForms/Equipment/EquipmentView.aspx?toolId=183

A mettre en place

Objectif	Nature de l'action conduite	Année mise en place
Calibration Nanoscribe	Ecritures motifs critiques Mesures et observations	2023

Photolithographie

Existantes

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

A mettre en place

Objectif	Nature de l'action conduite	Année mise en place
Sauvegarde des procédés	Garder l'historique des procédés de photolithographie développés dans la zone, au-delà des procédés « standards »	En version d'essai sur partage.laas.fr
Contrôle des angles de contact HMDS	Dépôt HMDS sur Wafer Si après Plasma O2 puis mesure de l'angle de contact	Mars 2023

L'enregistrement des logs dans l'application Myfab permet un meilleur suivi des procédés.

Nanolithographies

Existantes

Objectif	Nature de l'action conduite	Où trouver les résultats ?
Qualification des procédés de nanoréplication	<ol style="list-style-type: none"> Nano-impressions par les utilisateurs Duplication de nanostructures dans un film de COP ou COC 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

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 Cartographie épaisseur et indice par ellipsométrie	Affiché dans MyFab : ici
Qualification homogénéité Implantation ionique	Implantation ionique de Bore suivant un protocole bien défini. Cartographie résistivité des plaquettes	Affiché dans MyFab : ici

A mettre en place

Objectif	Nature de l'action conduite	Année mise en place
Qualification qualité oxyde thermique	Oxydation thermique sèche (100nm) Mesures électriques C(V)	2023
Qualification du masquage des résines implantées Bore et Phosphore	Implantation Bore et Phosphore à travers une couche de résine suivant un protocole bien défini. Cartographie de la résistivité des plaquettes	2023

VALORISATION

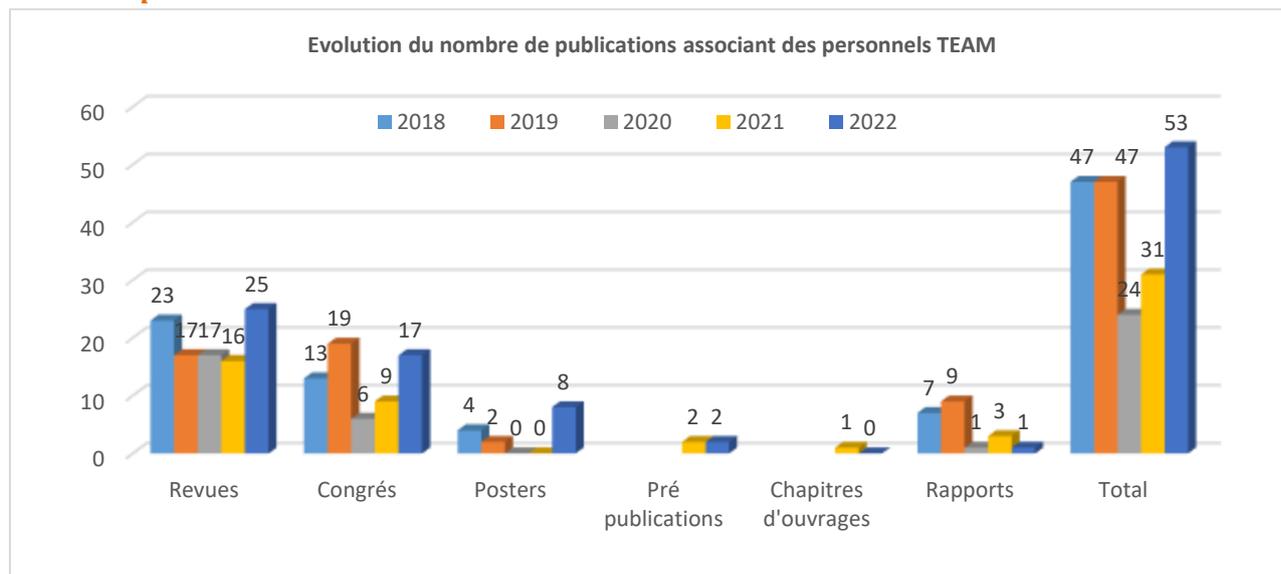
Les membres du service TEAM peuvent être associés ou être à l'origine de publications et rapports afin de valoriser les développements auxquels ils ont eu une contribution importante.

Publications internes 2022 (extraction HAL LAAS au 06/04/2023)

Elles s'élèvent au nombre de 53

- Articles dans une revue : 25
- Communications dans un congrès : 17
- Chapitres d'ouvrages : 0
- Posters : 8
- Pré publications documents de travail : 2
- Rapports techniques) : 1

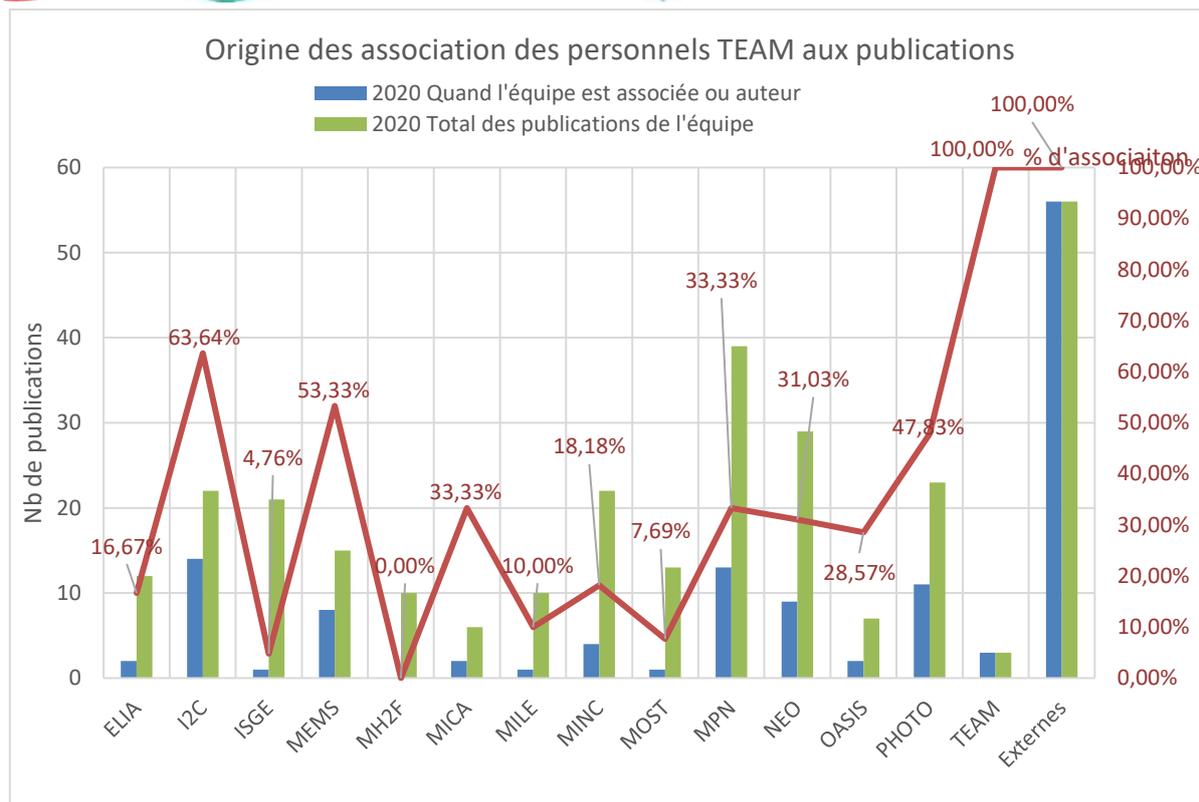
Evolution pluriannuelle



- Après un effondrement en 2020 sans doute dû à la situation sanitaire des publications qui associent les membres du service TEAM l'année 2022 marque un retour à une situation habituelle, voir un peu supérieure.
- 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 publications associant le service TEAM sont représentées sur le graphique suivant.



Sur les 53 publications 2022 trois sont le fait de TEAM. Nous avons donc 50 co-publications. Ce chiffre est à rapporter aux 288 publications des équipes du LAAS, soutenues par la salle blanche. Cela représente une association à environ 17.3% des publications des équipes technophiles.

C'est une légère augmentation par rapport aux 11% de 2021 mais reste encore relativement faible. Même si l'on considère que

- Les 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.

Synthèse

Suite à la ComTEAM 2022 sur le bilan 2021 les échanges entre les départements et le service TEAM semblent commencer à porter leurs fruits ; avec une légère augmentation des associations aux publications. On note toujours une très forte disparité selon les équipes.

Il convient de garder une vigilance importante sur cet aspect, car au-delà de la reconnaissance de l'implication des personnels TEAM c'est un critère pris en compte parmi d'autres lors des concours de promotion des IT.

Le service TEAM peut également améliorer sa contribution. Il y a beaucoup de développements qui ont été consignés dans chaque zone mais pas valorisés. De plus cette valorisation servirait 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.

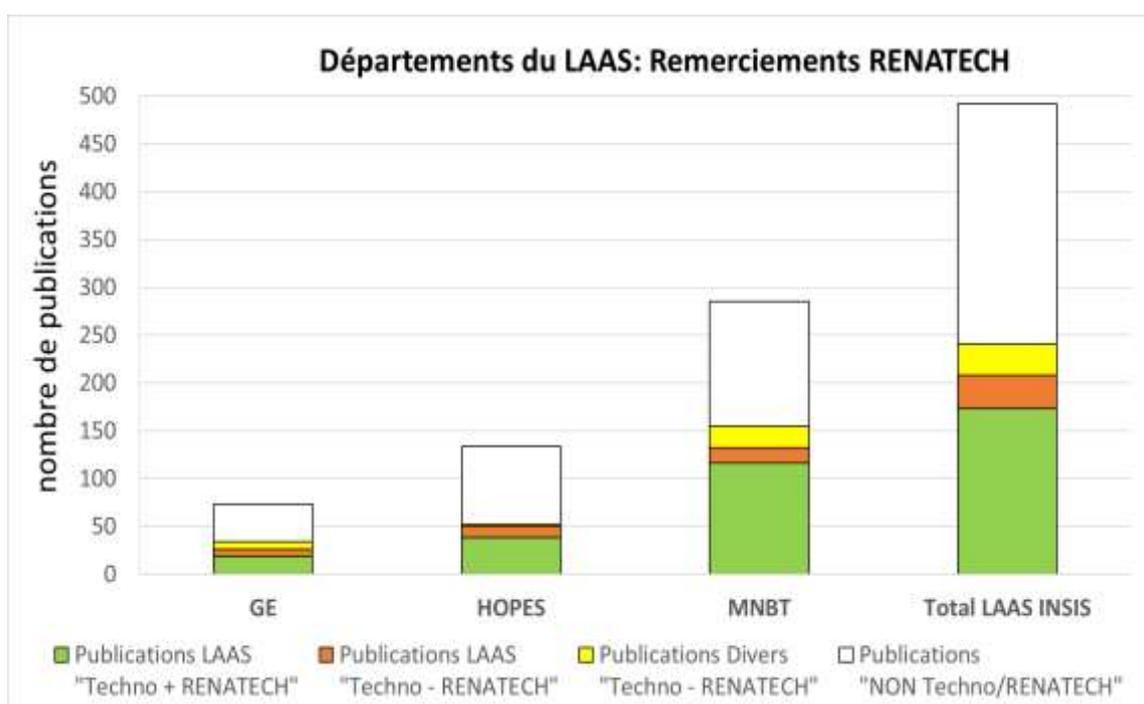
Eléments présentés en CODIR Renatech

Le codir Renatech de novembre 2022 a insisté de nouveau sur 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 le pourcentage de remerciements se situerait à environ 17%. Lors de ce codir il a été envisagé de conditionner une part de la dotation TGIR-CNRS à une amélioration de ce taux de remerciement.

Analyse interne du LAAS-CNRS

Fin 2022 le LAAS a repris sa production scientifique entre 2018 et 2022 afin d'analyser ces remerciements. Au travers de cette étude, il apparaît quatre catégories de publications :

- Des publications LAAS "Techno + RENATECH" où RENATECH est effectivement remercié (surlignage vert),
- Des publications LAAS "Techno - RENATECH" où les remerciements RENATECH ont été oubliés (surlignage orange),
- Des publications "Techno - RENATECH", déposées par divers laboratoires, pour lesquelles les remerciements RENATECH n'ont pas été mentionnés, parfois à l'insu des auteurs du LAAS (surlignage jaune),
- Des publications "NON Techno/RENA TECH", ne traitant pas de technologie ou se basant sur des travaux technologiques réalisés en dehors du réseau RENATECH (surlignage blanc),



Sur cette base, le taux effectif de remerciement RENATECH du LAAS est d'environ 72%, largement supérieur à la valeur de 17% annoncée.

Proposition d'action au CODIR Renatech

De notre point de vue la mécanique de calcul actuellement utilisée au niveau du CNRS ne paraît pas la plus adaptée. Malheureusement nous n'avons pas trouvé de routine pour calculer simplement ce taux de remerciement. Notre méthode est fastidieuse et chronophage car, pour analyser les publications des catégories 2, 3 et 4, il faut analyser chaque publication sur HAL afin de vérifier s'il s'agit bien de technologie et de repérer où a été réalisée cette technologie. Néanmoins, il faudrait à notre avis lancer une concertation en interne au réseau Renatech afin de mettre en place une

procédure de calcul identique et de déterminer ainsi précisément le taux réel de remerciement RENATECH.

Proposition d'action internes au LAAS

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

- Rappel systématique dans la newsletter 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. Une première piste est la refonte de la note de direction sur les affiliations ; qui pourrait comporter un rappel de ces diverses obligations

INTERACTIONS SERVICE / EQUIPES

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

Mardis de la technologie

Après concertation et accord des départements scientifiques le service TEAM a mis en place depuis l'automne 2022 un temps plus formalisé pour des échanges centrés sur la technologie.

- Réunions d'une heure : Jour, horaires diffusés à l'avance
- 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 maximums 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

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 2023 une telle communication. Deux formats sont envisagés

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

BILAN DES ACTIVITES

Éléments généraux

Activités des zones

Maintenance

Contributions particulières au réseau Renatech

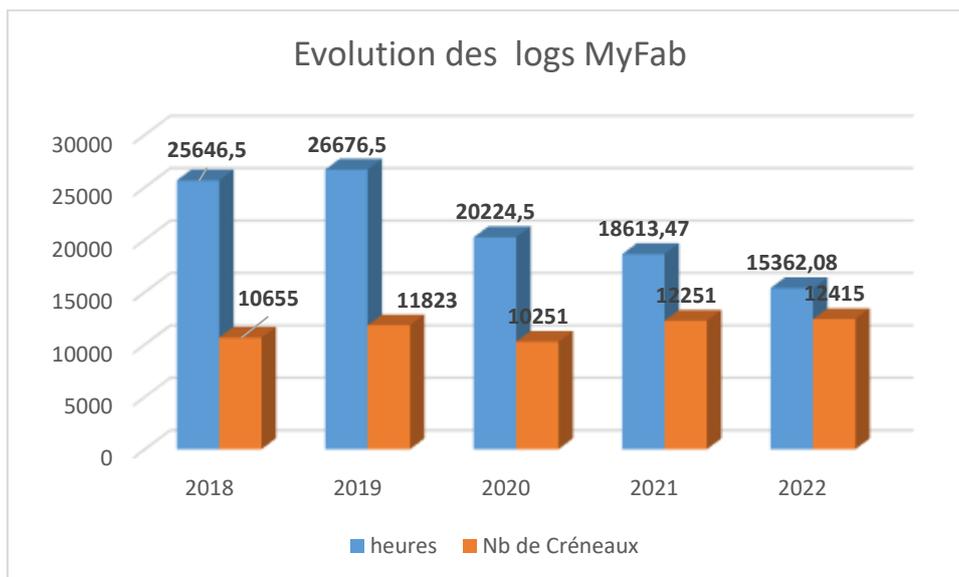
ELEMENTS GENERAUX

Organisation générale des zones

L'organisation des zones n'a pas évolué en 2022. 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 2021 l'année l'activité globale relevée continue sa décline (-18%)

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 cas 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 données 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 initialement prévu en 2022 a été reporté ; l'IEMN évaluant la protection de la propriété intellectuelle sur son système. Nous espérons une reprise en 2023

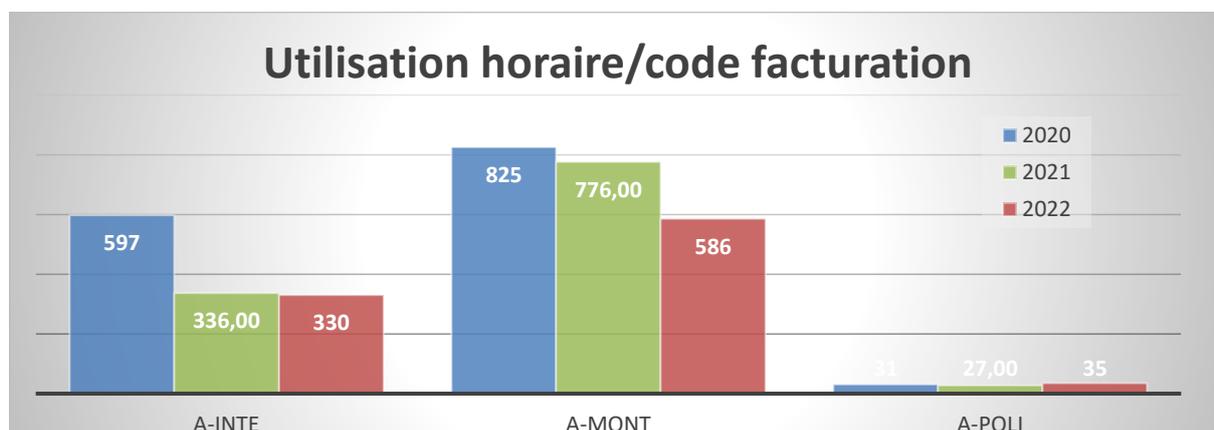
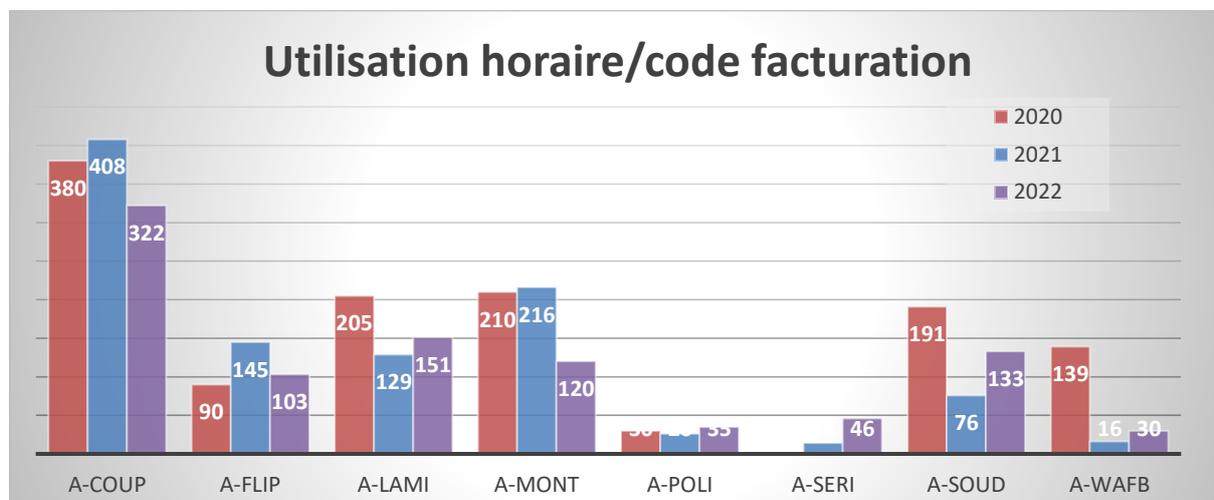
ACTIVITES DES ZONES

Assemblage

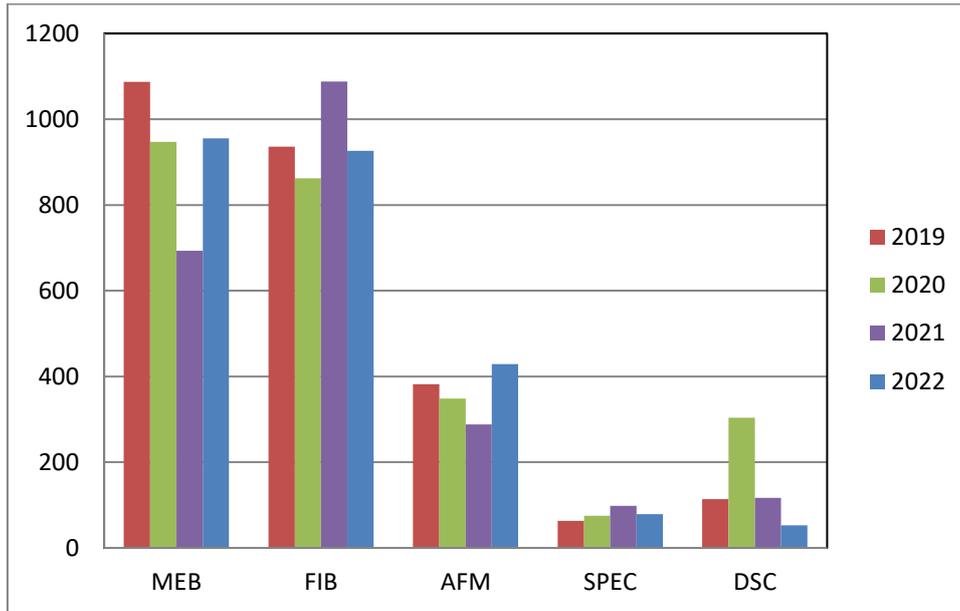
On note une augmentation de 37% de l'activité générale par rapport à l'an dernier avec environ 1400 heures d'utilisation pour l'année 2022. Néanmoins, l'activité reste plus faible qu'avant 2020.

Pour les opérations classiques d'assemblage, on note une stabilité dans les opérations de montage, découpe et polissage, et une très forte hausse des soudures filaires qui correspond à de nombreux montage de capteurs sur PCB ou boîtiers avec de nombreuses connexions par puce (>50).

En ce qui concerne les activités liées à l'intégration, elles fluctuent suivant les années de par les projets. On note cependant que l'activité est stable. Elles devraient augmenter dans les années à venir avec l'acquisition de nouveaux équipements achetés dans le cadre de Nanofutur (Flip chip et découpe laser).



Caractérisation

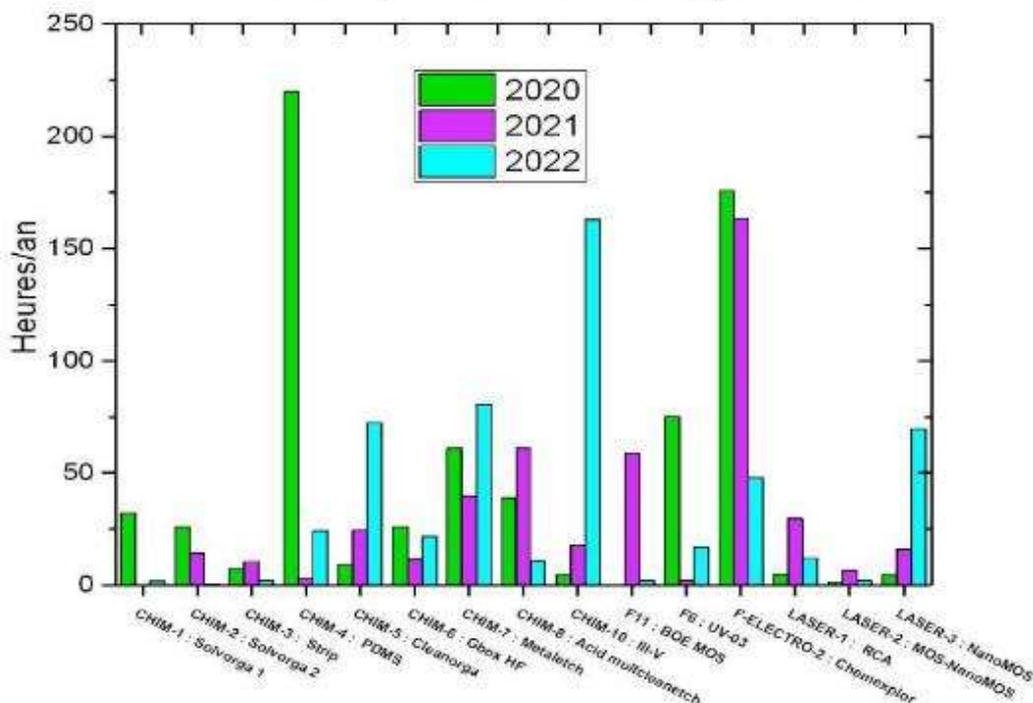


L'activité est stable avec environs 2300 heures d'utilisation (log), sachant que les opérations classiques de caractérisation (profilométries) sont comptabilisées dans les utilisations des moyens communs et ne sont donc pas identifiables pour analyse.

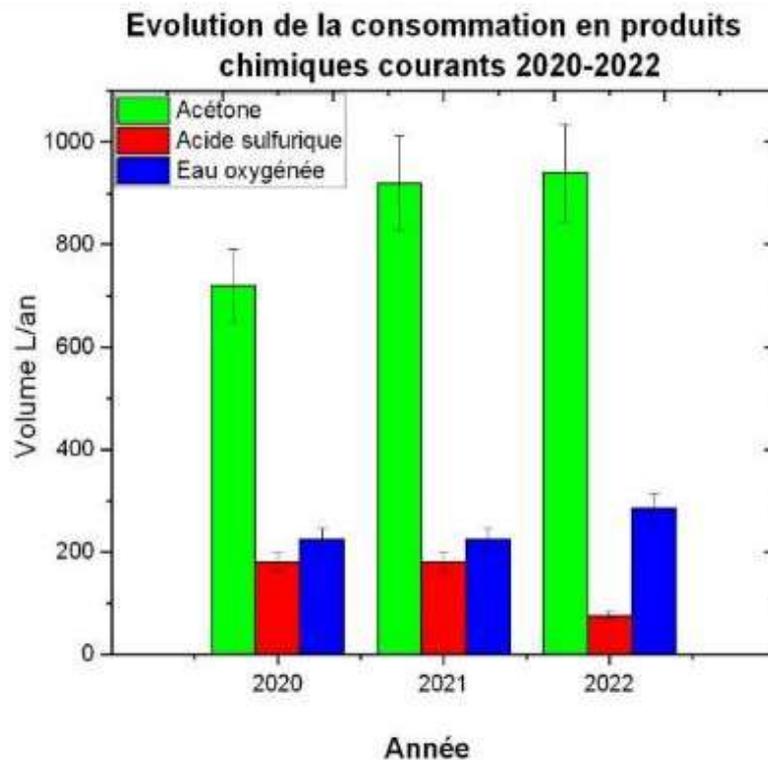
Chimie

La zone chimie est en libre-service après suivi de la 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, où la réservation est systématique). En dehors de quelques postes, les données reportées sur MyFab ne sont pas encore une représentation fiable de l'activité dans la zone.

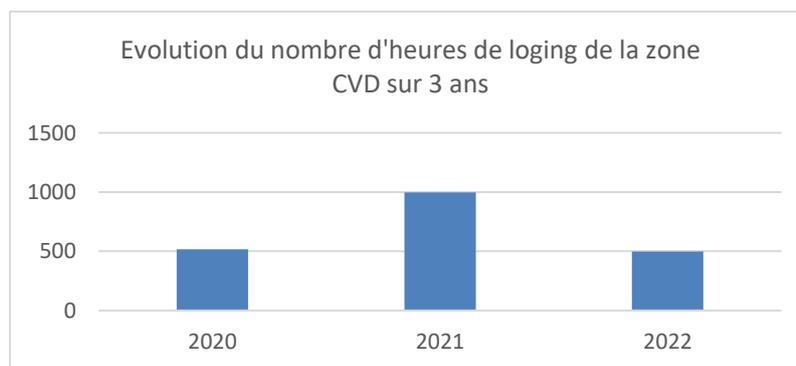
Bilan réservations postes zone chimie Myfab 2022-2020



En revanche, si nous prenons comme indicateur la consommation de quelques produits chimiques courants utilisés en salle blanche (ex. acétone, acide sulfurique ou l'eau oxygénée), nous constatons qu'au cours des trois dernières années la consommation en acétone reste stable. Par contre, il y a une baisse de consommation en acide sulfurique par rapport aux deux dernières années. Cet effet pourrait traduire une utilisation plus régulière des bacs piranha chauffants permettant de réutiliser ce produit.



CVD



On note une diminution de l'activité générale de la zone CVD, avec moins de runs qu'en 2021 (année où l'augmentation était due aux durées plus longues des dépôts ALD NoMOS).

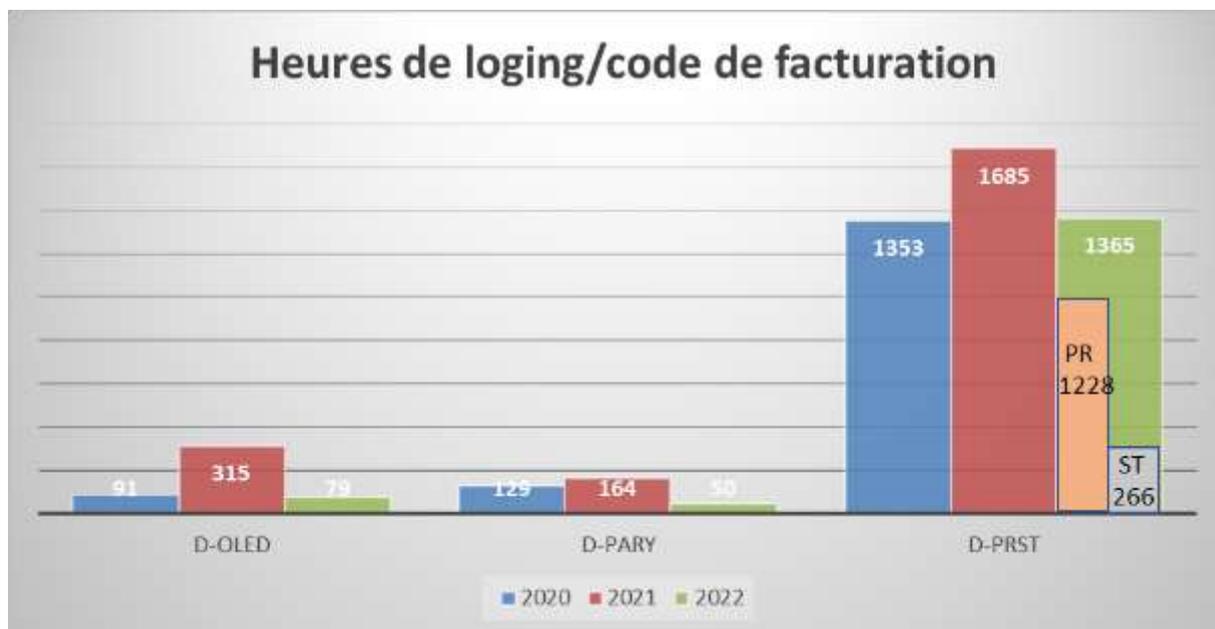
L'activité LPCVD reste faible et concerne les dépôts de Sipoly dopé Bore (<120nm) pour des dispositifs à base de nanofils pour l'électronique et les applications de détection.

L'activité du CCPECVD croît pour les dépôts de SiOx :H, SiNx :H, a-Si :H à 300°C et à 200°C sur Si, sur verre et sur LNOI. Particulièrement, des procédés avec rampe en température (70°C à 200°C) pour le dépôt de SiOx sur LNOI et verre avec des vitesses inférieures à 4nm/s pour des dispositifs photoniques. L'activité de l'ICPECVD croît pour les dépôts de passivation, ou de masquage de gravure ou de couches anti-reflets de SiOx :H, SiNx :H, SiON :H à 100°C sur Si, sur verre, sur GaAs, sur LiNBO₃, pour les

applications photoniques et sur diamant, sur GaN pour des applications en énergie. Certains dépôts ont utilisé le suivi in situ développé en interne avec l'équipe PHOTONIQUE.

L'activité de l'ALD MOS a augmenté, pour réaliser des traitements in situ par plasma sur les dépôts Al₂O₃. (Cf. évolution de procédés), pour réaliser des premiers dépôts ZrO₂, HfZrO et TiN par ALD thermique et PEALD sur des dispositifs à base de nanofils.

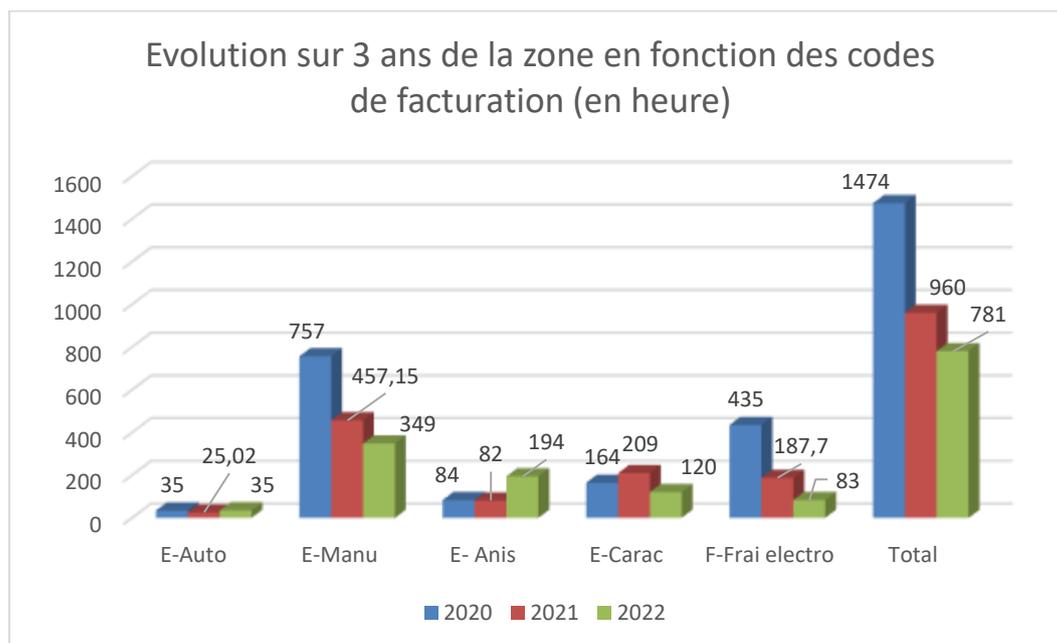
Dépôts sous vide



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 266 h pour le PR et de 1228 h pour le ST.

On note dans l'ensemble une stabilisation de l'activité générale avec environs 1494 heures de Logging à l'année.

Dépôts électrolytiques



Le nombre d'heures d'utilisations de la zone est en baisse. Cette baisse est surtout liée aux bons résultats que nous avons eu sur les machines Yamamoto-MS car la vitesse de dépôts a été augmentée ce qui réduit le temps moyen de dépôts alors que pour l'année 2022 le nombre de dépôt a augmenté de 24%.

Si on compare pour le projet IV-Catch, le temps moyen des dépôts de nickel pour la même épaisseur est passé en moyenne de 1h30 en 2021 à 1h en 2022.

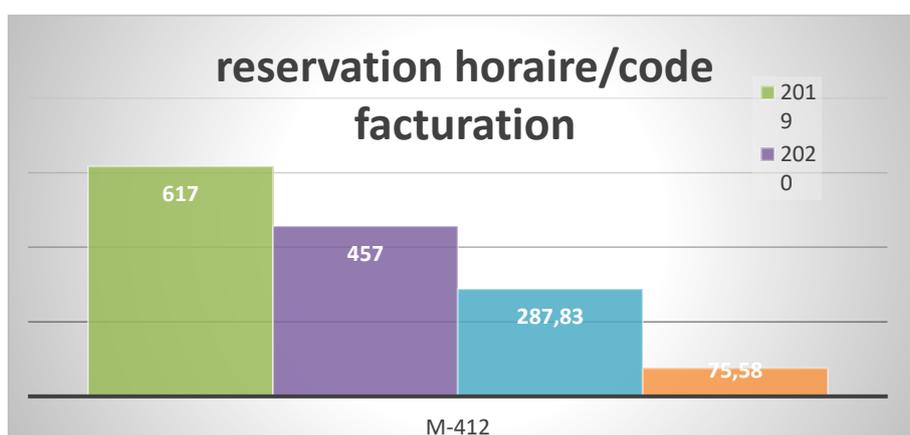
Le nombre de projets utilisant la zone est passé de 15 en 2021 à 21 en 2022. Nous avons eu 9 projets externe via le réseau Renatech dont 6 pour des industriels

En tout 2 ingénieurs de 3DiS-Technologies et 1 ingénieur de Smartcatch ont été formés car ils sont les plus gros utilisateurs des projets Renatech afin de libérer du temps au personnel de la zone

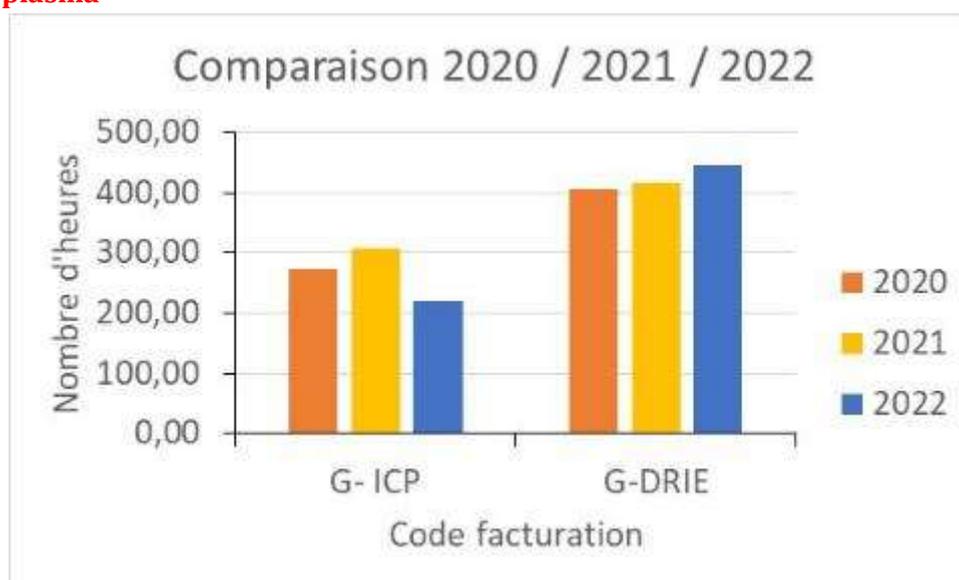
Les machines automatiques sont de moins en moins utilisées car elles sont beaucoup moins adaptées aux besoins actuels. C'est pour cela que nous sommes en train de les rétrofiter. Pour les rendre compatibles avec les dépôts épais, ou de changer la nature des bains pour s'adapter aux besoins des chercheurs 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

On note une forte baisse de l'activité 2022 due principalement à l'impossibilité d'utiliser les cellules d'Al (voir la section « Maintenances significatives 2022 »).



Gravure plasma

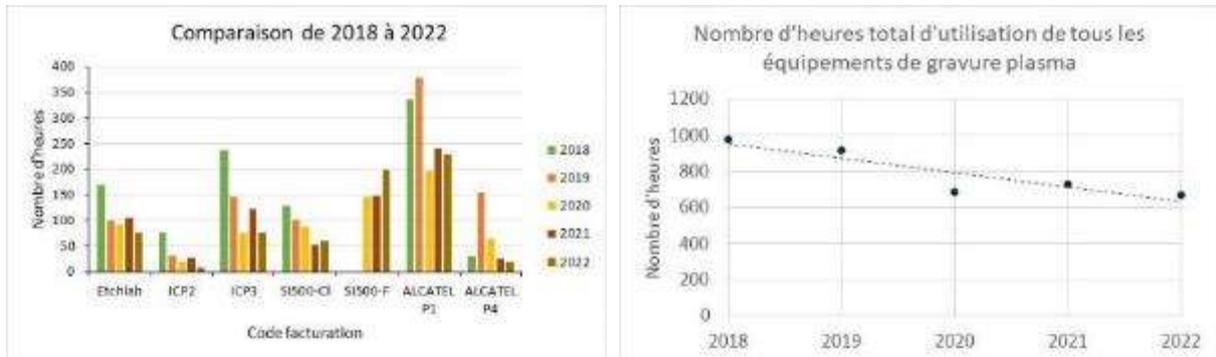


Le nombre d'heures affichées sur ces graphiques représente tous les procédés (service, qualification / tests, développement) sans compter les maintenances.

G-ICP représente les machines : ICP2, ICP3, SI500 chlorée, SI200

G-DRIE représente les machines DRIE : Alcatel P1-P4 et SI500 fluorée (car elle a l'option DRIE).

Afin de compléter cette vision globale nous nous appuyons sur les figures suivantes qui détaillent mieux l'utilisation des équipements dans la zone gravure



Ces 2 graphes mettent en évidence une diminution notable et continue du nombre d'heures d'utilisation de l'ensemble des équipements (à l'exception de la SI500-F qui a été installée en 2020) au cours de ces 5 dernières années.

En 2020, nous avons installé l'équipement SI500 fluorée. Depuis, un grand nombre de procédés a été transféré et adapté dans cette machine. On observe un nombre d'heures rapidement important sur cet équipement (~700 gravures effectuées en 2022). Beaucoup de procédés qui se faisaient sur ICP3 et P4 se font maintenant dans SI500 fluorée (gravure SiOx, SiNx, BCB, Au, Cr, BARC, Si).

L'équipement ICP2 est de moins en moins utilisé, et cette année le nombre d'heures d'utilisation est inférieure à 10h. Ceci s'explique par de nombreuses pannes consécutives, et l'arrêt depuis mai 2022. Par conséquent, des procédés ont été transférés vers ICP3 et les SI500. Une jouvence est prévue, par l'achat d'un nouvel RIE-ICP.

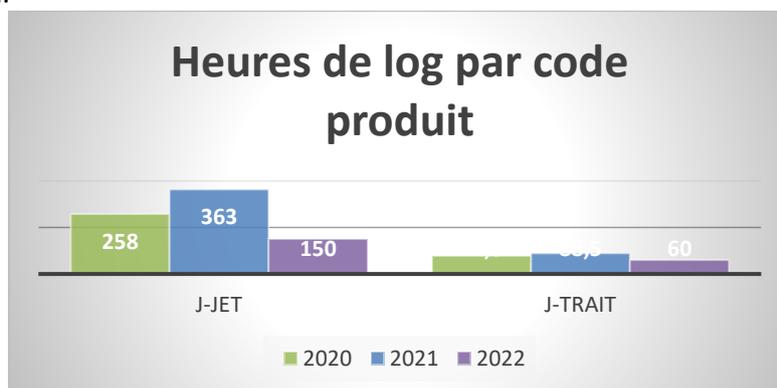
L'équipement Alcatel P4 est de moins en moins utilisé, car cet équipement est souvent en panne (pb de détection de wafers / pb pc / pb de casse de wafers) et très peu de procédés ont été optimisés dans ce réacteur (pb de tenu de la résine). Afin de palier à ce problème, un retrofit de l'équipement Alcatel est prévu (changement du sas et du pc).

Jet d'encre et traitements de surface

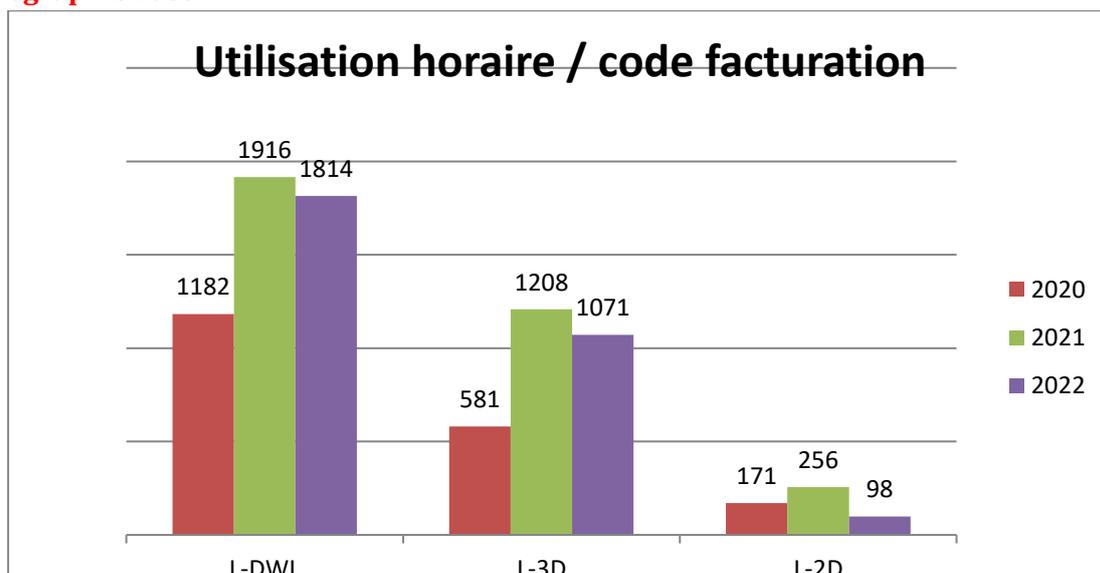
On note sur le traitement de surface une légère baisse, celle-ci est due pour partie à l'utilisation du tousimis qui est intermittente selon les projets et une période de maintenance non négligeable sur le SPD. L'activité est stable sur le long terme.

Sur le jet d'encre nous avons consacré moins de temps au développement de procédés argent maintenant que ceux-ci sont stabilisés.

L'utilisation de l'Altadrop pour ses capacités de dépôt haute pureté compte pour un tiers des 150 heures. Quand cet équipement ne sera plus réparable il faudra trouver une solution de remplacement pour continuer à mener à bien les développements et la réalisation de dépôts sur cette technologie.



Lithographie Laser

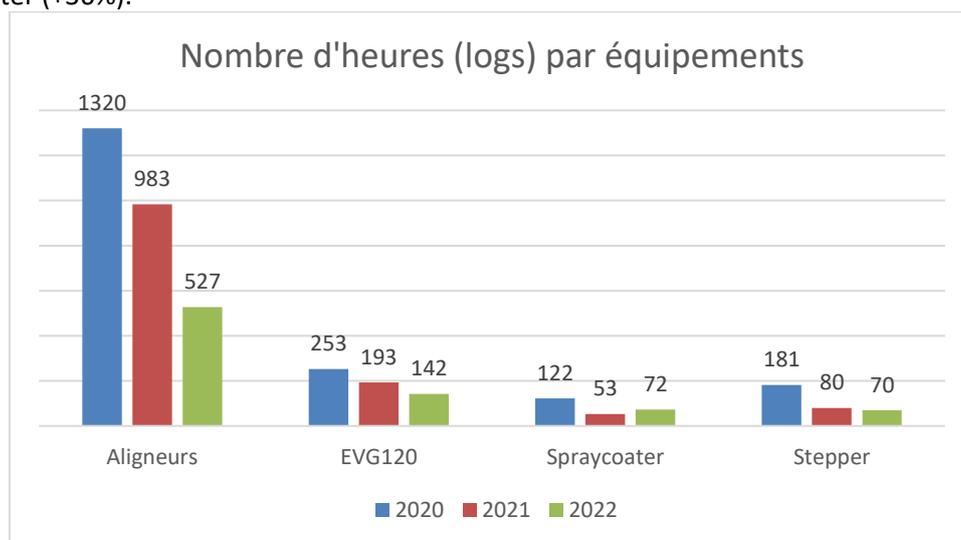


La fabrication des masques ou réticules (L-DWL) a augmenté depuis deux ans en raison d'une importante demande externe. 45% du volume de masques ou réticules est destiné aux projets exogènes Renatech. Ce volume était inférieur à 35% les années précédentes. Le volume horaire d'utilisation des équipements de lithographie 3D (L-3D) reste significatif par rapport à 2020 en raison du nombre croissant d'utilisateurs et d'une collaboration avec la société NEMERA.

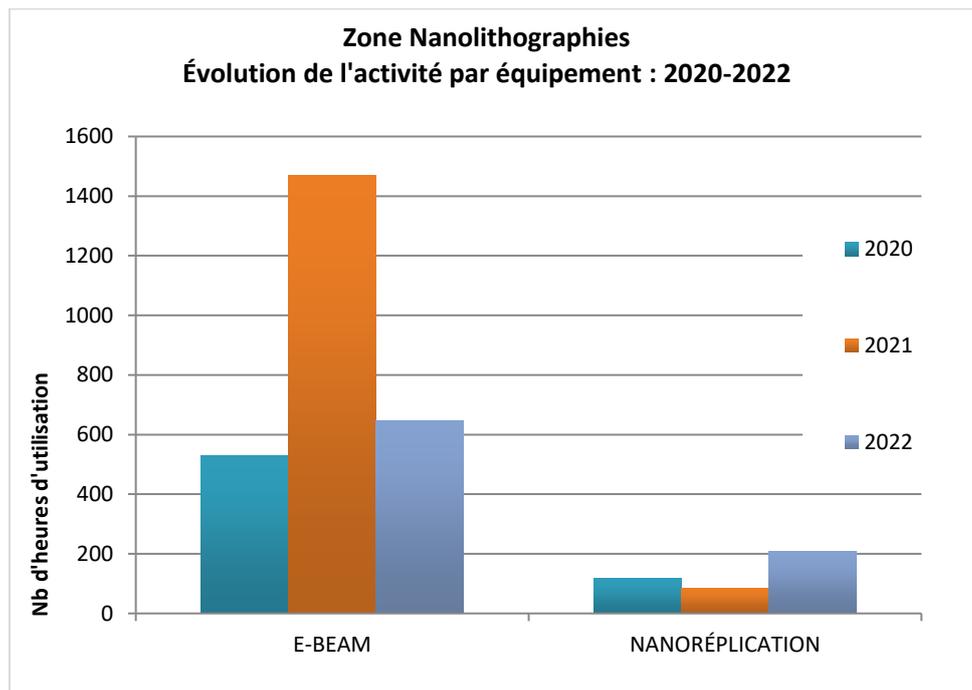
Photolithographie

En 2022, le nombre d'utilisation par équipement est globalement stable à l'exception du spray-coater dont le nombre d'utilisation a quasi doublé (+93%)

En observant le nombre d'heures effectivement « loggées » par équipement, la baisse observée en 2021 se poursuit. Les durées d'utilisation des machines sont notées avec plus d'exactitude, au plus près de la réalité. Le nombre d'utilisation est stable, mais la durée moyenne d'une utilisation baisse. Malgré ce phénomène, on note ici aussi une hausse notable du nombre d'heure d'utilisation du spray-coater (+36%).



Nanolithographies

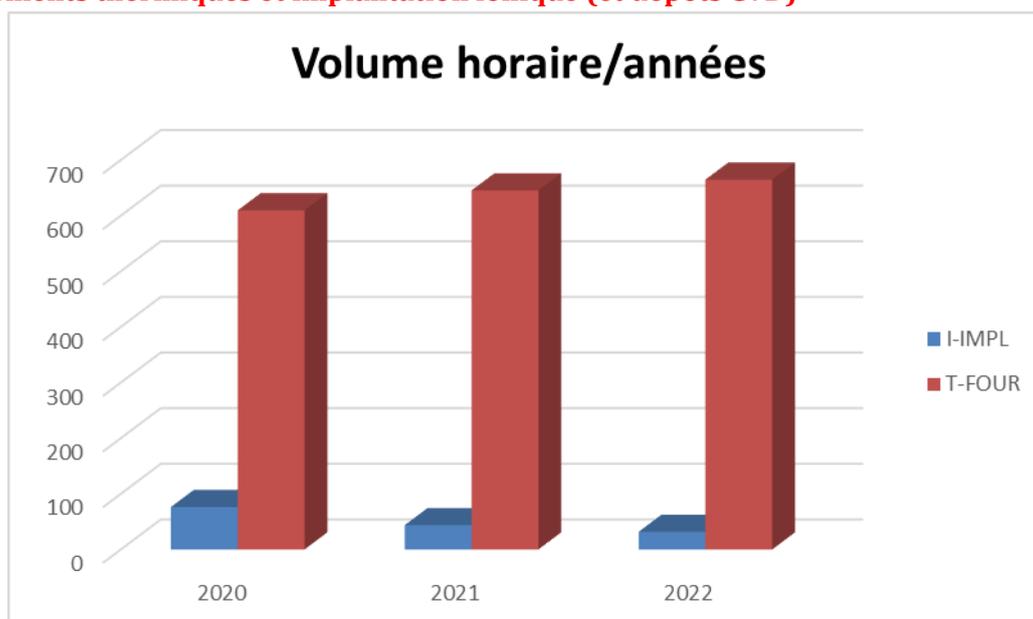


On note en lithographie électronique un retour à la normale du nombre d'heures d'insolation lié principalement à la fin de 2 thèses. DOW Corning ayant annoncé la fin de la fabrication des solutions de résine HSQ, des tests sont en cours pour élaborer les solutions de HSQ au LAAS à base de poudre de HSQ fabriquée par la société EM-Resist (Angleterre) : les premiers résultats sont très encourageants.

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

Le départ d'Emmanuelle Daran sera compensé par l'implication de Jean-Baptiste Doucet aussi bien sur la machine que sur les projets qui étaient pilotés par Emmanuelle.

Traitements thermiques et implantation ionique (et dépôts CVD)



La partie T-FOUR comprend les oxydations thermiques, les redistributions, les recuits RTP et les recuits métaux.

L'activité est en très 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 microélectronique.

Soutien

Bilan

Les activités sont identiques aux années précédentes

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

Gestion des nouveaux arrivants (Cellule formation)	43 personnes (-29%)
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)	70 factures internes (+45%) + 33 factures externes (-8%)
Demandes d'achats (Service gestion)	350 +
Communication du service (S. Charlot)	Tenue du site du service
Heures soleil (H. Granier, M Dilhan)	Hebdomadaire

Le nombre de facture n'est pas à confondre avec les montants facturés ;

L'augmentation du nombre de factures internes peut s'expliquer en partie par un morcellement plus important des origines financières des projets

Le nombre de factures externes reflète plus fidèlement le nombre de projets.

Support

Point marquants 2022

Depuis mi 2021 la zone sont sans soutien pérenne, les actions sont assurées par les autres personnels du service TEAM avec l'aide du service logistique sur l'aspect CVC. Début 2023 L Bouscayrol a quitté la zone de gravure plasma pour reprendre ces activités. Son changement de fonction a été compensé par le CDD de M Arribat , pris sur les ressources propres du laboratoire.

Bilan

Les activités sont les mêmes que celles décrites les années précédentes

Le 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 SNEF
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 SNEF
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

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

Maintenance préventive sur l'équipement de découpe par scie diamantée suite à l'observation d'un offset dans un axe de découpe. Suite à l'intervention, plusieurs pièces montrent une usure importante et doivent être changées. Les différentes pièces et l'axe seront changés en mars 2023.

Caractérisation

2022

Renouvellement du contrat de maintenance de l'AFM ICON sur 4 ans (~12k€/an).
Renouvellement du contrat de maintenance de l'Helios (FIB) sur 3 ans (~40k€/an).

2023

Cette année, le changement de la pointe FEG du S-4800 semble nécessaire (~15k€) pour continuer à travailler dans de bonnes conditions.

CVD

2022

- Changement de la vanne papillon sur l'équipement ALD MOS compatible (Fiji 200).
- Panne de l'Eurotherm sur ICPECVD. En attente de pièces de rechange début 2023, et intervention de T. Corbin (I2C) pour la programmation du nouveau module.
- L'équipement REVE (Si poly épais dopé B) n'est plus en salle blanche.

2023

Dans le déroulement des maintenances préventives programmées, sont prévues :

- Le changement de tube du four Si₃N₄.
- Le changement de la jauge de pression et d'autres pièces électroniques pour l'équipement ECR PECVD.

Dépôts sous vide

2022

- EVA 600 : pompe cryogénique
- Varian : pompe cryogénique

2023

- Univex : pompe cryogénique

Dépôts électrolytiques

Bain d'or :

Suite au changement de la législation européenne interdisant un additif pour sa dangerosité, nous avons remplacé le bain par un nouveau bain répondant à nos besoins. Il est en cours de mise au point pour retrouver les mêmes caractéristiques électriques et mécanique que le précédent. Une évolution majeur comparé à l'ancien est que les dépôts d'or réalisés sont maintenant bio compatibles. Ce qui va permettre de faire des dépôts pour toute la communauté travaillant avec le vivant.

Equipements Rena :

Notre collaboration avec la société Rena sur l'équipement de dépôt d'or afin de stopper l'oxydation d'un additif s'est poursuivi. L'installation du premier prototype doit se faire courant de l'année. En parallèle nous réfléchissons sur le retrofit de l'équipement de dépôt de cuivre. Le premier prototype de chauffe manuel a été testé et validé au LAAS. Une réflexion est en cours pour le relier à l'automate de l'équipement

Epitaxie par jets moléculaires

Préparation de l'infrastructure pour l'accueil du système UHV Epicentre

Afin d'accueillir le système UHV d'Epicentre dans la salle blanche du LAAS, nous en avons préparé l'infrastructure, avec notamment :

- Un séparateur de phase 4 voies pour le C21DZ et les canne LN2 permettant d'alimenter en azote liquide le bâti C21DZ et la chambre cryogénique. A noter que la chambre cryo sera alimentée par le séparateur de phase des anciens batis donnés en 2021 à l'Institut Néel / PHELIQS (CNRS / CEA Grenoble).
- Une armoire gaz process
- Un automate de bascule pour sécuriser l'eau de refroidissement du système Epicentre, développé conjointement avec Thony Corbin (I2C).



A gauche, automate de bascule d'eau de refroidissement. A droite, armoire gaz process

2022

La coupure de courant intempestive, et trop longue pour nos onduleurs, de fin 2021 a induit un refroidissement rapide des deux cellules d'Al du MBE412, dont les charges se sont solidifiées trop vite. Cela a induit la casse de leur creuset. Consécutivement à cet incident, il a été impossible de réaliser des croissances comportant de l'aluminium sans une maintenance lourde et longues (plusieurs mois) du bâti. Aussi, il a été décidé de retarder cette maintenance à septembre 2022 afin de finir la thèse de Dima Sadek (BiSb).

Ensuite, il nous a fallu vider les cellules d'As dans le bâti afin de pouvoir les recharger lors de la maintenance. En effet, l'As se sublime, et la charge d'As se déplace dans son réservoir en Ti, du côté le plus froid, c'est-à-dire contre la bride de chargement. Il serait donc impossible d'ouvrir le réservoir en titane sans endommager la cellule s'il reste de l'arsenic dedans. Or, il est difficile d'estimer la quantité d'As contenue dans les deux cellules cracker As du MBE412. Le temps de vidage des deux cellules a été très long, ce qui a retardé d'autant la maintenance du système. Nous avons pu l'ouvrir début décembre afin de

- Sortir le PSCT (porte substrat chauffant tournant) et changer ses roulements
- Sortir la cellule de plasma d'azote afin de changer l'étrier de la vanne qui était cassé
- Sortir les cellules d'As afin de changer des thermocouples défectueux

2023

Début 2023, nous avons procédé à la suite de la maintenance de la chambre de croissance du MBE412, à savoir :

- Mise en place d'un sas amovible tout autour de la chambre de croissance
- Dépose et remplacement du panneau cryogénique
- Dépose et nettoyage chimique des panneaux à eau des cellules
- Dépose de toutes les cellules et de l'injecteur CBr4 – remplacement des creusets
- Remontage de l'ensemble



Vue à l'intérieur de l'ancien panneau cryogénique du MBE412



Mise en place du nouveau panneau cryogénique du MBE412



Remontage de tous les éléments UHV

L'ancien panneau cryogénique devra être envoyé pour un nettoyage chimique.

Gravure plasma

2022

ALCATEL : Réacteur P1 (DRIE Si) :

- Changement carte Logix (5.5 k€)
- Changement vanne VAT (500€)
- Changement carte DeviceNet (1k€)

ALCATEL : Réacteur P4 (DRIE Verre) :

- Maintenance préventive (19 k€)

SENTECH : SI500 Fluoré :

- Maintenance préventive (9 k€)
- Changement céramique (3 k€)

SENTECH : SI500 Chlorée :

- Changement pompe Turbo (33 k€)

SENTECH : Etchlab :

- Réparation générateur (1.9 k€)

TRIKON ICP2:

- Changement batterie / débitmètre He / hublot / vanne isolation /connecteur sur ESC
- Pb sur tuyaux air comprimé => HS mai 2022

DIENER :

- Changement de pompe (QDP80 = HS => utilisation de la dernière QDP80 en spare)

TEGAL :

- Réparation générateur RF (500 €)

2023

- TEGAL : fin ou arrêt du rétrofit.
- Alcatel : Séparation des 2 réacteurs (retrait du module de transfert + changement des sas et de pc).
- ICP2 : achat d'une nouvelle machine RIE-ICP chlorée.
- Maintenance préventive sur les 4 pompes primaires Pfeiffer.

Jet d'encre et traitements de surface

2022

La pompe du SAS du SPD a été réparée et des modifications de la tuyauterie d'extraction a été opérée afin d'éviter de futurs problèmes.

2023

Une maintenance de la pompe de la chambre du SPD est prévue afin de déterminer l'origine du problème survenu en 2022.

Lithographie Laser

2022

HMX : Intervention de la société Suss Microtech dans le cadre de la garantie pour remplacer un réservoir pressurisé d'acide défectueux.

D750 : Passage à Windows 10 et remplacement d'une carte d'interface défectueuse par la société KLOE

PP Nanoscribe : Remplacement du laser pulsé dédié à l'écriture bi-photons après 10 années d'utilisation.

2023

PP Nanoscribe : Prévision du remplacement de la platine piézoélectrique pour les déplacements trois axes des échantillons. Le déplacement piézoélectrique suivant l'axe Z est actuellement défectueux et compensé par la commande motorisée de l'objectif. Le coût de la réparation s'élèvera à 20 k€.

Photolithographie

2022

- Spraycoater : maintenance préventive (effectuée tous les 2 ans, 13K€).
- Stepper Canon : Changement du laser HeNe (5K€) et maintenance annuelle (contrat de maintenance).
- EVG 120 : maintenance préventive (contrat de maintenance).
- Début des travaux pour automatiser certains postes de travail (arrêt paillasses par sécurité)
- Tournette 1 Suss Labspin : Changement moteur (3.7K€)

2023

Plusieurs contrats de maintenance sont à renouveler en 2023 : Canon (stepper), EVG (pistes EVG 120), et Suss Microtec (aligneurs de masques).

Nanolithographies

Ebeam :

- Changement de l'ensemble du système de pompage : pompe primaire, pompe turbomoléculaire et son contrôleur début 20222

Nano-impression :

- Changement de la lampe UV

Traitements thermiques et implantation ionique (et dépôts CVD)

2022

- Implantation ionique
 - Upgrade du logiciel de commande de l'implanteur (passage sous Windows 10)
- Traitements thermiques
 - Changement d'un module de régulation de température

2023

- Implantation ionique
 - Changement du tube accélérateur
 - Etude de l'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

Les équipements

La cellule équipements

Équipements installés en 2022

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 2022

FLIP CHIP (550K€: Equipex Nanofutur)



<http://lims.laas.fr/WebForms/Equipment/EquipmentView.aspx?toolId=260>

Depuis avril 2022, la zone assemblage accueille un nouvel équipement de flip chip de marque SET. Cette machine aligne et reporte des composants de forme carrée comprise entre 200 μ m et 100mm sur des substrats d'une forme carrée de 500 μ m à 150mm avec plusieurs techniques selon l'application ou le matériau utilisés. Ces techniques sont intégrées dans la machine et sont : thermocompression ; collage thermique et ultraviolet ; procédé eutectique ; procédé thermosonique et brasage

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



<http://lims.laas.fr/WebForms/Equipment/EquipmentView.aspx?toolId=259>

Depuis mars 2022, la zone caractérisation accueille un nouvel équipement de profilométrie optique de marque Sensofar.

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))

<http://lims.laas.fr/WebForms/Equipment/EquipmentView.aspx?toolId=261>

Depuis mai 2022, la zone caractérisation accueille un nouvel équipement d'imagerie ellipsométrique spectrale de marque Accurion.

L'ellipsomètre comprend un système d'imagerie couplé à un système spectroscopique afin d'obtenir des mesures ellipsométriques à diverses longueurs d'onde, pour différents angles d'incidence, et résolues spatialement.

La ou les sources lumineuses ainsi que le ou les systèmes d'imagerie permettent de couvrir l'intégralité de la gamme spectrale entre 360 nm et 1700 nm.

Le système de mesure permet d'effectuer des mesures ellipsométriques fiables en surface d'échantillons semi-transparents avec une face arrière non-dépolie (i.e. face arrière avec une surface de qualité optique).

REACTEURS DE SYNTHÈSE CHIMIQUE (52K€-ressources propres et 4.5K€ ELIA)

<https://lims.laas.fr/WebForms/Equipment/User/LabStatus.aspx?restrictedPage=true&maxNbrLogs=5&maxNbrExpandedLogs=20&fixedToolId=265>

<https://lims.laas.fr/WebForms/Equipment/User/LabStatus.aspx?restrictedPage=true&maxNbrLogs=5&maxNbrExpandedLogs=20&fixedToolId=266>

Depuis décembre 2022, la zone chimie accueille deux nouveaux réacteurs (0,5 l et 1 litre) de synthèse chimique. Ils sont conçus pour la synthèse organique ou aqueuse. Ils garantissent des réactions chimiques sûres et reproductibles, de l'échantillonnage jusqu'à l'échelle pilote.

- Possibilité de travailler sous vide jusqu'à 3 mbar et sous atmosphère inerte (N₂ ou Ar).
- Permet un fonctionnement à des températures allant de -30°C à 200°C.
- Comprend un kit de vidange qui permet de vidanger rapidement et proprement le liquide caloporteur et remplacer facilement la cuve du réacteur.

Un troisième réacteur de 5000 ml est destiné à la dialyse de différents types de biomatériaux synthétisés préalablement au laboratoire.

Ces réacteurs sont équipés de Cryo thermostats dont la température varie de -45°C à 250°C.

EVAPORATEUR ROTATIF (11K€-ressources propres)



<https://lims.laas.fr/WebForms/Equipment/User/LabStatus.aspx?restrictedPage=true&maxNbrLogs=5&maxNbrExpandedLogs=20&fixedToolId=267>

Depuis décembre 2022, la zone chimie accueille un évaporateur sous vide de marque Buchi. Cet évaporateur rotatif sous vide permet de réaliser des distillations en une étape et rapidement ; la technique repose sur l'évaporation et la condensation de solvants organiques dans un ballon d'évaporation sous vide. La distillation sous vide est plus efficace et mélange davantage le produit que la distillation atmosphérique

MACHINE DE DEPÔT ECR-PECVD (40KE- ressources propres)



<http://lims.laas.fr/WebForms/Equipment/EquipmentView.aspx?toolId=262>

Depuis septembre 2022, la zone CVD accueille un nouvel équipement de dépôt ECR-PECVD de marque Roth and Rau

Cette machine permet de déposer :

- Des matériaux tels que le SiON (variation indice optique) et du TiON (indice plus grand que SiON) pour les applications dans l'optique intégrée à des échelles submicroniques
- Du TiO₂ et du SiO₂ pour les applications MOEMS-VCSELs.

L'équipement est actuellement en phase de redémarrage

MACHINE DE DÉPÔT ALD (37.5K€ -ressources propres)



<http://lims.laas.fr/WebForms/Equipment/EquipmentView.aspx?toolId=263>

Depuis juillet 2022, la zone CVD accueille un nouvel équipement de dépôt ALD de marque Beneq. Cette machine permet :

- Le dépôt d'oxydes métalliques pour des applications photoniques (indice de réfraction, encapsulation, couche barrière) : structuration à l'échelle nanométrique et intégration multifonctionnelle de l'optique dans les systèmes (filtres spectraux optiques et les sources innovantes, microsystèmes optiques à base de sources laser VCSELs).
- Le dépôt Al₂O₃, TiO₂, (Nb₂O₅ à définir) sur des matériaux NoMOS.

Installation du module GT+ Nanoscribe (32 k€ - projet MultiFAB / P17-02276)



Le nouveau module GT+ pour la photopolymérisation 3D bi-photons large échelle est opérationnel depuis février 2022. Cette évolution nous permet de traiter des nouveaux formats d'échantillons et

de fabriquer des nouvelles structures complexes haute résolution en 3D quatre fois plus volumineuses. La limite en volume des objets 3D réalisables passe de 25 à 100 mm³. La limite en hauteur des objets 3D passe de 3 à 8 mm avec une nouvelle résine plus visqueuse dénommée IP-Q.

MACHINE DE DEPÔT PVD (37.5K€ -ressources propres)



Depuis juillet 2022, La zone PVD accueille un bâti de dépôt par évaporation qui sera opérationnel fin 1^{er} semestre 2023 ; il est équipé d'un canon à électrons 6 creusets et sa particularité réside en son porte substrat jusqu'à 4'' **magnétique**.

Le choix des métaux reste à définir selon les besoins.

Equipement de dépôt de Cuivre (Collaboration avec Yamamoto-MS)



		Ergonomics	Homogeneity	Reproducibility	Deposition rate	Splash	Inhomogeneity	Deposition rate
First generation							12%	0,5 µm/min
Second generation	Screws impression around the equipment	x					6,8%	0,5 µm/min
	Round bar		x	x				
	Micrometer		x	x				
	Platform with equipment footprint		x	x				
	Lid	x						
Third generation	Conical screws			x			5,6%	1,2 µm/min
	Electrical Contacts at 45°		x	x	x			
	Cathode shield shorter		x	x	x			
Fourth generation	Tank geometry		x	x	x	x	3,5%	2,5 µm/min
	Agitator shape		x	x	x	x		
	Anode 4/6 reversible	x						

<http://lims.laas.fr/WebForms/Equipment/EquipmentView.aspx?toolId=163>

Dans le cadre de notre collaboration avec la société Yamamoto-MS, nous avons reçu un deuxième équipement basé sur la quatrième génération de réacteur que nous avons développée en commun. Les tests et les développements que nous avons mené sur ce nouveau réacteur dédié au cuivre, ont donné des résultats aussi bons que ceux obtenu avec le bain nickel. (Cf. paragraphe évolution des procédés).

Cette réussite sur une deuxième type de bain démontre que cette quatrième génération est efficace quel que soit la nature du bain et va devenir l'équipement standard vendu par Yamamoto-MS.

Caractérisations chimiques jouvence Titreur :



<http://lims.laas.fr/WebForms/Equipment/EquipmentView.aspx?toolId=174>

L'ancien titreur ne fonctionnait plus correctement et n'était plus maintenu par la société Metrohm (plus de 16 ans) nous l'avons remplacé par sa nouvelle version. Il permet de faire les mêmes analyses avec une ergonomie beaucoup plus adaptée à nos besoins.

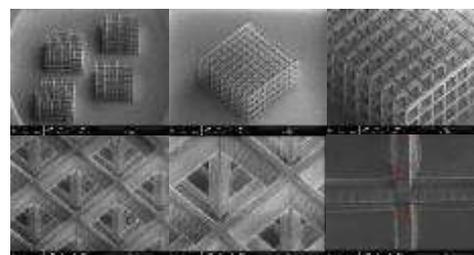
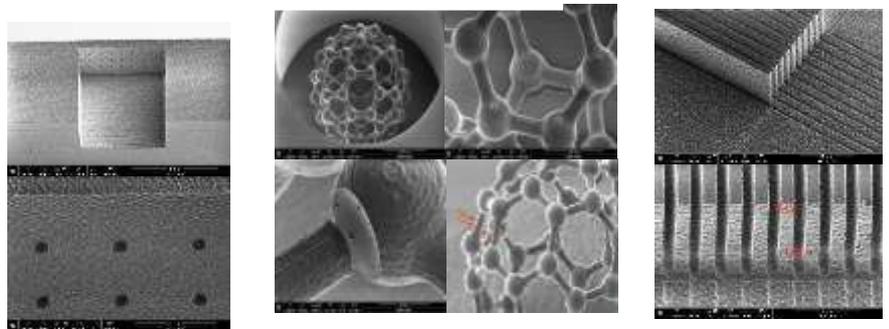
PROCEDURES D'ACHAT EN COURS

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

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 deux parties de silice fondue. Il est demandé en option une structuration 3D de polymères. Cette technique est appelée FLICE'' (Femtosecond Laser Irradiation and Chemical Etching).



Structures sur quartz



Polymère
Epaisseur 500µm

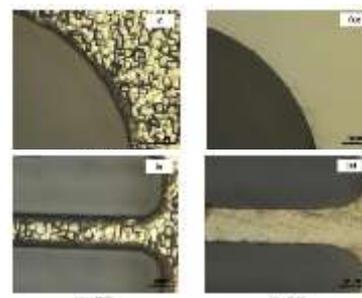
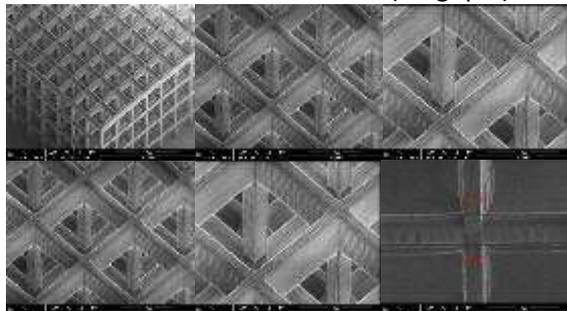
Le fournisseur choisi est Femtika (Lituanie). Livraison prévue 2nd trimestre 2023

ABLATION ET GRAVURE DES MATERIAUX PAR LASER FEMTOSECONDE (550K€ : Equipex Nanofutur)

La machine avec son laser femtoseconde (IR et visible) découpe des substrats en silicium, verre et polymères (type PET ou Kapton) avec des formes à façon. 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.

Le fournisseur choisi est LASEA (Belgique). Livraison prévue septembre 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 ; la possibilité d'accéder à de nouveaux traitements de surfaces ; 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. 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. Le fournisseur est DVTECH et la livraison est prévue fin 1^{er} trimestre 2023.



POSTE DE PESEE (21.3k€ ressources propres)

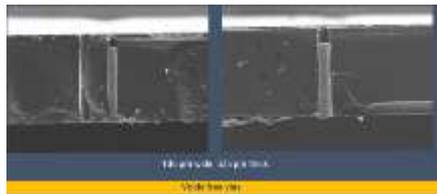
Le poste de pesée est constitué de :

- Une hotte présentant une conception optimisée pour la sécurité et pour la pesée de précision. Elle offre une protection individuelle optimale pour les activités impliquant des substances actives, toxiques et CMR.
- Une balance de précision : portée 4200g avec une précision d'affichage de 10mg
- Une balance haute performance : portée 81/220g avec une précision d'affichage 0.1/1mg

La livraison est prévue 2nd trimestre 2023.

DEPOT METALLIQUE PAR RECHARGE ELECTROLYTIQUE (250k€ : Equipex Nanofutur)

La machine de dépôt de cuivre par recharge électrolytique permet le remplissage de vias (trous) traversants, de vias borgnes ou de résines micro-structurées avec des très hauts rapports de forme (jusqu'à 10 :1) dans des substrats de silicium, verre ou polymère et jusqu'à une épaisseur de 525 µm.



Le fournisseur choisi est Class One (USA) et présente une machine toute automatisée.

Livraison prévue 1^{er} trimestre 2024

PROCEDURES D'ACHAT A VENIR**PLASMA ATMOSPHERIQUE (190K€: Equipex Nanofutur)**

Le traitement de surface par plasma atmosphérique permet le nettoyage et l'élimination des contaminations organiques, l'activation des surfaces, la 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 réoxydation 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. Si les résultats ne sont pas probants pour la fonctionnalisation des moules de résines, on se tournerait vers une machine manuelle pour le nettoyage et l'élimination des contaminations organique et l'activation des surfaces. Le coût serait moindre (60k€) et entrerait dans une PUMA. Cette machine serait alors complétée par une machine de gravure SU8 présentée dans le paragraphe suivant.

PLASMA GRAVURE SU8 (139K€: Equipex Nanofutur)

Cet équipement est destiné à la gravure de couche résine type SU8 avec une très grande sélectivité vis à vis du silicium et ses dérivés (SiO₂, Si₃N₄). C'est une gravure purement chimique sans bombardement ionique du substrat. Le plasma n'attaque pas les métaux (Ni, Ni/Fe, Au, Cu, etc.). La chambre accepte 1 x 8''; 1 x 6''; 2 x 4''



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 possède une enveloppe de 3,637 M€ 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 permettra de travailler en "continu".



RAITH

JEOL



Quatre équipementiers identifiés dont RAITH et JEOL sont en cours d'expertise.

Dans le cadre du PEPR, d'autres laboratoires CNRS (IEMN, FMNT-PTA) vont acheter un masqueur électronique. L'idée est de ne monter qu'un seul appel d'offre, constitué de trois machines, qui serait géré par la DR16 (Paris) afin d'espérer diminuer le prix par machine.

L'écriture du cahier des charges est en cours espérée, avec un objectif de finalisation à la fin du premier semestre 2023. Il faut compter ensuite douze 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 50nm³ contre 1µm³ 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 quatre équipementiers est en cours.



FEI Verios 5



Zeiss Sigma



Hitachi S-8700



Tescan

Le microscope électronique rentre dans un accord cadre national; la remise en concurrence se fera entre les sociétés FEI, Zeiss, Hitachi et Tescan.

L'expertise des sociétés est en cours avec envois d'échantillons. L'écriture du cahier des charges est en cours avec RECA (remise en concurrence) espérée à la fin du premier semestre 2023. Il faut compter 10 mois de délai de livraison

GRAVURE PLASMA RIE-ICP CHLOREE (400K€-800K€)

Ce bâti RIE-ICP chloré, qui vient en remplacement des équipements Trikon ; est d'une nouvelle génération avec un meilleur contrôle sur les gravures GaAs et les métaux.

Il sera demandé dans le cahier des charges 3 options dont un ALE (Atomic layer etching), un ellipsomètre in-situ et un procédé de gravure InP (température électrode supérieure à 200°C)

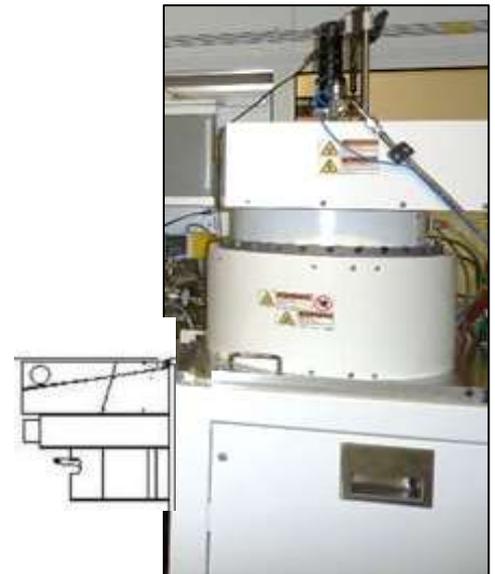


Quatre équipementiers ont été identifiés : SPTS, Oxford, Corial et Sentech. Les devis vont du simple au double.

GRAVURE PROFONDE DRIE - RETROFIT ACATEL (180K€)

L'objectif du retrofit de l'équipement Alcatel est de séparer les deux chambres en enlevant le robot de chargement (contaminations évitées de chambre à chambre) ; de créer un sas de chargement par réacteur pour un seul substrat (plus de problème de détection de substrat) ; avec des nouveaux PCs (windows10). Il sera ajouté des « chemisages » de protection dans chaque réacteur. Sur une chambre sera ajoutée une ligne de SF6 afin de faire du process Bosch (NoMos en clampage mécanique).

Il y aura donc une chambre spécifique gravure profonde silicium et une autre spécifique gravure verre.

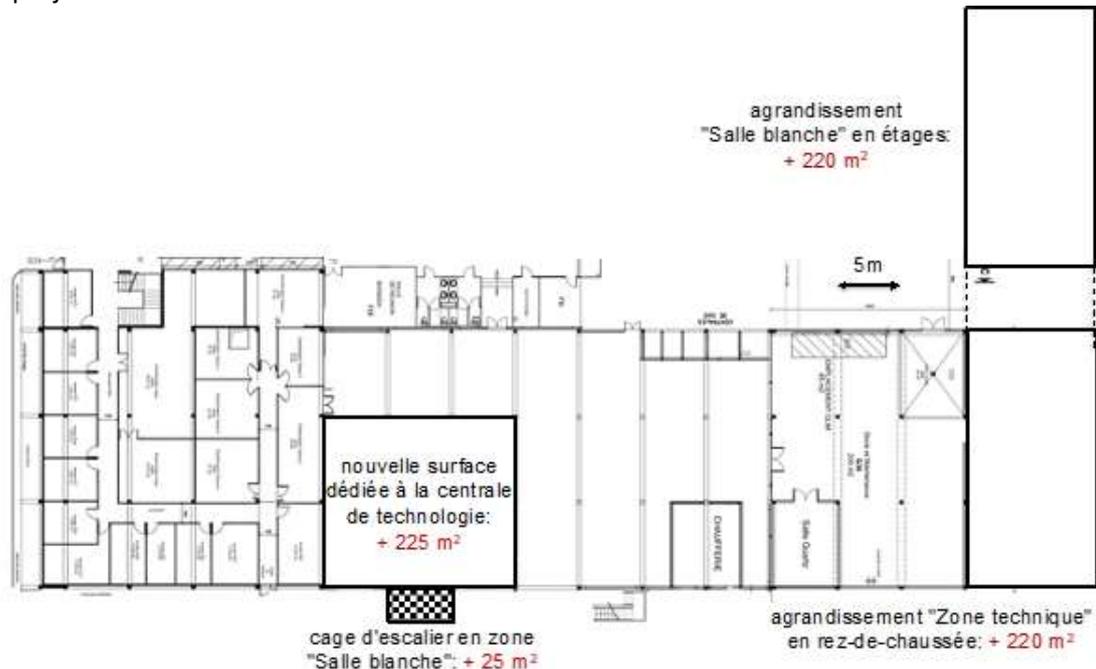


EXTENSION DE LA PLATEFORME

L'ambition du projet PLATINUM est d'augmenter la capacité des plateformes techniques expérimentales du LAAS-CNRS de près de 1200 mètres carrés, ceci en vue de l'amplification de l'ouverture aux académiques et aux industriels, de la mise en place de recherche transdisciplinaires et finalement du développement de l'innovation. L'investissement total du projet PLATINUM est ainsi estimé à 8,77 M€, avec une planification en deux phases:

Projet PLATINUM, 1e phase (période: 2024-2025, budget: 2,62 M€): aménagement du rez-de-chaussée et agrandissement du bâtiment G dédié à la centrale de technologie du LAAS, pour la création de 470 mètres carrés de surfaces de salle blanche supplémentaires

Projet PLATINUM, 2e phase (à partir de 2026, budget: 6,15 M€): remaniement du bâtiment D (850 m² d'emprise au sol) avec construction de deux étages partiels, pour la création de 690 mètres carrés de surfaces dédiées à la plateforme de caractérisation, ainsi que de 150 mètres carrés d'espaces dédiés à des projets de recherche industriels.



Projet d'extension de la centrale de micro/nanotechnologies au sein des bâtiments F et G

PROSPECTIVE EQUIPEMENTS PRIORITAIRES A MOYEN ET LONG TERME

Le réseau Renatech est né au début des années 2000 de la volonté de disposer de plateformes de microtechnologies françaises au meilleur niveau international. Des investissements massifs ont été fait par l'état, qui ont apporté plus de 25 M€ en investissement au laboratoire depuis 2003. Cette volonté est à ce jour toujours présente au niveau de l'état comme en attestent l'Equipex Nanofutur, le PEPR électronique, la part IR du budget FEI, la poursuite des conventions financières ANR RTB ; la recherche d'une labellisation européenne et donc des financements associés à travers l'initiative Euronanolab. Cette volonté semble aussi s'amplifier au niveau Régional ; comme en attestent les PRRI (Thermie, Multifab), le soutien au projet d'extension de la salle blanche (projet PLATINUM).

Le défi est de maintenir l'offre technique au meilleur niveau. Pour cela nous devons considérer deux aspects en parallèle. La jouvence (incluant des améliorations) des techniques indispensables à une majorité de filières ou à des filières spécifiques. La mise en service de nouvelles techniques qui ouvrent de nouvelles filières.

Le service alimente une veille technique constante en se basant sur sa connaissance transverse des besoins, et sur ses compétences propres. Il anime la réflexion collective avec les chercheurs pour tenir à jour la prospective du laboratoire tenant compte des aspects jouvence et prospective.

Il est impératif de mettre cette prospective à jour annuellement afin de tenir compte des évolutions scientifiques et techniques, de pouvoir dérouler un plan d'investissement pluriannuel sur les financements ANR RTB, de réagir immédiatement lors de sollicitations pour des plans d'investissements massifs qui lorsqu'ils se mettent en place le sont dans des délais de plus en plus

courts. L'alimentation annuelle de la prospective du laboratoire s'appuie sur un mécanisme qui semble efficace. Une amélioration sera d'identifier dans la liste de ces investissements ceux qui pourraient correspondre le mieux à tel ou tel domaine scientifique. Cela permettra d'aller chercher ou de répondre à des financements sur des domaines spécifiques.

Le service TEAM a consolidé sa prospective. Il va la partager avec les chercheurs du laboratoire. Recueillir leurs demandes. La concertation sous l'égide de la Direction sera renouvelée pour présenter en cours d'année une mise à jour de la prospective collective présentée ci-dessous.

	Equipement	Utilisation	Clé 2022	Remarques
PRIORITES ISSUES DE LA PROSPECTIVE 2022	Masqueur électronique	Masqueur électronique pour Grand Sud-Ouest de la France	1	En cours d'acquisition
	MEB HR + EDX XTREM	MEB haute résolution avec analyse basse tension	2	PEPR électronique
	Gravure plasma	Gravure à haut rapport de forme, faible rugosité des flancs et gravure chlorée	3	
	Système de traitement de gaz après procédés	Système d'abattement de gaz des gravures profondes (gaz halogénés)	3	A compléter par PEPR électronique ou ressources propres
	Dispense et développement automatisé de résines	Les systèmes de dispense et de développement automatiques de résines permettent une meilleure résolution ainsi qu'une meilleure reproductibilité des opérations de lithographie.	4	
	Lithographie laser d'écriture directe	Fabrication des masques et réticules de lithographie par lithographie directe LED, écriture maskless	5	
	Adaptation d'infrastructure	Création d'un espace pour héberger les équipements sensibles aux vibrations et ainsi dégager les espaces actuellement occupés pour héberger de nouveaux et équipements et des équipements d'entreprises innovantes	6	Espéré FEDER Région Occitanie
	Boîte à gant MBE 412	Conditionnement sous-vide d'échantillons avant transfert	7	Espéré PEPR Spin
	Tube phosphore sur les fours Centrotherm	Passage d'un tube en quartz à un tube en SiC pour atteindre des températures de recuit de 1150 °C	7	
	CVD Diélectriques HighK	Dépôt faible épaisseur matériaux HighK/changement de phase (TMD) (VO ₂ - TiO ₂ - Nb ₂ O ₅ ...) sans plasma. Matériaux 2D (dichalcogénures : VS ₂ - MoS ₂ - MoSe ₂) pour électronique/photonique quantique	7	
	Evaporation par canon à électrons	Dépôts métalliques par pulvérisation cathodique (matériaux énergétiques)	7	
	Option BSA sur MA6 GEN4	Alignement face arrière en photolithographie	8	
	AFM fastscan	Augmentation de la vitesse d'acquisition de l'AFM Icon	8	
Ellipsomètre multi longueur d'onde	Caractérisation in situ fine des matériaux lors des croissances épitaxiales	8		

	Implantation par immersion plasma	Implantations à très faible énergie et fortes doses	8	
	Micro nano dépôt	Dépôt de gouttes du nano au micro litre avec une viscosité jusqu'à 8 000 mPa.s.	8	
	PECVD	Dépôts PECVD en mode ECR ,CCP ou ECR+RF	8	
	Soudure filaire automatique	Fiabilisation, répétabilité des soudures	8	
	Amincissement polissage Si et verre	Amincissement et polissage optique du Si , et du verre	9	
	AUGER sur MBE 412	Auger sur MBE	9	Espéré PEPR Spin
	Spray solvants pour lift-off	Meilleure efficacité et répétabilité du procédé, gain de temps, et amélioration de la sécurité des opérateurs	9	
	Recuit photonique in-situ sur Ceradrop	Le recuit photonique in-situ permet de traiter une couche métallique déposée par jet d'encre ou spray sur des substrats sensibles à la température tels que le papier ou le PET. Cet outil peut être intégré dans la machine jet d'encre existante.	9	
	Cellule Arsenic	Nouvelle cellule As de 2000cc	10	
	Traitement par acide fluorhydrique en système clos	Traitement des plaquettes par HF ou des solutions à base de HF dans un système clos et totalement sécurisé pour l'opérateur	10	
	Photo répéteur 5X	Stepper de lithographie UV par projection	11	
2023 IDENTIFIÉES PAR TEAM	Lamination	Jouvence roll ou lamination sous vide ?		
	Scie diamantée	Jouvence découpe		
	ALD	Jouvence pour technologie MOS		
	ALD DLI/CVD DLI	Oxydes métalliques ; des matériaux à transition de phase ; des nitrures métalliques		
	Fours recuits	Retrofit recuits métaux		
	Hottes de chimie	Zone MEMS		
	Plasma atmosphérique	Fonctionnalisation de surface avant jet d'encre, ou montage, ou avant dépôt électrolytique à haut rapport de forme.		
	Traitement plasma	Activation de surface et stripping de la SU 8		
	Nano dépôt	HUMINK qui utilise des bio plumes sur piézo.		
	Nano impression	Evolution des techniques et de l'utilisation de nouveaux polymères pour les moules intermédiaires réticulés aux UV à température ambiante.		
	Tension de surface	Jouvence Digidrop		

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
Cours TEAM	Procédés d'assemblage	2h	0	0	0
Formation pratique	Procédés de wire bonding	4h	1	4	1
	Procédé de lamination	0,5h	9	4.5	9
	Procédé de Pick&Place	0,5h	2	1	2
	Procédé de wafer Bonding	3h	0	0	0
	Procédé de flip chip	4h	0	0	0
	Polissage	1h	0	0	0
	Découpe Graphtec	1h	7	7	7
	Impression 3D	1h	0	0	0
	Découpe scie	21h	0	0	0
	Caractérisation mécanique	4h	0	0	0
TOTAUX			19	16.5	19

Le nombre de formation est en chute libre par rapport à l'année précédente (46h) sauf pour les activités de lamination et de découpe avec la Graphtec qui restent constantes.

En 2022, aucun cours sur l'assemblage n'a eu lieu faute d'inscription !

Caractérisation

Type	Intitulé	Durée (h)	Nombre de sessions/an	Durée totale/an(h)	Nombre total de participants /an
Cours TEAM	Introduction à la caractérisation	2h	1	1.5	4
	Cours sur le MEB (Anglais)	2	1	2	4
Formation pratique	FIB (MEB ou FIB)	3h	8	23	5
	MEB	3h	16	42	17
	AFM	3h	20	37	8
	Spectromètres	1h	4	3.5	8
	DSC + TGA	2h	0	0	0
	Formation caractérisation pratique	1h30	11	16.5	42
TOTAUX			61	125.5	88

Nous remarquons une baisse importante du nombre de nouveaux entrants (1/4 en moins) et peu de participants aux cours TEAM même s'ils concernent beaucoup de monde. Nous travaillons à réaliser les cours en vidéo pour que tous y aient accès au besoin, mais ce ne sera pas pour le premier semestre.

Chimie

Type	Intitulé	Durée (h)	Nombre de sessions /an	Durée totale/ an (h)	Nombre total de participants /an
Formation pratique	Prévention du risque chimique en salle blanche : aspects pratiques et risques locaux	2	11	22	27
	Fonctionnement et utilisation de la zone chimie	2	10	20	24
TOTAUX			21	42	52

La formation sur les aspects pratiques et risques locaux complète les formations en ligne du CNRS (NEO, 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 individuelle (EPI) et collectifs, 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.

Cette année 2022, aucun utilisateur ne s'est inscrit sur le cours TEAM concernant la formation complémentaire sur la prévention du risque chimique.

CVD

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

La version e-learning du cours technologique CVD et ALD est disponible (<https://team-elearning-courses.laas.fr/en/node/60>).

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	0	0	0
Formation pratique	Technique de PVD	1h30	6	9h	3
TOTAUX			6	9h	3

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

Dépôts électrolytiques

En fin d'année nous avons formé deux personnes qui réalisent beaucoup de dépôt électrolytique afin de libérer du temps au personnel de la zone pour gérer la zone en prévision du départ de Justine Bonneau en janvier 2023. C'est une première expérimentation pour pallier au manque de personnel

et qui n'est non sans risque pour le suivi des bains. Nous évaluerons cette solution en cours d'année pour la reconduire ou non.

Type	Intitulé	Durée (h)	Nombre de sessions/an	Durée totale/an(h)	Nombre total de participants /an
Cours TEAM	Cours dépôts électrolytiques	2	1	2	10
Formation pratique	Formation aux dépôts Ni	4	1	4	1
	Formation aux dépôts Cu	4	1	4	1
	Formation Utilisation KOH - TMAH	4	1	4	1
TOTAUX		14		14	13

Epitaxie par jets moléculaires

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

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
Cours TEAM	Gravure par plasma	2h	1	2	10
Formation pratique	Plasma O2	0.5h	18	9	50
	Réacteurs RIE-ICP	3x1h	10	30	10
TOTAUX			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
Cours TEAM	Cours jet d'encre et traitement de surface	2	1	2	0
Formation CNRS	Fabrication additive – dépôt par jet d'encre	24	1	24	4
	Viscosimètre	1	0	0	0

Formation pratique	Sécheur Tousimis	2	5	10	5
	SPD	0.5	10	5	10
	SFD	3	0	0	0
TOTAUX			17	41	19

La formation CNRS entreprise a eu lieu pour la première fois en 2022 avec 4 personnes de l'enseignement supérieur et de la recherche. Tous les retours ont été très positifs, nous étudions la pertinence de scinder la formation en deux avec un niveau découverte et un niveau avancé.

Lithographie Laser

Type	Intitulé	Durée (h)	Nombre de sessions/an	Durée totale/an(h)	Nombre total de participants /an
Cours TEAM	Règles et outils pour la fabrication des masques optiques	1	1	1	0
	Lithographie laser	1.5	1	1.5	2
Formation CNRS	Impression 3D laser	6	1	6	5
Formation pratique	Logiciel CleWin5	1.5	15	22	15
	Dilase 750 et 3D	3	2	6	2
	DWL 200	2	2	4	2
	PP Nanoscribe	3	8	24	8
TOTAUX			30	64.5	34

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
Cours TEAM	Lithographie électronique	2	2	4	2
	Nano-impression	2	1	2	9
Formation pratique	Lithographie électronique	40	2	80	2
	Nano-impression	1	5	5	5
TOTAUX			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
Cours TEAM	Cours théorique enregistré et mis en ligne	2h	1	2	10
Formation pratique	Formation nouveaux utilisateurs	2h	11	22	28
	Formation équipements et procédés	1h	30	30	30
TOTAUX			42	54	68

Baisse du nombre de nouveaux entrants en photolithographie : 28 en 2022 contre 46 en 2021, soit -39%. Cette baisse s'observe aussi sur le nombre total de nouveaux entrants, il y en avait 41 en 2022, contre 62 en 2021, soit -34%.

Pour la formation des nouveaux entrants, 4 modules vidéo 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	1h	1	1	9
Formation pratique	Fours de recuit métaux	0,5h	3	1,5	3
	Fours RTP	0,5h	2	1	2
TOTAUX		4h	7	4,5	20

Le nombre de formations sur les équipements est équivalent à celui 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 2022

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 « utilisateurs salle blanche » 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 2022, le nombre de nouveaux utilisateurs a diminué de 25% par rapport à 2021. 43 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 2022, 37 participants (52 en 2021) 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 396 heures en 2022.

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 termes de natures des matériaux et types d'équipements et les domaines d'applications ciblés par le développement de projets soutenus par la plateforme.

En 2022, les « cours TEAM » ont été suivis en présentiel par 18 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. En 2022, la faible participation des nouveaux utilisateurs de la plateforme nous a conduit à annuler 8 présentations.

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 microfluidiques.

CV LIMS

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 2023 les « cours TEAM » seront proposés en présentiel au mois de juin. Les coordinateurs techniques de projet et les responsables de zones vont identifier les personnels utilisant les moyens en lien avec « les cours TEAM » pour les inciter à les suivre et échanger sur leurs besoins.

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 22 au 23 juin 2023, CNRS formation entreprise organise au LAAS la formation « Impression 3D laser: applications pour la conception de microsystèmes et puces microfluidiques ». 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
Cours "théoriques"	13	21.5	72
Formations pratiques	242	521	343
TOTAUX	255	542.5	415

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 avons cessé 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). Les 2 formations soutenues par CNRS formation entreprises seront à nouveau dispensées en 2023.

SECURITE

La cellule sécurité

Relevé des actions conduites

Principales actions en cours

Principales actions envisagées

Synthèse

CELLULE PRÉVENTION ET SÉCURITÉ

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

La baisse de motivation autour des problèmes de prévention et de sécurité enregistrée en 2021 semble avoir été stoppée par la mise en place d'une nouvelle organisation.

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 2022. L'ensemble des colonnes n'étant pas affiché par soucis de clarté, vous pouvez consulter le document unique pour les détails.

Inventaire des risques				Propositions d'actions					Bâtiment	
Unité	P	Ref.	Facteur de risques	Modalités d'exposition	Cot.	R	A	V	D	
UPR8001 - LAAS	3	R164/2022	Incendie	dégradation des conduites chimiques présentent au plafond et manifestation de fumée à l'étage supérieur lors d'un incendie.	27.80	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Bâtiment F
UPR8001 - LAAS	2	R163/2022	Incendie	evacuation lors d'un incendie	61.80	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	LAAS
UPR8001 - LAAS	3	R161/2022	Incendie	incendie lié à la présence de produits chimiques dans la zone photolithographie, la zone chimie exploratoire, une partie de la zone électrochimie et dans le sas d'introduction des équipements	20.100	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Bâtiment F

Les principales actions concernent le risque incendie et sont réalisées conjointement avec le service "Logistique et infrastructures" lorsque nécessaire.

Actions hors EVRP (non exhaustif) :

Dans l'EVRP, ne sont plus enregistrées que les déclarations structurantes/importantes éligibles à un financement par l'INSIS. Cependant, une nouvelle organisation a été mise en place avec la nomination d'une personne d'expérience dédiée au suivi de la salle blanche ainsi qu'à la coordination des travaux qui y sont liés avec les entreprises extérieures : maintenance, travaux/aménagement, installation des équipements (y compris la sécurité), ...

- Un personnel permanent ayant un handicap auditif a été équipée d'un téléavertisseur relié à la centrale de détection incendie afin qu'il soit prévenu en cas d'alarme.
- Protocole sécurité chargement /déchargement : les documents facilitateurs ont été élaborés et mis en place par le service "Magasin"

PRINCIPALES ACTIONS EN COURS

Diminution du risque incendie sous la salle blanche :

Suite à une visite des pompiers, il a été noté une accumulation de matériaux inflammables stockés sous la salle blanche (emballages bois/cartons, consommables salle blanche, ...) : ils seront, à terme, démantés dans des locaux extérieurs dédiés ou réduits au strict minimum.

Mise à jour des détecteurs incendie :

Il n'y a aucun détecteur incendie en photolithographie, chimie exploratoire, une partie de l'électrochimie et dans le sas machine où sont stockés quelques produits chimiques dédiés au nettoyage, peu dangereux mais inflammables. Une mise à jour est prévue avec le service "Logistique et infrastructures pour l'installation de détecteurs.

Procédure d'inventaire des réfrigérateurs et congélateurs

La procédure a été rédigée et prétestée par la cellule "prévention & sécurité". Un test interne au service est planifié afin de valider/amender celle-ci avant de la généraliser en l'intégrant dans une heure soleil plus ou moins spécifique : annuelle ou semestrielle ...

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

PRINCIPALES ACTIONS ENVISAGEES

Lunettes de sécurité adaptée à la vue des usagers permanents

Jusqu'à présent, pour la manipulation de produits chimiques, les porteurs de lunettes avaient à leur disposition des sur-lunettes (inadaptées pour certaines montures), des écrans et des masques de protection (efficaces mais assez lourds et pouvant créer un isolement sonore).

À l'initiative de Mr Ferri-Angulo, des lunettes de protection adaptées à la vue et compatibles avec le risque chimique ont été proposées aux personnels permanents afin de les protéger plus efficacement ainsi que leurs lunettes personnelles.

Séparation des produits chimiques usagés et neufs

Un local a été récupéré et quelques éléments de sécurité restent à installer : ventilation, éclairage ATEX, ...

Rangement des couloirs techniques :

Les couloirs techniques côté sud-est sont difficilement praticables et les pompiers ne peuvent clairement pas circuler quand ils sont équipés. En cas d'évacuation il y a potentiellement un risque d'engorgement.

La solution à moyen terme consistera à agrandir la salle blanche (partie du projet PLATINUM) qui permettra de déplacer les équipements concernés et de les réinstaller dans de meilleures conditions.

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 ...

Étude de poste de travail :

Dans le cadre de l'amélioration continue, nous allons étudier l'adaptation de certains postes de travail au nettoyage de grosses pièces mécaniques afin de protéger le plus possible les personnels concernés. Dans le cas où cette solution ne serait pas efficace, l'externalisation est une possibilité quand elle existe.

SYNTHÈSE

La réorganisation du service avec la nomination d'une personne d'expérience dédiée au suivi de la salle blanche ainsi qu'à la coordination des travaux avec les entreprises extérieures sera bénéfique à la prévention et à la sécurité en salle blanche Ceci aura pour conséquence l'évolution de l'organisation de la cellule pour une amélioration continue de la prévention et de la sécurité de tous les usagers ainsi que de la protection de notre outil de travail.

BUDGET

Éléments de contexte

Dépenses 2022

Prévisionnel dépenses 2023

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
- 101307 Epicentre : les dépenses liées au LabCom Epicentre

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 2022

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

La répartition des dépenses a été la suivante

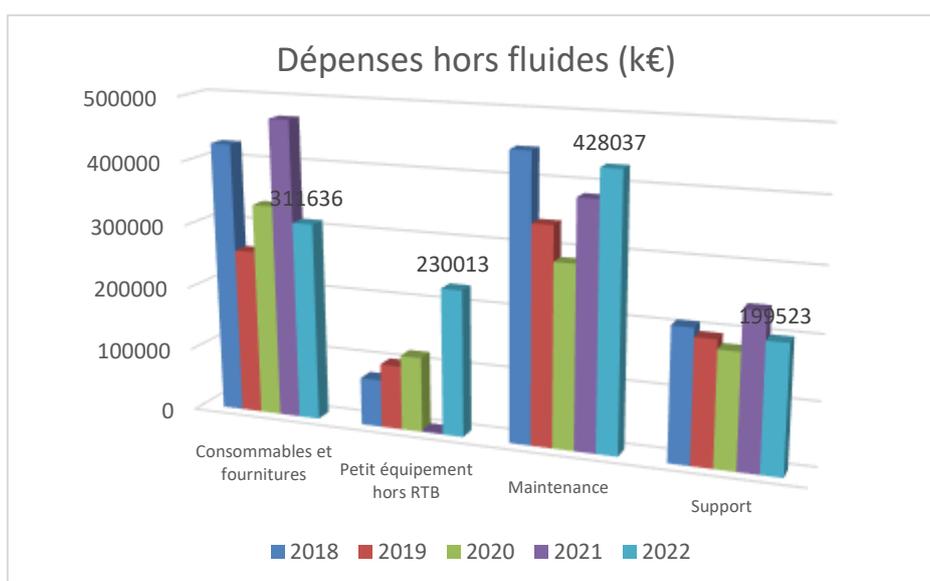


Classiquement les deux postes les plus importants concernent les consommables et la maintenance. Il convient de continuer à souligner la maîtrise de nos frais de maintenance. Même si le chiffre intrinsèque est très important il ne représente toujours qu'un peu plus de 1% de la valeur totale du parc d'équipements.

Evolution pluriannuelle (hors équipement)

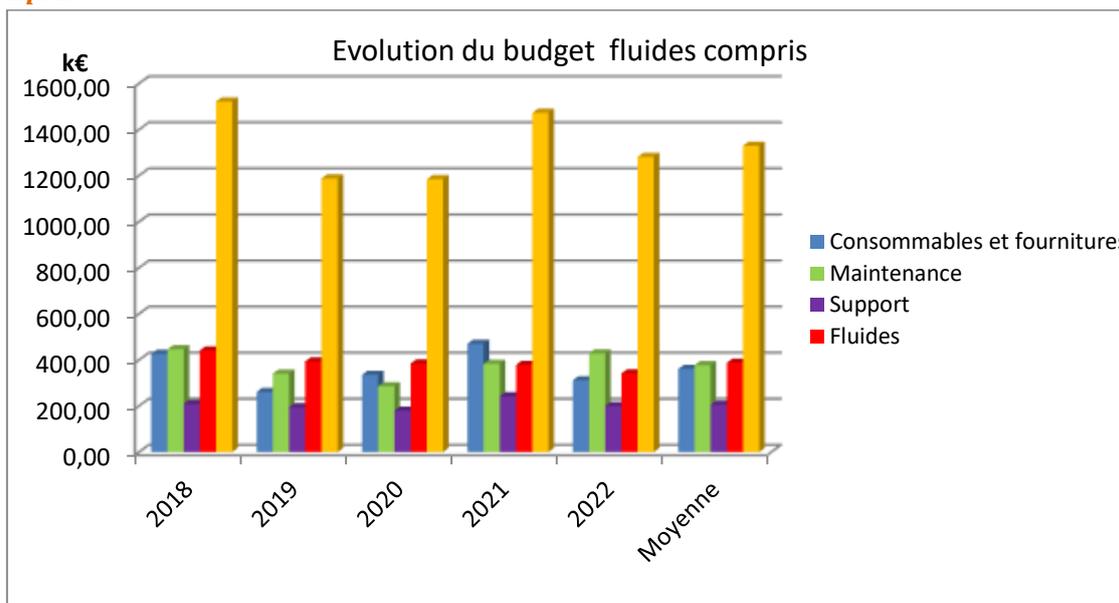
Hors fluides

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



- Les consommables sont revenus à un niveau habituel puisque la hausse en 2021 s'expliquait principalement par la partie livraison de l'opération spéciale de rénovation des dalles sous les tankers d'azote
- La hausse très importante des investissements en équipements hors-RTB s'explique par des opportunités apparus en cours d'année (Cf. le chapitre sur les équipements).
- La maintenance poursuit sa hausse de façon inquiétante. Sous l'effet combiné du vieillissement de notre parc, de l'augmentation du nombre d'équipements, mais aussi de la croissance très importante des coûts imposés par les prestataires.
- Enfin le support retrouve un niveau habituel ; là aussi car l'opération spéciale sur les tankers d'azote est absorbée

Fluides compris



Le budget exécuté (fluides compris) est en baisse. Sans doute pour partie en corrélation avec la baisse d'activité en salle blanche.

Le point q à suivre est la distance à la moyenne. Nous voyons que 2022 est sous cette moyenne. C'est donc une année de relative maîtrise budgétaire. Il faut poursuivre dans cette voie pour maîtriser nos coûts.

L'arrivée des nouveaux équipements liés à Nanofutur et au PEPR électronique auront toutefois un effet certain, à la hausse, dans les années à venir. Du fait par exemple des contrats de maintenance pour le MEB HR et le masqueur électronique.

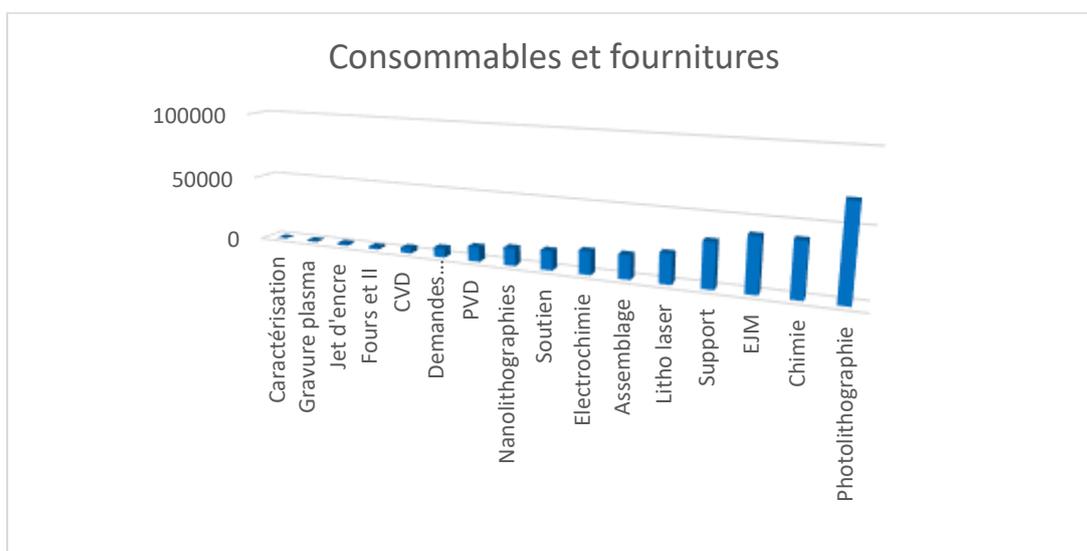
Enfin il faut noter la maîtrise des coûts des fluides (électricité/gaz) malgré la forte hausse des tarifs. Elle a été rendue possible par la concomitance de l'intervention du CNRS dans le paiement des factures, et des fruits des travaux d'optimisation énergétique conduits depuis 2018.

Dépenses tous budgets confondus (hors RTB et hors fluide)

Consommables et fournitures

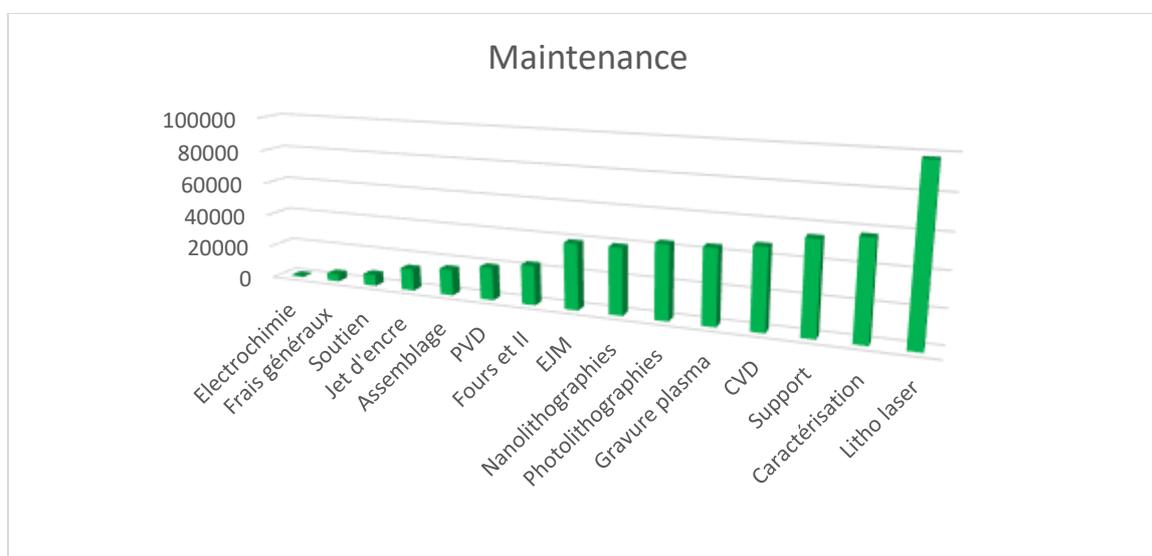
Les postes les plus élevés s'expliquent notamment par les raisons suivantes

- Photolithographie
 - Résines et développeurs
 - Substrats
- Chimie :
 - Produits chimiques pour l'ensemble de la salle blanche
- EJM :
 - Achat des substrats III-V
 - Consommation d'azote liquide



Maintenance

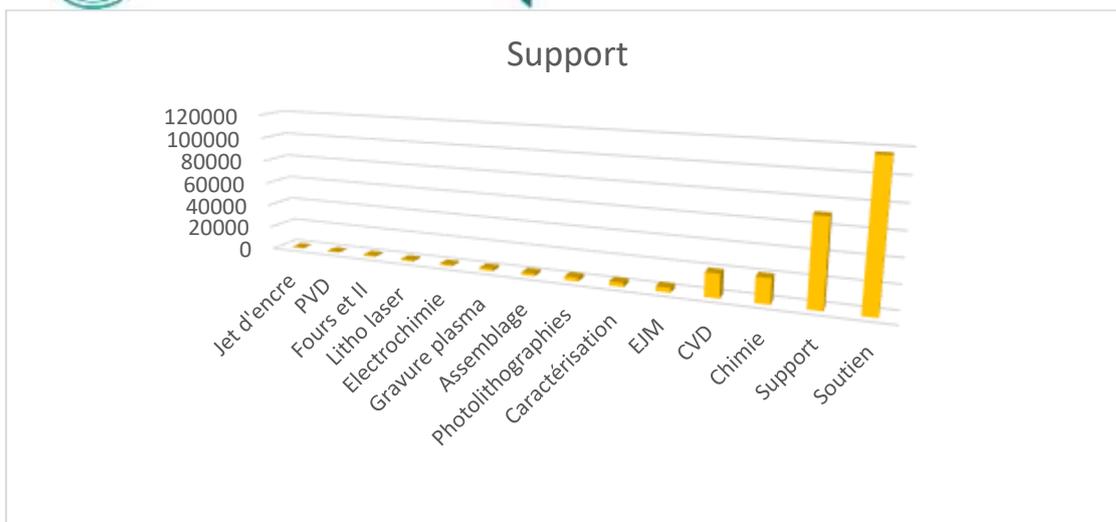
- Un point particulièrement notable concerne la lithographie laser où plus de 90 k€ ont été nécessaires à la maintenance. Tous les gros équipements ont connu des pannes ou des remises à niveau. L'accumulation cette année est en partie la conséquence de notre stratégie de privilégier les interventions plutôt que les préventives systématiques. Si cela paraît inopportun cette année, une analyse pluriannuelle confirme que c'est néanmoins une stratégie efficace. Elle est rendue possible par le "fond de roulement" généré par la facturation certifiée qui nous assure de disposer de fonds suffisants en fin d'année en cas de grosse panne.
- Les autres postes les plus élevés sont ceux pour lesquels nous avons des contrats de maintenance.



Support

Les postes les plus élevés sont sans surprise liées aux

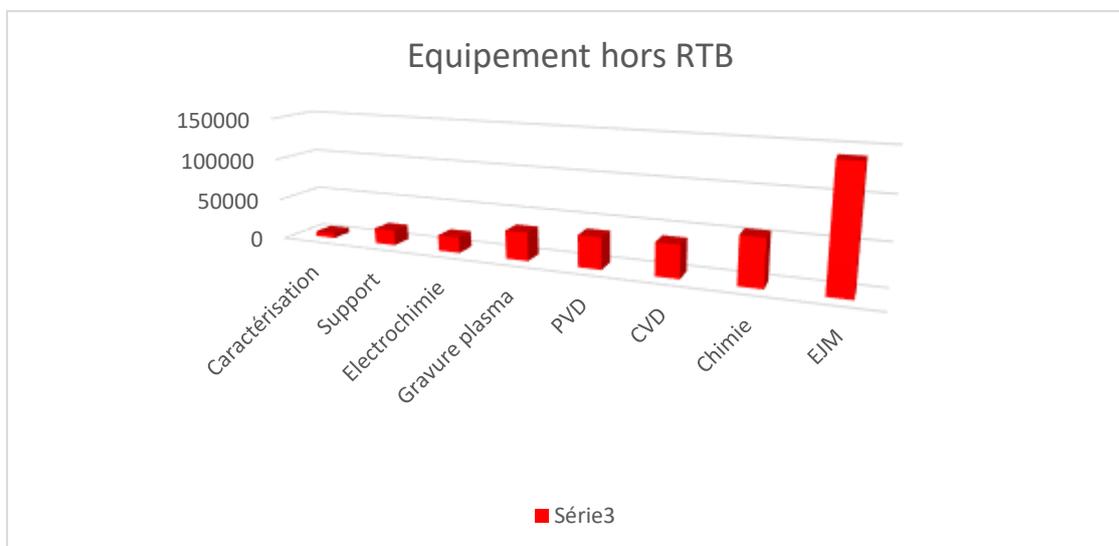
- Contrat de ménage et tenues de la salle blanche (près de 82 k€/an)
- La consommation d'azote gazeux pour tout le laboratoire (30 k€/an)



Petits équipements (Hors RTB)

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

- L'installation d'un séparateur de phase pour le bâti EJM (124 k€) et d'un RHEED (28 k€) dans le cadre du laboratoire commun Epicentre
- Les équipements pour la synthèse et la formulation chimique dans le cadre de la montée en compétence du laboratoire sur ces aspects
- Les opportunités en zones CVD et PVD présentées dans le chapitre sur les équipements.



PREVISIONNEL DEPENSES 2023

Demande FEI 2023

Il s'agit ici de la demande formulée en septembre 2022

Hors fluides les divers postes sont reportés dans la tableau suivant

Référentiel budgétaire (unité €)	Prévisionnel 2023	Eligibles à la justification sur contrats	Demande FEI
A1 - FOURNITURES ET CONSOMMABLES DE BUREAU	1 000	0	1 000

A2 - MOBILIER ET MATERIEL DE BUREAU	0	0	0
A3 : FLUIDES	558 500	0	558 500
A4-AUTRE DEPENSES	10 000	0	10 000
B2 : CONSOMMABLES DE LABORATOIRE, PETITS MATERIELS et EQUIPEMENTS DE PAILLASSE	70 600	70600	0
B3 GAZ ET PRODUITS POUR LE PROCESS	319 700	319700	0
B4 :GROS EQUIPEMENTS DE LABORATOIRE	45 839	0	45 839
B5 GROSSE INSTRUMENTATION SCIENTIFIQUE	75 599	0	75 599
B6 : OPTIQUE	0	0	0
B7 : ELECTRONIQUE / MESURES ELECTRIQUES	298 497	0	298 497
B8 : PHYSIQUE- MESURE PHYSIQUE-MECANIQUE	62 900	0	62 900
B12 : HYGIENE ET SECURITE	147 933	0	147 933
C1 : MISSIONS DEPLACEMENTS	19 000	0	19 000
D2 : ABONNEMENT CONSOMMABLES [LOGICIEL ET MATERIEL)	12 929	0	12 929
D3 : ACHATS [LOGICIEL ET MATERIEL)	0	0	0
E3 : CONSTRUCTION ET MAINTENANCE RELEVANT DU PROPRIETAIRE	101 241	0	101 241
	1 723 739	390 300	1 332 439

Ce budget reste dans la ligne des années précédentes. Les incertitudes concernant le coût de l'énergie n'est pas pris en compte, en présupposant que le CNRS interviendra comme il l'a fait en 2021.

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 : 23/03/2023

AE = Engagements juridiques	Réal				BI	Programmation	
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
DEPENSES liées à la TGIR							
<i>Fonctionnement</i>	1,263	0,980	1,512	1,296	2,079	2,183	2,292
<i>Dont volet énergétique</i>	-	-	0,448	0,432	0,758	0,790	0,824
<i>Électricité</i>			0,362	0,325	0,651	0,683	0,718
<i>Hélium</i>							
<i>Combustibles</i>			0,016	0,017	0,017	0,017	0,017

	Autres fluides			0,070	0,090	0,090	0,090	0,090
Investissement		0,355	0,675	2,355	1,526	4,146	0,656	0,328
Personnel		2,354	2,520	2,327	2,693	2,725	2,684	2,651
	Personnel non permanent	0,054	0,103	0,070	0,185	0,216	0,268	0,236
	Personnel permanent	2,300	2,417	2,257	2,508	2,508	2,416	2,416
TOTAL DEPENSES		3,972	4,176	6,194	5,516	8,949	5,522	5,271

		Réal				BI	Programmation			
		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025		
BUDGET CNRS	Budget CNRS Ligne TGIR	Fonctionnement	AE = Engagements juridiques							
			Fonctionnement récurrent	0,714	0,677	0,705	0,751	0,940	0,940	0,940
			Petits équipements	0,101	0,118	-	-	-	-	-
		Total Fonctionnement	0,815	0,795	0,705	0,751	0,940	0,940	0,940	
	Investissement	Projets en cours de réalisation				-	-	-	-	
		Nouveaux projets			0,095	0,069	-	-	-	
		Total Investissement	-	-	0,095	0,069	-	-	-	
	TOTAL DOTATION TGIR Action 13 [A]		0,815	0,795	0,800	0,820	0,940	0,940	0,940	
	Budget CNRS Autres lignes	CPER				-	-	-	-	
		Dotation complémentaire Institut				-	-	-	-	
		Investissements d'avenir	0,067		0,719	-	-	-	-	
		Opérations Immobilières	0,160		1,337	-	-	-	-	
		CDD CNRS				0,051	0,063	0,077	0,044	
Liste complémentaire*					-	-	-	-		
FEI autre que ligne TGIR (LAAS et C2N)			0,272	0,022	-	-	-	-		
CDD (C2N)					-	-	-	-		
Autres [RP C2N]					-	-	-	-		
FEI IEMN					-	-	-	-		
RPB IEMN					-	-	-	-		
RPB LAAS				0,434	0,454	0,522	0,620	0,692		
Autres [préciser]				-	-	-	-			
TOTAL autres lignes [B]		0,227	0,272	2,511	0,505	0,585	0,697	0,736		
Budget CNRS Personnel permanent	ETPT**	28,400	29,900	27,710	30,780	30,780	29,540	29,540		
	Coût personnel permanent [C]**	2,123	2,230	2,070	2,299	2,299	2,207	2,207		
TOTAL CNRS [I =A+B+C]		3,165	3,297	5,381	3,624	3,824	3,843	3,883		

* Si le CNRS coordonne le projet

		Réal				BI	Programmation		
		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	
AUTRES RESSOURCES	Contribution d'autres organismes	ANR-RTB	0,328	0,328	0,328	0,328	0,328	0,328	0,328
		EQUIPEX+ESR				1,000	0,490	-	-
		PEPR ELECTRONIQUE				-	3,656	-	-
		CEA				-	-	-	-
		CNFM PMIPS				-	-	-	-
		CPER ETAT				-	-	-	-
		IPVF				-	-	-	-
		[Préciser]				-	-	-	-
		[Préciser]				-	-	-	-
		[Préciser]				-	-	-	-
	Contribution des universités	CDD Universités	0,054	0,103	0,070	-	-	-	-
		UFC				-	-	-	-
		Université Fédérale de Toulouse (fonctionnement)	0,072	0,038	0,105	0,019	-	-	-
		UGA				-	-	-	-
		Université Paris-Saclay (MRM)				-	-	-	-
		Université Paris-Saclay				-	-	-	-
		Lille 1 fonctionnement				-	-	-	-
		[Préciser]				-	-	-	-
	Collectivités territoriales	Régions (au titre du CPER)				-	-	-	-
		Régions (autres financements)				0,032	-	-	-
		Région Midi-Pyrénées			0,029	-	-	-	-
		CPER CIA - Equipement (IEMN)				-	-	-	-
		CPER - Fonctionnement / salaires (FEMTO)				-	-	-	-
		SESAME IdF				-	-	-	-
		DIM Ile de France				-	-	-	-
		[Préciser]				-	-	-	-
		[Préciser]				-	-	-	-
		[Préciser]				-	-	-	-
	Contrats	ANR			0,035	0,230	-	-	-
		Investissements d'avenir**				-	-	-	-
Industriels					-	-	-	-	
Contrats nationaux					-	-	-	-	
Contrats divers					-	-	-	-	
Facturation interne sur divers contrats		0,201	0,287	0,219	0,252	0,240	0,250	0,240	

	<i>[Préciser]</i>				-	-	-	-
Prestations / Services facturés	<i>Laboratoires académiques</i>	0,029	0,037	0,032	0,057	0,039	0,041	0,042
	<i>Industriels</i>	0,125	0,080	0,120	0,154	0,120	0,119	0,128
	<i>[Préciser]</i>				-	-	-	-
	<i>[Préciser]</i>				-	-	-	-
	<i>[Préciser]</i>				-	-	-	-
Financements européens	<i>Contrats européens</i>			0,020	-	-	-	-
	<i>FEDER</i>			0,029	-	-	-	-
	<i>[Préciser]</i>				-	-	-	-
	<i>[Préciser]</i>				-	-	-	-
Autres	<i>Entreprises privées Françaises</i>				-	-	-	-
	<i>Entreprises privées Etrangères</i>				-	-	-	-
	<i>Laboratoire commun EPICENTRE (LAAS/RIBER)</i>			0,043	0,036	0,038	0,038	0,038
	<i>[Préciser]</i>				-	-	-	-
Coût personnel Permanent (Hors CNRS)	<i>Lille 1</i>				-	-	-	-
	<i>UGA</i>				-	-	-	-
	<i>ENSMM</i>				-	-	-	-
	<i>UFC</i>				-	-	-	-
	<i>Université Fédérale de Toulouse</i>	0,177	0,187	0,187	0,209	0,209	0,209	0,209
	<i>Paris Saclay</i>				-	-	-	-
	<i>Paris Cité</i>				-	-	-	-
	<i>[Préciser]</i>				-	-	-	-
	<i>[Préciser]</i>				-	-	-	-
	<i>Total ETPT autres organismes (hors CNRS)</i>	2,370	2,510	2,500	2,800	2,800	2,800	2,800
TOTAL AUTRES RESSOURCES [II]		0,986	1,059	1,217	2,318	5,120	0,985	0,986

** Si le CNRS ne coordonne pas le projet

TOTAL RESSOURCES [I+II]	4,151	4,357	6,598	5,942	8,944	4,828	4,869
					0,180		
SOLDE ANNUEL	0,180	0,181	0,405	0,426	-	-	-
SOLDE Cumulé		0,181	0,585	1,012	1,006	0,312	-

Éléments de contexte pris en compte

Nous préfigurons un doublement du prix de l'électricité en 2023 puis une hausse selon une inflation de 5% en 2024 et 2025 (sur les tarifs 2023 que nous présupposons); et un x 1.5 sur le gaz en 2023 puis hausse selon une inflation à 5% en 2024 et 2025 (sur les tarifs 2023 que nous présupposons) .

A la date de complétion de ce document c'est plutôt *3.5 sur l'électricité ; nous faisons donc l'hypothèse que le CNRS va aider pour amortir une partie de ce x3.5 pour le ramener au moins à x2

En l'état actuel de la dotation 9TGI il est impossible de subir ces hausses de l'énergie sans créer un déficit. Nos ressources propres sont de plus en plus sollicitées pour pallier aux autres augmentations liées à l'inflation et à la nécessité d'embaucher des CDD du fait du manque de postes permanents, elles ne peuvent donc pas compenser les hausses de l'énergie.

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^{er} 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**).

Suite à la note DSFIM-SBOR-D-2022-6 du CNRS qui précise la typologie des clients et définit quatre tarifs nous avons sollicité la DR14 pour faire début 2024 une mise à jour sur les activités de 2023.

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 nano fabrication et la plateforme de caractérisation.

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 2022

Au titre de 2022 la facturation vers les équipes du laboratoire s'est montée à 589 000 €. Il s'agit 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 2022.

Ce montant est dans la ligne des années précédentes

Divers facteurs sont à prendre en compte, pour expliquer les 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 appliqués (montant des produits et nature du financement).

PARTENARIAT RENATECH

Objectif

Bilan des demandes

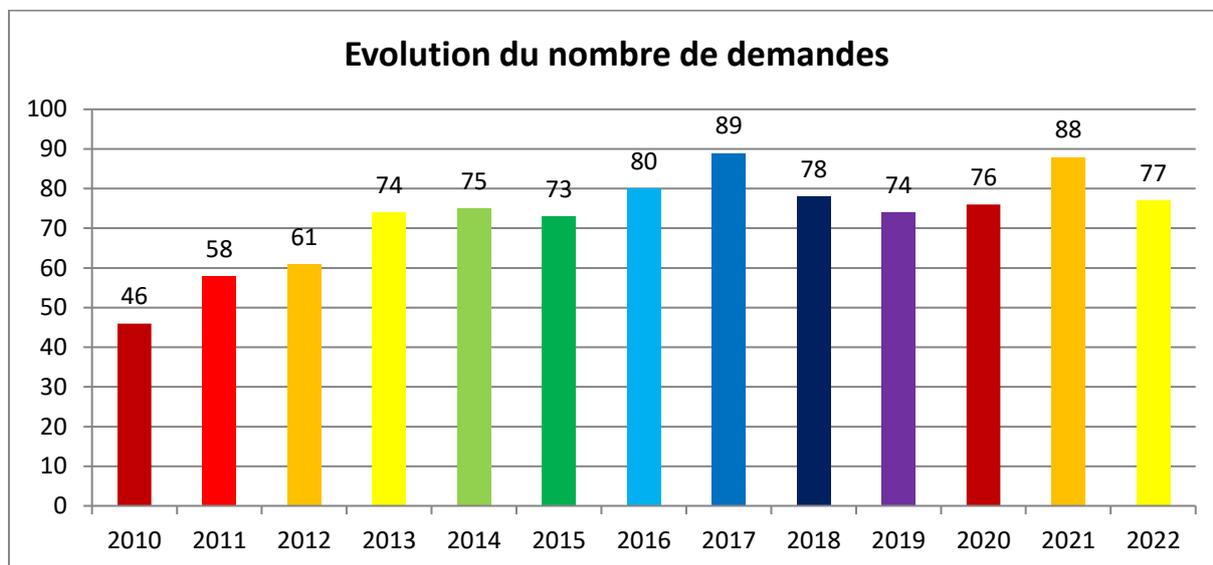
Actions initiées

Projets 2022

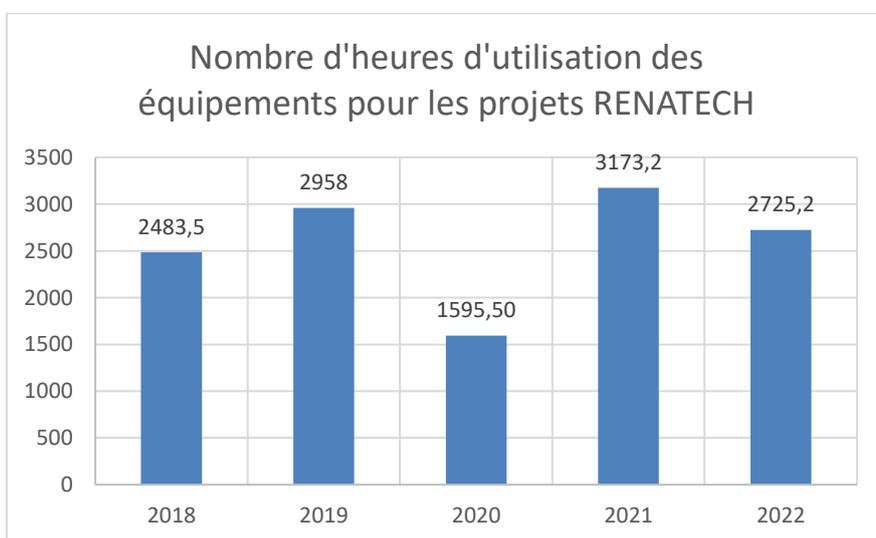
OBJECTIF

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

BILAN



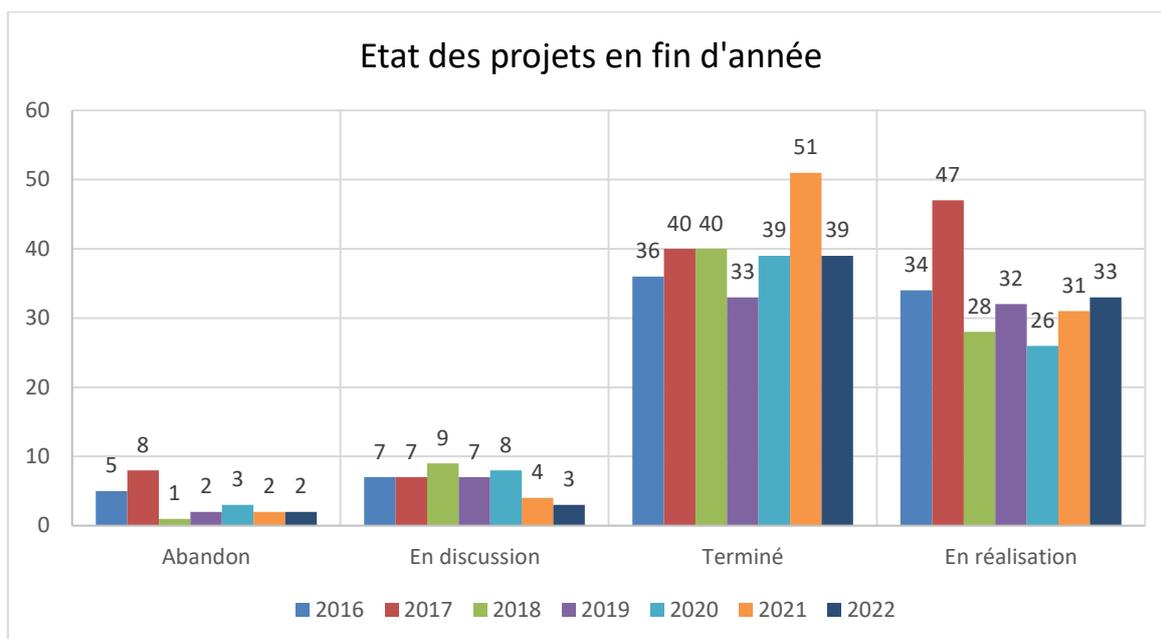
Le nombre total de projets est inférieur à l'an passé mais dans la moyenne des 10 dernières années. On retrouve cette baisse dans le nombre d'heures d'utilisation des équipements pour les projets exogènes



Traitement des demandes

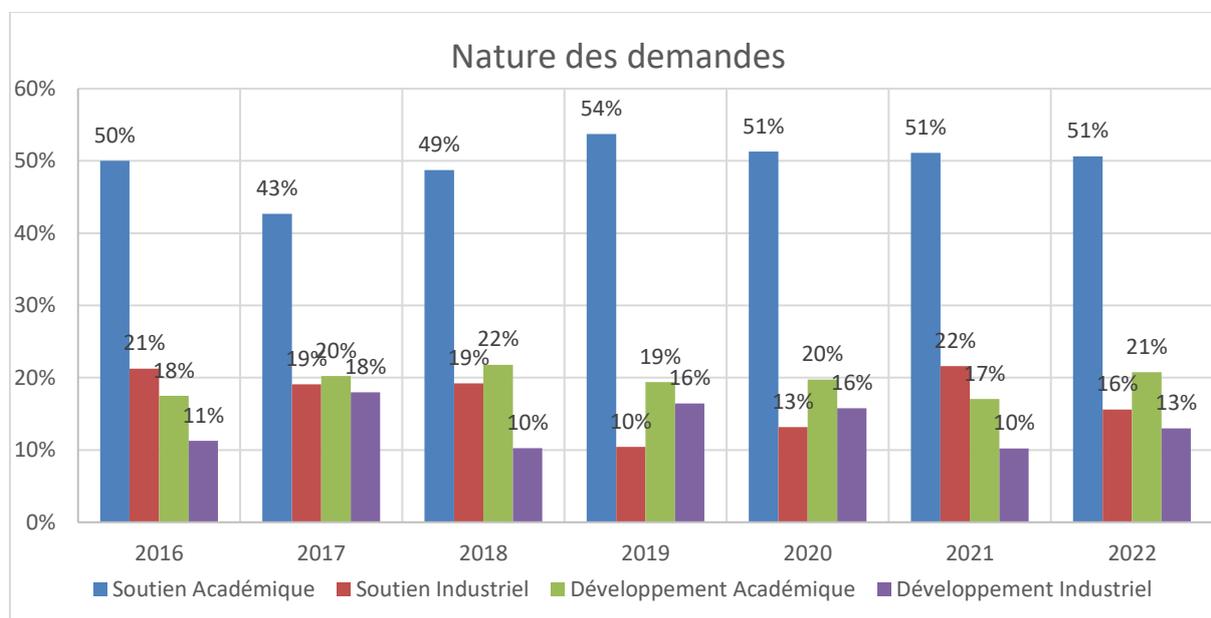
77 projets en 2022 dont 33 projets anciens qui se sont prolongés :

- 2 abandonnées par le demandeur
- 39 projets terminés
- 33 demandes en cours de réalisation qu'on retrouve en 2023
- 3 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.

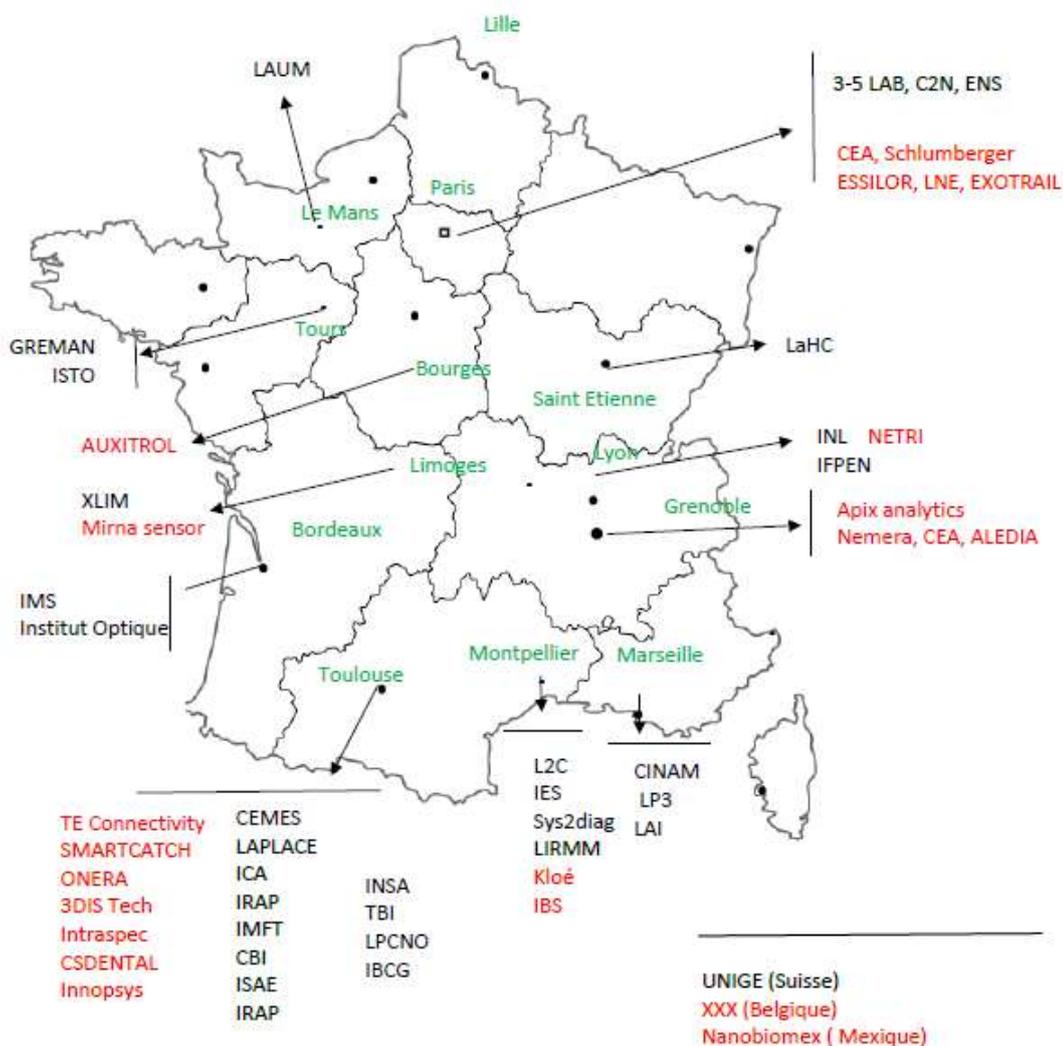


Les projets nécessitant peu de développement représentent 67% des demandes contre 73% l'an passé avec une très forte proportion de demande académique (51%)

Par contre la demande industrielle de projets en soutien (10 projets) est quasiment identique celle des projets développement (10)

La demande internationale est stable : 3 projets comme en 2021 mais plus faible que la moyenne des années précédentes. Cela peut être lié à la situation sanitaire générale.

Cartographie des demandes



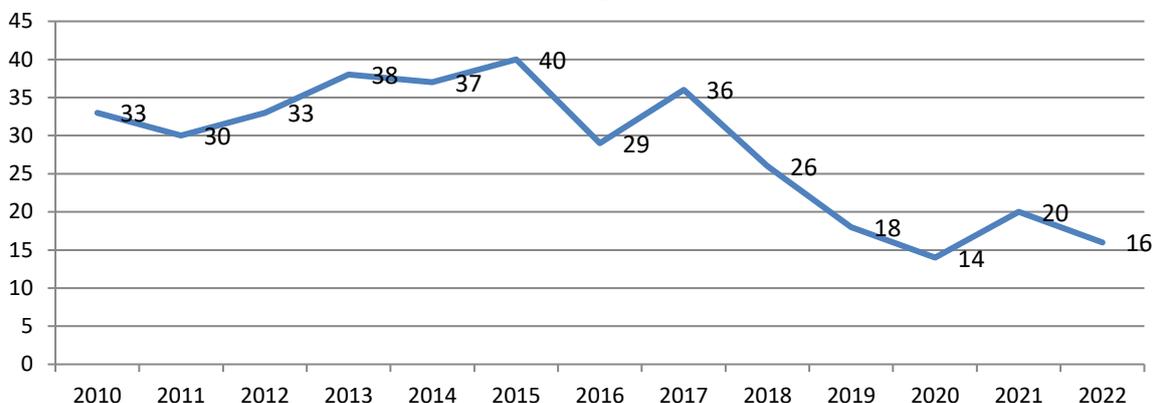
Thématique scientifique des demandes



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

Evolution du nombre de personnes accueillies



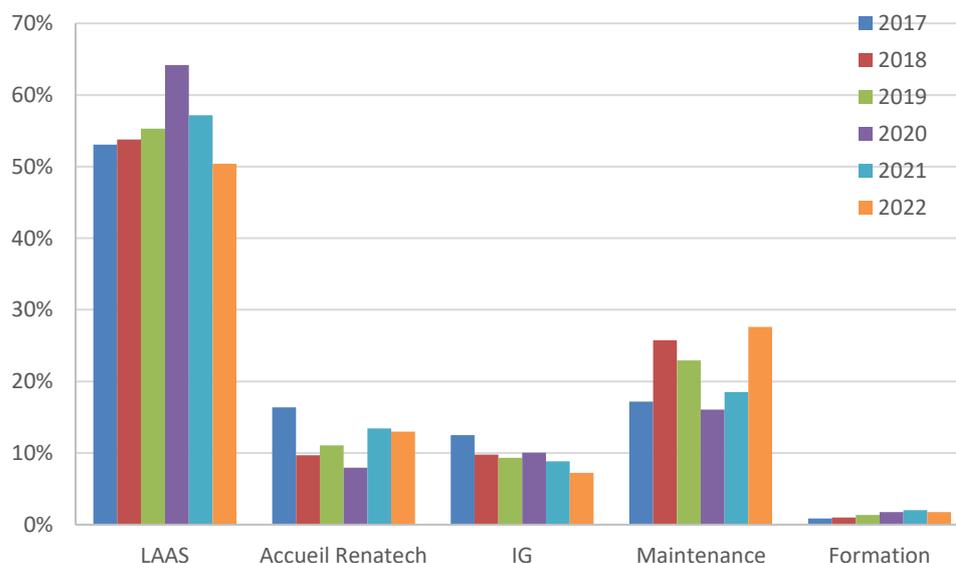
Le nombre de personnes accueillies est en baisse. Il oscille depuis plusieurs années
Le nombre de personnel industriel accueilli (10) est supérieur au nombre d'accueil académique.

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

Répartition des heures d'utilisation d'équipements



Les heures d'utilisation des équipements pour les projets RENATECH représentent 13 % de l'ensemble comme en 2021

Les heures d'utilisation « projets » représentent 63% des heures d'utilisation totales.

Cette année, les heures de maintenance ont augmenté.

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 :

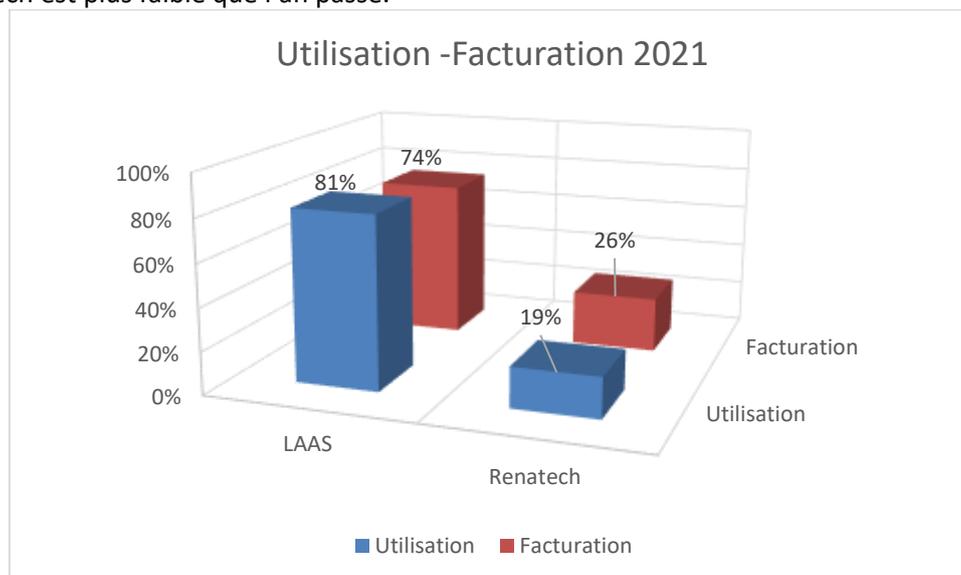
Toutes les sommes encaissées au titre de l'accueil Renatech sont reversées dans l'IG du laboratoire.

Elles contribuent donc à un ensemble d'actions qui ne relèvent pas exclusivement de la salle blanche.

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Sommes encaissées	305074	322005	384445	335831	184631	119394	225555	175033

La facturation des projets externes RENATECH représente 26% des sommes facturées pour 2021

A l'image de la baisse du nombre de projet et des heures utilisées, le montant encaissé dans le cadre de Renatech est plus faible que l'an passé.



Equipements :

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

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 2022, 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.

Evolution de la nouvelle application en ligne

Dans la cadre de la refonte de l'application en ligne de déclaration des projets en 2021, le service TEAM avait 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 téléversement.
- Le soutien aux utilisateurs par la rédaction de modes d'emploi, le déverminage des erreurs.

Cette implication s'est poursuivie en 2022 pour développer les fonctionnalités de l'application <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 une 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 certifiée

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.

En 2022 nous avons participé 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 INITIES

Gestion commune avec I2C, gestion, personnel et RCP

Nous avons géré ensemble : 46 factures, 4 contrats et avenants, 16 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 de tous ces échanges est largement positif. Aujourd'hui, nous savons répondre rapidement aux demandeurs extérieurs et les relations avec la DR sont facilitées.

LISTE DES PROJETS

Projets ReNaTech 2022

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.
Mesure de charge d'espace par microscopie à force électrostatique (EFM)	Soutien	Académique	National	LAPLACE	Toulouse	Villeneuve C.
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
Imagerie de Champ Electromagnétique par Thermographie	Développement	Académique	National	CEMES	Toulouse	JF Bobo
TEST sur 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
Microelectrode arrays Unige	Soutien	Académique	International	Université de Genève	Genève	ML Tercier-Waeber
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
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

Nom du projet	Nature	Origine demande	National ou international	Nom du demandeur	Origine géographique	Contact
GaAsBi 111	Développement	Académique	National	INSAT	Toulouse	H Carrere
Cellule photovoltaïque interdigitée	Soutien	Académique	National	INL	Lyon	E. Fourmond
Serigraphie sur silicium	Développement	Industriel	National	Apix analytics	Grenoble	K Khelloufi
CTC-uCATCH	Soutien	Industriel	National	Smartcatch	Toulouse	A.Cerf
Micro-oscillateurs fluidiques	Développement	Académique	National	ICA	Toulouse	L Baldas
Detection of outgassing Radon	Soutien	Académique	National	IRAP	Toulouse	L Lavergne
Métasurface désordonnée	Développement	Académique	National	Institut Optique	Bordeaux	P Lalanne
Spectroscopie vibrationnelle exaltée	Développement	Académique	National	IES	Montpellier	T Taliercio
Source planaire holographie	Développement	Académique	National	C2N	Saclay	B Dagens
Etude profilométrique	Soutien	Industriel	National	ONERA	Toulouse	J Belfio
Poutres type 'MicRhéo' pour projet H2MEMS	Développement	Académique	National	IMS	Bordeaux	I Dufour
Mesure d'échantillons	Soutien	Industriel	National	NEMERA	Grenoble	G Huet
EPCIS	Soutien	Académique	National	INL	Lyon	A Fave
Dry film for fluidic MEMS	Développement	Industriel	National	CEA	Grenoble	T Alava
Plasmonic nanocrystals	Développement	Académique	International	Nanobiomex	Mexico	A Martinez
RBCflow_in_networks	Développement	Académique	National	IMFT	Toulouse	S Lorthois
Wafer Messie	Soutien	Industriel	National	Innopsys	Carbonne	V Reynou

Nom du projet	Nature	Origine demande	National ou international	Nom du demandeur	Origine géographique	Contact
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
Report de photodiodes sur carte électronique + bonding de diodes LASER	Développement	Académique	National	IMS	Bordeaux	A Bordet
Masques Lithographie IES 2022	Soutien	Académique	National	IES	Montpellier	B Charlot
Dépôt Oxyde	Soutien	Académique	National	C2N	Saclay	E. Herth
miRNA sensor	Développement	Académique	National	Mirna sensor	Limoges	FX Guillon
VECSEL-Or électrolytique	Développement	Académique	National	C2N	Saclay	I Sagnes
Masques Photolithographies GREMAN	Soutien	Académique	National	Greman	Tours	D Valente
Masques 2022 IMFT	Soutien	Académique	National	IMFT	Toulouse	M Marcoux
Filtration sous UltraSons	Développement	Académique	National	IMFT	Toulouse	O Liot
LIFT	Soutien	Académique	National	LP3	Marseille	A Casanova
Nano-filter	Soutien	Académique	National	Cinam	Marseille	A. Charrier
Gravure profonde de réseau de tranchées dans du silicium	Développement	Académique	National	XLIM	Limoges	A Pothier
Process Lag	Soutien	Académique	National	IES	Montpellier	A Giani
Bowmems	Soutien	Académique	National	GREMAN	Tours	F Barcella
Gladiator	Soutien	Académique	National	LPCNO	Toulouse	B Lassagne
Bonding boîtier 24 IO	Soutien	Académique	National	ISAE	Toulouse	Tourneur M
Dispositif microfluidique	Développement	Académique	National	CEA	Pierrelatte	Kankolongo C

Nom du projet	Nature	Origine demande	National ou international	Nom du demandeur	Origine géographique	Contact
Wafer Su8	Développement	Industriel	National	Netri	Lyon	Larramendy F
Masque Chrome	Soutien	Académique	National	LAI	Marseille	Aoun L
Capacité MOS	Soutien	Académique	National	IES	Montpellier	J Boch
Complément BOWMEMS	Soutien	Académique	National	Greman	Tours	F Barcella
Electrodéposition Au	Soutien	Industriel	National	Esterline	Bourges	I Vallet
Optiques Microstructurées par Photolithographie	Soutien	Industriel	National	ESSILOR	Paris	E Gacoin
Masques PIMENT_C2N	Soutien	Académique	National	C2N	Saclay	C Ulysse
Microfabrication Micromodèles IFPEN	Développement	Académique	National	IFPEN	Lyon	N Pannacci
Electroplating and KOH etching PUXANO	Soutien	Industriel	International	Puxano	Anvers	MA Mattelin
Traps fission yeast chip	Soutien	Académique	National	IBGC	Toulouse	Venkova L
AwaXe_v4 packaging	Soutien	Académique	National	IRAP	Toulouse	D Murat
Nettoyage céramique - Eau régale	Soutien	Industriel	National	EXOTRAIL	Massy	A Gugliemi
Packaging et bonding de deux structures	Soutien	Académique	National	ISAE	Toulouse	M Tourneur
Cryotest2IR	Soutien	Académique	National	ISAE	Toulouse	Martin-Gonthier P
Wafer Messie	Soutien	Industriel	National	Innopsys	Carbonne	V Reynou
Création de moules microfluidiques	Développement	Académique	National	TBI	Toulouse	S Serin
Mariam	Soutien	Académique	National	LaHC	Saint Etienne	JJ Rousseau
Implantation LAAS	Soutien	Académique	National	C2N	Saclay	G. Agnus
Small CNT on μ LED	Développement	Industriel	National	ALEDIA	Grenoble	V.Rousset

Nom du projet	Nature	Origine demande	National ou international	Nom du demandeur	Origine géographique	Contact
Recuit métal basse température	Soutien	Industriel	National	IBS	Marseille	G Grosset
High Harmonic Generation from Ion-Implanted Silicon Single Crystal	Soutien	Industriel	National	CEA	Saclay	V. Sunuganty
Câblage de 2 structures silicium en boîtier TO8	Soutien	Académique	National	ISAE	Toulouse	Tourneur M
Masques Optiques EL4Bio	Soutien	Académique	National	Sys2diag	Montpellier	Alhadj Assaf S
Fabrication TFMSL sur SU8	Soutien	Académique	National	LNE	Saclay	ALLAL Djamel
Photomask fabrication	Soutien	Académique	National	ENS	Cachan	Rajendra A
PMUT2	Soutien	Académique	National	Greman	Tours	F Barcella
Moule microfluidique pour les géosciences	Soutien	Académique	National	ISTO	Orléans	S Roman
Déposition d'électrodes	Soutien	Académique	National	ILM	Lyon	S Pailhes
wafers silicium oxydés	Soutien	Académique	National	LIRMM	Montpellier	S Belgaid
Essais flip-chip + adhésif	Développement	Industriel	National	Csdental	Courrières	S Chevalliot
DND-uFlu	Soutien	Industriel	National	Deinove	Montpellier	R Evelio
Développement Wafer SU-8	Développement	Industriel	National	Netri	Lyon	F Larramendy
RBCflow_in_networks	Développement	Académique	National	IMFT	Toulouse	S Lorthois
RF Resonators	Soutien	Académique	National	GREMAN	Tours	D Silva
CRISTAL	Développement	Académique	National	IN2P3	Grenoble	R Flaminio

DEMANDES INTERNES

Les demandes

Analyse brute

Analyse fine

LES DEMANDES INTERNES 2023 LES PROJETS SURLIGNES EN **ROUGE SONT TERMINES**, CEUX SURLIGNES EN **VERT SONT NOUVEAUX**.

Equipe	Référence	Nom	Porteur	Objet	Correspondant TEAM
ISGE	P-17-02055	<u>OPGAN</u>	Morancho	Optimisation des Performances électriques des composants de puissance GaN	Imbernon
	P-16-01718	<u>Exagan</u>	Morancho	Assemblage de HEMT de puissance	Charlot
	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>PIN (113) diamond diodes</u>	Isoird	PIN (113) diamond diodes	Imbernon
	P-22-03991	<u>MUSIC</u>	Bourennane	Masque pour composants SiC	Calmon
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	Mesnilgrente
	P-17-02038	<u>Microsupercap 3D</u>	Pech	Micro supercondensateurs	Bourrier
	P-23-04062	<u>Powerstock</u>	Pech	Micro-supercapacitors based on low-cost materials	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 AlOX</u>	Almuneau	Composants photoniques AlOx	Dubreuil
	P-21-03387	<u>Labcom optique</u>	Camon	Labo commun OPALE	Laborde/Dubreuil
	P-14-00729	<u>Composants nanophotoniques sur verre</u>	Gauthier Lafaye	Filtres spectraux à cristal photonique sur verre	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	Charlot / Dubreuil
	P-19-02966	<u>Dimension</u>	Gauthier Lafaye	Croissance de MoS2 sur substrats structurés	Dubreuil
	P-20-03057	<u>Active combs</u>	Calvez	Réalisation de peignes de fréquences sur puce GaSb	Dubreuil

	P-20-03058	<u>Reson</u>	Calvez	Filtres nanométriques non-linéaires sur LiNbO3 avec SiN et SiO2	Dubreuil
	P-20-03097	<u>AEM VCSEL</u>	Almuneau	composant intégré VCSEL / modulateur à électro-absorption	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
	P-22-03920	<u>PhotoGeNIC</u>	Almuneau	Technologie innovante de VCSEL à base de germanium (Ge)	Dubreuil
	P-23-04042	<u>SCOPOLE</u>	Calvez	Intégration de matériaux à transition de spin dans des cavités photoniques pour études du couplage lumière matière.	Dubreuil
	P-23-04070	<u>ANR SWEET</u>	Gauthier Lafaye	Réalisation de nanostructures actives sur GaN et GaAS pour la réalisation de metasurfaces optiques	Dubreuil
	P-22-03846	<u>MyLN</u>	Gauthier Lafaye	Développements génériques niobate de Li couches minces	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	<u>Capteur photonique intégré</u>	Lecestre
	P-22-03973	<u>3D OASIS</u>	Quotb	<u>puce microfluidique permettant de focaliser le flux</u>	Mesnilgrente
MOST	P-18-02427	<u>Montage de puces hyperfréquences</u>	Tournier	Assemblage par bonding	Charlot
MINC	P-16-01723	<u>COCNANO</u>	Pons	Capteurs d'onde de choc	Reig / charlot
	P-20-03267	<u>Intégration substrat souple</u>	Dragomirescu	Intégration substrat souple confirmés-a	Charlot
MPN	P-13-00201	<u>Nanofils</u>	Larrieu	<u>Dispositifs bio</u>	Mazenq
				Structuration NFs top down	Lecestre
				<u>Transistors 3D</u>	Lecestre
	P-18-02694	<u>Nano TI</u>	Plissard	Growth and characterizations of Nanoscale BiSb materials	Arnoult
	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 Lecestre
	P-20-03290	<u>MOBinACENE</u>	Seguy	Intégration d'acènes dans OFET, OPV et OGMR	Doucet
	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
	P-23-04089	<u>CUB'IC</u>	Seguy	Films de SCO pour réalisation de nouveaux dispositifs	Salvagnac
	P-22-03764	<u>3DBEAM</u>	Bardinal	Technologies micro-optique polymères 3D sur VCSEL	Reig / Doucet
MICA	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
MILE	P-17-02316	<u>Microfluidique pour membranes biomimétiques</u>	Joseph	Canaux microfluidiques pour étudier les membranes Capsule	Laborde 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</u>	Delarue	Dispositif permettant de contrôler l'environnement	Mesnilgrente

		<u>pour cellules cancéreuses</u>		mécanique et chimique d'une population de cellules cancéreuses	
	P-20-03309	<u>biolican</u>	Jospeh	Concentration, purification, détection de biomarqueurs pertinents pour le cancer	Mesnilgrente
	P-23-04114	<u>PRheo</u>	Joseph	Rheologie de tissus biologiques	Mesnilgrente
	P-23-04113	<u>Drysalt</u>	Joseph	Séchage de solution salines en milieux poreux modèles	Mesnilgrente
ELIA	P-13-00216	<u>SANTECH</u>	Vieu	Détection optique d'interactions biomoléculaires	Carcenac
	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-20-3131	<u>OPTISTEM</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	Développement de nano-dispositifs pour l'étude des structures d'adhérence des macrophages humains primaires	Laborde
	P-22-03787	<u>Nanofutur</u>	Malaquin	Développements génériques pour equipex nanofutur	Charlot / Bourrier
	P-22-03862	<u>CBI LAAS</u>	Malaquin	Development of Intestinal models for cancer study	Calmon
	P-22-03861	<u>NEMERA</u>	Malaquin	Development of 3D printed spray devices for drug delivery	Calmon
	P-22-03855	<u>Genoskin</u>	Malaquin	Development of in vitro skin models	Calmon
	P-22-03854	<u>bioprinting</u>	Malaquin	Bioprinting	Calmon
	P-23-4080	<u>INVICTUS</u>	Malaquin	Développement de modèles de supports microporeux 3D pour l'analyse de l'impact des ondes ultrasonores sur la reconstruction osseuse	Calmon

	P-23-04079	<u>PRISME</u>	foncey	Etudier un multi-organoïde ASC	Ferri-Angulo
	P-23-04119	<u>Nanotopotam</u>	Malaquin	Développement de surface nano/microstructurées pour l'études de macrophages	Laborde
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	Bourrier
	P-16-01766	<u>Biodispositif implantable</u>	Bergaud	Réalisation d'électrodes implantables	Laborde
	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 scaffolds électromécaniques	Reig
	P-21-03641	<u>E motion</u>	Nicu	structurer des métamatériaux à base de composites résines/nanoparticules PZT	Doucet
	P20-03115	<u>MEMS Orga</u>	Nicu	Evaporation de matériaux organiques cristallins	Salvagnac
	P-22-03971	<u>nanoheliflex</u>	Mansard	Capteur de déformation piezoélectrique reposant sur des nanohelices déposé par DEP	Reig
	P-23-04076	<u>Migonn</u>	Leichle	Détection chimique sans utiliser de couche sensible	Charlot
	P-23-04077	<u>FlexiGaN</u>	Leichle	Croissance sélective de GaN sur hBN patterné pour le transfert de MEMS sur des substrats flexibles	Bourrier
TEAM	P-19-03010	<u>bio NIL</u>	Daran	Développement de procédés d'impression à base de bio-matériaux	Daran
	P-18-02692	<u>Développements en caractérisation</u>	Reig	Développements d'intérêt collectif en caractérisation	Reig

P-22-03767	<u>DEVchim</u>	Doucet	Développements d'intérêt collectif en chimie	Doucet
P-22-03779	<u>Développement de procédés en jet d'encre</u>	Mesnilgrente	Développements d'intérêt collectif en jet d'encre	Mesnilgrente
P-22-03784	<u>Développements dépôts électrochimiques</u>	Bourrier	Développements d'intérêt collectif en électrochimie	Bourrier
P-22-03785	<u>Développements PVD</u>	Salvagnac	Développements dépôts PVD	Salvagnac
P-22-03789	<u>Développements assemblage</u>	Charlot	Développements assemblage	Charlot
P-22-03788	<u>Développements litho laser</u>	Calmon	Développements litho laser	Calmon
P-22-03791	<u>Développements traitements thermiques</u>	Imbernon	Développements traitements thermiques	Imbernon
P-22-03790	<u>Développements implantation</u>	Imbernon	Développements implantation	Imbernon
P-14-00954	<u>Développements gravure plasma</u>	Lecestre	Développements gravure plasma	Lecestre
P-22-03792	<u>Développement EJM</u>	Arnoult	Développements EJM	Arnoult
P-15-01578	<u>Développements photolithographie</u>	Mazenq	Développements photolithographie	Mazenq
P-22-03793	<u>Développements ALD CVD</u>	Dubreuil	Développements ALD CVD	Dubreuil
P-22-03802	<u>IG-TEAM nanolithographies</u>	Carcenac	Développements de nouveaux procédés ebeam	Carcenac

ANALYSE BRUTE

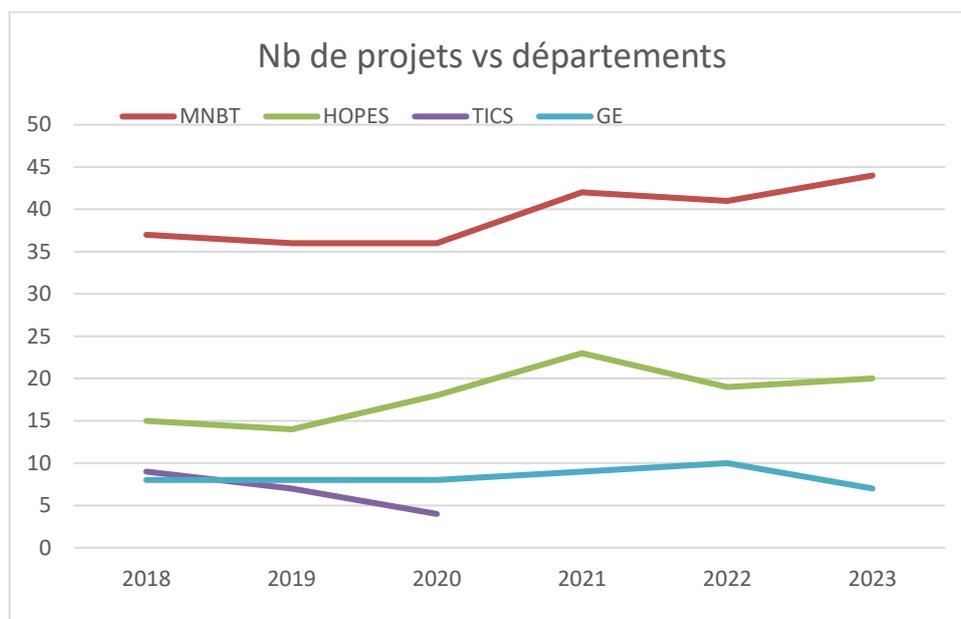
Chaque zone du service TEAM gère un projet des développements d'intérêt collectif, nous ne traitons pas ici de ces projets dont la plupart des développements ont été présentés dans les chapitres précédents.

Projets 2023

Un décompte brut indique un nombre total de 71 projets demandant un soutien

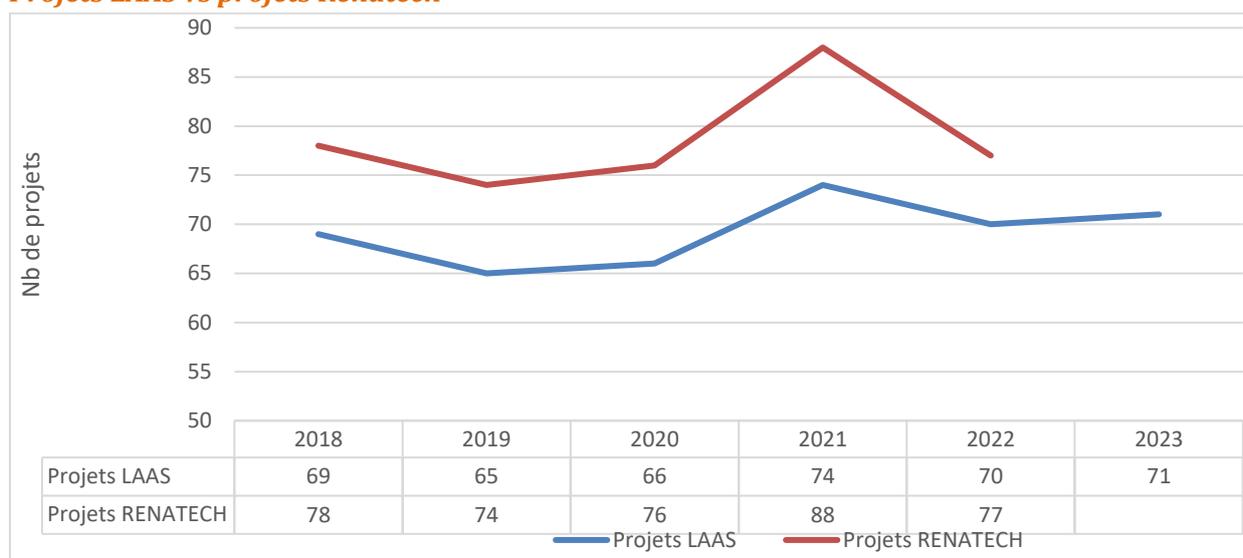
Evolution pluriannuelle

Origine par départements



Pas d'évolution notable.

Projets LAAS vs projets Renatech



Forte décroissance 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.

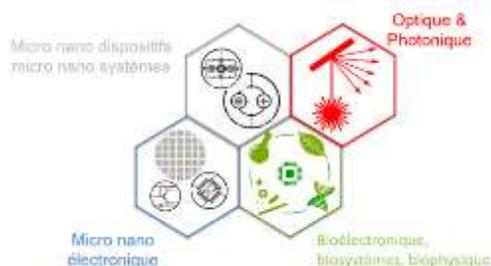
ANALYSE FINE

Dans un souci de visibilité, d'affichage et de prospective nous souhaitons dans les années à venir affiner l'analyse des projets internes à travers divers indicateurs. Les informations sont extraites des demandes de soutien formulées annuellement. Nous avons la volonté de les affiner dans les années à venir.

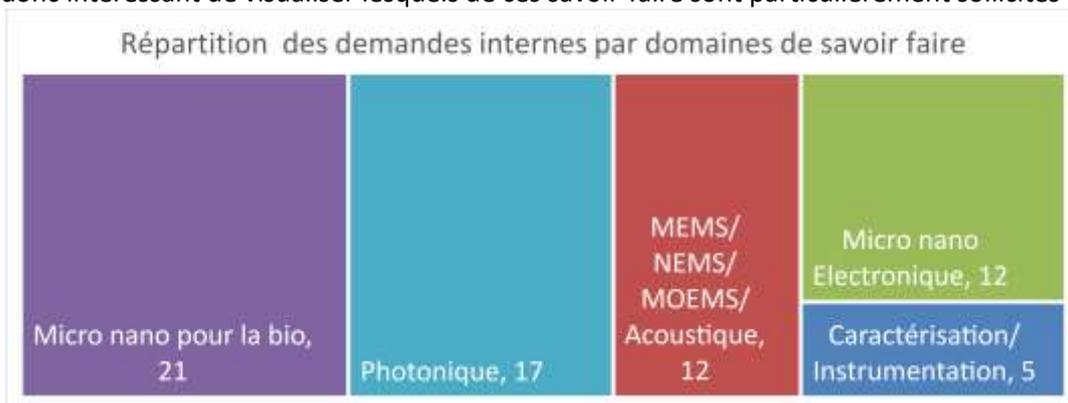
Répartition par thématique

Les savoir-faire de la plateforme sont clairement affichés sur le site du laboratoire.

(<https://www.laas.fr/public/fr/plate-forme-de-micro-et-nanotechnologies>)

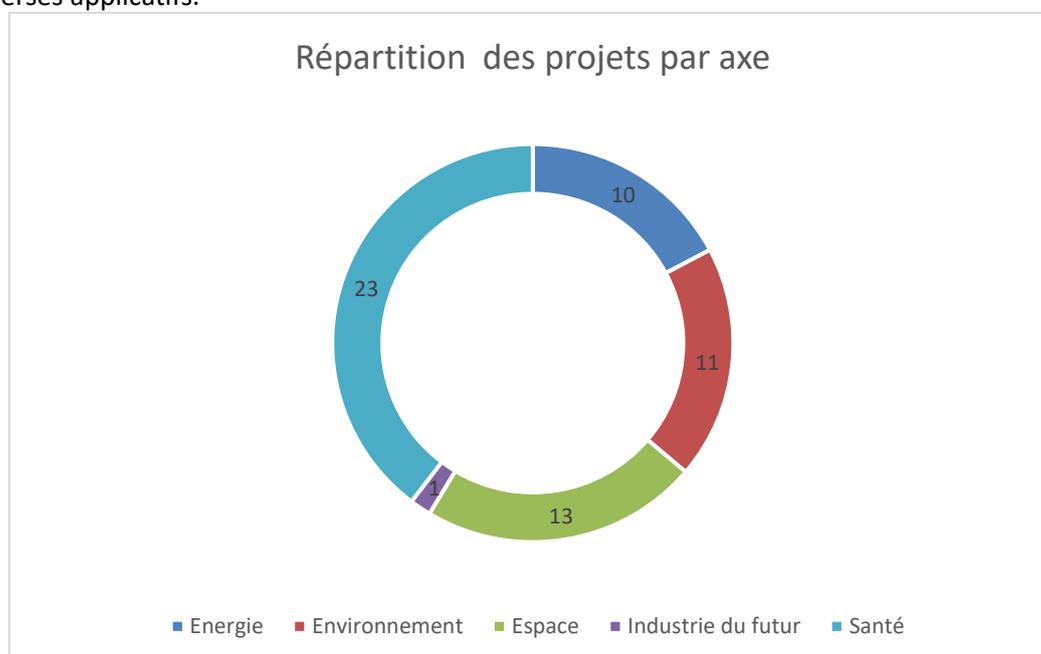


Il est donc intéressant de visualiser lesquels de ces savoir-faire sont particulièrement sollicités



Répartition selon les axes transverses applicatifs

Le laboratoire a identifié 5 axes transverses applicatifs fondés sur les quatre champs disciplinaires qui constituent sa marque de fabrique depuis sa création (informatique, robotique, automatique et micro et nano systèmes). Il apparaît donc pertinent de situer les projets internes par rapport à ces axes transverses applicatifs.



Futurs indicateurs

Afin d'enrichir cette analyse plus fine nous proposerons de solliciter les demandeurs au début de 2024 afin de recueillir des informations plus précises sur les techniques mobilisées, les matériaux utilisés par exemple.

SYNTHESE

Par zone
Générale

SYNTHESE PAR ZONE

Assemblage

Organisation

S. Charlot est l'unique interlocuteur pour la partie packaging pour le moment dans l'attente d'un AI dans la partie montage. Il est rappelé qu'il faut réserver et valider les équipements avant leur utilisation.

Equipement

Un nouvel équipement de découpe laser Femto seconde (IR et visible) arrive début septembre et permettra la découpe et la gravure précise à 10µm de silicium, verre et polymère.

Formation

Cours sur l'assemblage disponible en ligne.

Caractérisation

Personnel

Moins de personne disponible sur la zone donc risque d'augmentation des délais en caractérisation (formation et manipulation par personnel de TEAM), cela sera amplifié si des pannes machines se produisent notamment au premier semestre (absence de Mairame Diallo, prospective MEB, ...).

Equipement

Il faut prévoir la jouvence de l'AFM qui ne sera plus supporté d'ici quelques années (2 ?) et qui est nécessaire à de nombreuses équipes.

Chimie

Développement de la chimie de synthèse :

L'arrivée de Daniel Ferri-Angulo et sa rapide prise en main sur la synthèse et formulation des différents matériaux a permis d'acquérir un bon dynamisme de développements de procédés dans le cadre de projets. Des premiers équipements ont pu être installés évaporateur rotatif, réacteurs à double enveloppe et Cryo thermostats.

L'espace chimie de chimie exploratoire (dédié à la chimie qui sort des opérations standards de la microélectronique) va être bientôt complété par la sorbonne équipée d'une rampe à gaz qui a été commandée en 2022.



Implications du personnel de la zone chimie sur les différents projets

Daniel Ferri-Angulo est impliqué sur la synthèse et formulation de différents biomatériaux photosensibles dans les projets de recherche de l'équipe ELiA (Laurent Malaquin) ainsi que la plateforme MultiFAB. Également, il est impliqué dans le développement et synthèse de nouvelles molécules ou complexes métalliques pour les nanothermites de l'équipe NEO (Carole Rossi). Finalement, Daniel Ferri-Angulo est en contact avec l'équipe MEMS (Ali Maziz) pour réfléchir à des nouveaux biomatériaux à propriétés biodégradables souhaitables/modulables pour réaliser d'implants cérébrales.

Jean-Baptiste Doucet est impliqué dans la synthèse, formulation et mise en œuvre des matériaux biocompatibles, biodégradables ou biosourcés (IG ; Photonique ; MPN ; Elia). Il travaille par ailleurs sur d'autres matériaux (résines de nano impression (IG ; MPN ; Photonique), composites pour l'optiques (Photonique) et sur la synthèse et l'intégration de ionophore dans des matrices polymère pour la réalisation d'optodes (MICA (Vincent Raimbault).

CVD

Organisation

Trois 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. Ils continuent à suivre des formations externes ou internes pour mener à bien cette activité.

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.
- Mise en route de l'équipement ECR PECVD (Roth&Rau) (matériaux SiO_x, SiN_x, SiON, puis prospectifs : TiO₂, TiN, TiON sur matériaux NoMOS)
- Mise en route de l'équipement ALD TFS-200 (Beneq) (matériaux Al₂O₃, TiO₂ sur matériaux NoMOS).

Procédés technologiques

- Des traitements in-situ par plasma pour améliorer le dépôt HfO₂ dans l'ALD-MOS.
- Des nouveaux matériaux ZrO₂, HfZrO, TiN déposés par ALD-MOS, VO₂ à développer.
- Un traitement in situ dans ICPECVD sur LiNbO₃ 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 2023, les développements en soutien aux projets autour des PyroMEMS et de l'électronique organique vont perdurer de façon significative.

Dépôts Electrochimiques

Personnel :

Justine Bonneau a fait le choix d'arrêter son contrat fin 2022. Une offre de CDD est publiée depuis janvier 2023 mais jusqu'ici aucun candidat n'a été retenu. La conjoncture actuelle fait qu'il y a très peu de candidature et toutes celles reçues sont sur diplômées. Encore une fois la zone dépôt électrolytique va fonctionner avec une seule personne au lieu de deux. Ce qui occasionnera des délais plus importants et du retard dans les futures mises au point...

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 2023 en espérant qu'elles soient tout aussi productives.

Jouvence équipements de caractérisation

La restructuration d'une paillasse (Electro-3) est en réflexion pour l'adapter au futur besoin lié à la réception de l'équipement de via filling. Elle permettra d'accueillir un rinçage automatique avec mesure de résistivité, un bac permettant de désaérer l'EDI pour améliorer la mouillabilité des structures à haut rapport de forme et optimiser la surface pour avoir plus d'espace de travail.

Epitaxie par jets moléculaires

Maintenance MBE412

Le MBE412 a subi une grosse intervention de maintenance, retardée par la lente déplétion des cellules d'As nécessaire à leur ouverture. Il a été impossible de réaliser des croissances contenant de l'aluminium depuis la panne électrique de fin 2021, ce qui explique le faible nombre d'heures d'utilisation de ce bâti en 2022, les alliages à base d'Al étant une brique incontournable des composants III-V.

LabCom EPICENTRE

Le laboratoire commun avec la société RIBER, débuté en juin 2021, permet la valorisation des outils de suivi in situ de la croissance développés au laboratoire. En contrepartie, le laboratoire est 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. Le système UHV est en cours d'installation dans la salle blanche du LAAS.

Gravure plasma

De 2019 à 2022, nous étions 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. Il faut noter que la maintenance curative nous prend beaucoup de temps. 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. Les développements de procédés génériques d'encre argent sont arrivés à leurs termes. Désormais l'utilisation sera variable selon les développements à mener sur les projets.

Traitement de surface

L'essentiel de l'activité concerne le traitement hydrophobe/antiadhérent 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 qui sera remis à niveau. Nous sommes également toujours en expertise pour un équipement de traitement plasma à pression atmosphérique.

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 2022 pour les projets exogènes représente toujours 45% du total. Pour maintenir nos capacités à produire nos masques nous étudions les avantages à remplacer l'équipement DWL 200 par un équipement MLA 150. Ce nouveau type d'équipement doit permettre d'améliorer la résolution, accroître par 4 la vitesse d'écriture et faciliter l'écriture directe sur de nombreux formats de substrats en utilisant divers types de résine. Un équipement MLA 150 complet permettrait la fabrication de photo-masques et réticules, et de développer des nouveaux procédés de lithographie UV sans masque sur substrats avec chargement et alignement automatiques. Le coût d'acquisition de cette configuration d'équipement est de 681 k€.

Equipements d'écriture laser

L'ensemble des moyens de lithographie par lasers réunit au LAAS est unique en milieu Académique. En 2023, cet ensemble sera constitué de 6 types d'équipements lasers complémentaires permettant d'exploiter différentes techniques pour la structuration en 2D et 3D de matériaux en salle blanche. Une grande variété de matériaux est traitée avec ces équipements à différentes échelles : submicronique à centimétrique. L'arrivée de l'équipement Laser Nano Factory permettra d'étendre encore la diversité des matériaux à structurer par laser.

Photolithographie

Changement de personnel

Adrian Laborde devient responsable de la zone photolithographie au 1^{er} Janvier 2023. Laurent Mazon bascule sur la zone nanolithographie, mais reste impliqué à 25% en support en photolithographie.

Mairame Diallo, à 20% sur la photolitho, est en congés maternité jusqu'à juillet. Il y a un besoin de renfort humain sur la zone.

Jouvence équipements

Les pistes EVG 120 sont en fin de vie, le taux de panne sur l'équipement est important, ce qui peut être bloquant pour certaines filières, notamment sur les procédés hautes résolutions (nécessité d'un développement répétable et contrôlé).

Le Spraycoater voit son taux d'utilisation augmenter significativement et est devenu un appareil indispensable à plusieurs filières. Il est maintenant sous-dimensionné : seulement 2 lignes de résines, alors que le besoin actuel tourne autour de 5. L'achat d'un nouvel équipement, ou le rétrofit de l'actuel, permettrait d'avoir plus de lignes de résines différenciées, évitant les contaminations inter-procédés.

Le stepper est également en fin de vie, le taux de panne est important, ce qui affecte directement son taux d'utilisation dans l'année (au moins 2 mois d'arrêt cumulé). Utilisé par des projets Industriels comme par certaines filières internes, c'est un atout de la plateforme, ce type d'équipement étant le seul équipement « ouvert » dans le réseau ReNaTech

Nanolithographies

Lithographie électronique :

Prospective pour l'achat, en 2023 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 :

Départ d'Emmanuelle Daran et de Clothilde Péra

Nouveau responsable : Jean-Baptiste Doucet

La pérennité de la technique ainsi que celle des projets semblent assurées ...

Début de la migration de réalisation d'échantillons depuis la lithographie électronique vers la Nano- Impression pour des projets internes et externes.

Traitements thermiques et implantation ionique

- L'activité est en très légère augmentation au niveau des fours due notamment aux projets liés à l'oxydation de nanofils de silicium pour l'équipe MPN mais en baisse au niveau de l'implantation ionique à cause de la diminution des projets microélectroniques.
- En 2023, nous prévoyons la remise à niveau de la commande des fours de recuits Freescale. Nous allons passer par une société extérieure. Cela permettrait de réaliser des recuits métaux sous rampes automatiques ainsi que des oxydations thermiques sèches pour des composants NoMOS.
- 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.

SYNTHESE GENERALE

Personnel

- Depuis 2012 le bilan sur les personnels permanents est de -6 et passera à -7 au début 2024.
- Si l'on se projette en 2027-2028 au rythme actuel nous arriverons à -10 postes permanents.
- Repositionnement de L. Bouscayrol en zone support pour compenser l'absence depuis 2 ans de personnel dédié. Cette réorganisation a imposé un recrutement CDD supplémentaire en gravure plasma en compensation.
- Sous-effectif en zones dépôts électrolytiques, packaging, caractérisation, photolithographie.
- Plus de personnel attiré en zone 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.
- Trois promotions en changements de corps

Equipements

- Installation de onze équipements.
- Onze procédures d'achat en cours début 2023.
- Projets très structurants :
 - Equipex Nanofutur : derniers achats en cours
 - PEPR électronique : expertises en cours
 - Extension de la plateforme : dossier en cours de montage

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, et de publications par le service TEAM lui-même.
- Action à conduire au niveau du réseau Renatech pour clarifier le niveau de citation de Renatech dans les remerciements

Bilan des activités

- Volume d'activité en baisse de l'ordre de 18% après une baisse de 8 % en 2021
- Nécessité de déploiement d'un système de badge pour activer/désactiver les équipements pour avoir le relevé exhaustif des activités

Partenariat Renatech

- Activité en baisse.
- Ces activités restent circonscrites à 13% de l'activité globale de la salle blanche pour environ 26% des sommes encaissées en facturation.

Formations

- Plus de 500 heures de formations pratiques et vingt heures de cours « théoriques »
- Développement du site de e-learning interne

Sécurité

- Peu d'actions significatives en 2022.

Budget

- Les dépenses sont dans la moyenne des 5 dernières années.
- La menace reste celle de l'augmentation des coûts de l'énergie. S'ils ne sont pas compensés par le CNRS comme ils l'ont été en 2022 il y aura un problème de financement du fonctionnement pour l'infrastructure

Demandes internes de soutien

- Stables

ANNEXE

Liste des équipements au 1^{er} janvier 2023

LISTE DES EQUIPEMENTS AU 31 DECEMBRE 2021(extraction depuis l'application Myfab)

Nom (code facturation)	Réf	Zone	Date d'installation	Equipementier
Polisseuse PM5 MOS (A-POLI)	A5	Assemblage (Bât G)	12/16/1998	Logitech
Wafer Substrate Bonding MOS (A-POLI)	A19	Assemblage (Bât G)	12/15/2015	Logitech
Hotte polissage (F-FRAI)	A20	Assemblage (Bât G)	12/13/2006	----
Scie diamanté DAD-321 MOS (A-MONT)	A1	Assemblage (Bât G)	3/3/2014	DISCO
Hotte montage (F-FRAI)	A21	Assemblage (Bât G)	12/20/2006	----
Micro Injecteur (A-MONT)	A23	Assemblage (Bât G)	12/16/1999	Narishige
Micro-soudeuse KnS 4526 MOS (A-MONT)	A11	Assemblage (Bât G)	3/3/2014	Kulicke and Soffa
Mesure planéité MOS (A-POLI)	A36	Assemblage (Bât G)	12/15/2010	Logitech
Micro-soudeuse TPT HB-16 MOS (A-MONT)	A10	Assemblage (Bât G)	3/3/2014	TPT
Micro-soudeuse KnS 4700 MOS (A-MONT)	A12	Assemblage (Bât G)	3/3/2014	Kulicke and Soffa
polisseuse ESCIL (A-POLI)	A39	Assemblage (Bât G)	10/12/2011	Escil
oscilloscope (F-FRAI)	A43	Assemblage (Bât G)	12/12/2012	Tektronix
carotteuse ultra sonique MOS (A-MONT)	A31	Assemblage (Bât G)	12/12/2007	fishione
Grinder G&N MOS (A-POLI)	A4	Assemblage (Bât G)	3/3/2014	Grinder
Fer à souder Weller (F-FRAI)	A42	Assemblage (Bât G)	1/1/2015	Weller
Scriber JFP-S100 MOS (A-MONT)	A41	Assemblage (Bât G)	3/3/2014	CEFORI
Jauge de mesure d'épaisseur MOS (A-POLI)	A35	Assemblage (Bât G)	3/3/2014	Logitech

Etuve Horo (A-MONT)	A17	Assemblage (Bât G)	3/3/2014	HORO
Etuve TETHYS (A-MONT)	A18	Assemblage (Bât G)	3/3/2014	TETHYS
Scriber Karl-SUSS RH-100 MOS (A-MONT)	A2	Assemblage (Bât G)	3/3/2014	Karl-SUSS
Scriber SET MOS (A-MONT)	A3	Assemblage (Bât G)	3/3/2014	SET
Film monter UH-115 MOS (A-MONT)	A24	Assemblage (Bât G)	3/3/2014	Ultron Systems, Inc.
Nettoyage wafers UH-117 MOS (A-MONT)	A25	Assemblage (Bât G)	3/3/2014	Ultron Systems, Inc.
Report/Collage Tresky T4907 MOS (A-MONT)	A6	Assemblage (Bât G)	3/3/2014	Dr Tresky
Report/Collage Tresky T3000 MOS (A-MONT)	A7	Assemblage (Bât G)	3/3/2014	Dr Tresky
Report eutectique KnS 6482 MOS (A-MONT)	A9	Assemblage (Bât G)	3/3/2014	Kulicke and Soffa
étuve Thermo (F-FRAI)	A51	Assemblage (Bât G)	1/1/2017	Thermo scientific
Découpe Graphtec (A-MONT)	A52	Assemblage (Bât G)	10/1/2019	Graphtec
Form 3 (L- 3D)	A53	Assemblage (Bât G)	12/16/2019	Formlabs
ThermoGravimetric Analysis TGA (C- DSC)	C-24	Caractérisation / Characterization (bat G1)	9/17/2021	Mettler-Toledo
Profilomètre optique SNEOX (F-FRAI)	C-25	Caractérisation / Characterization (bat G1)	3/29/2022	SensoFar
Ellipsometre EP4 (C-SPEC)	C-26	Caractérisation / Characterization (bat G1)	5/12/2022	Accurion
Spectromètre UV-VIS (C-SPEC)	C-19	Caractérisation / Characterization (bat G1)	3/14/2017	PerkinElmer
Profilomètre mécanique Tencor P17 (F-FRAI)	C-20	Caractérisation / Characterization (bat G1)	6/19/2017	KLA Tencor
Differential Scanning Calorimetry (C- DSC)	C-21	Caractérisation / Characterization (bat G1)	10/4/2017	NETZSCH
Testeur sous pointes (F-FRAI)	C-23	Caractérisation / Characterization (bat G1)	3/3/2014	SET
Profilomètre optique Wyko (F-FRAI)	C-12	Caractérisation / Characterization (bat G1)	12/1/2001	VEECO

Profilomètre optique LEXT (F-FRAI)	C-13	Caractérisation / Characterization (bat G1)	1/1/2008	Olympus
Microscope optique Leica (F-FRAI)	C-14	Caractérisation / Characterization (bat G1)	1/1/2008	LEICA
Profilomètre mécanique Tencor P16+ (F-FRAI)	C-16	Caractérisation / Characterization (bat G1)	1/1/2009	KLA Tencor
PECS (D-PRST)	C-18	Caractérisation / Characterization (bat G1)	1/1/2002	GATAN
Résistivimètre manuel (F-FRAI)	C-10	Caractérisation / Characterization (bat G1)	1/1/2000	---
Résistivimètre automatique (F-FRAI)	C-11	Caractérisation / Characterization (bat G1)	1/1/2003	Changmin Tech
Ellipsomètre HJY (C-SPEC)	C-07	Caractérisation / Characterization (bat G1)	1/1/2005	Horiba Jobin Yvon
Digidrop (F-FRAI)	C-09	Caractérisation / Characterization (bat G1)	1/1/2004	GBX Instrument
FIB Dual Beam (C- FIB)	C-01	Caractérisation / Characterization (bat G1)	6/1/2012	FEI
MEB S-4800 (C- MEB)	C-02	Caractérisation / Characterization (bat G1)	1/1/2005	HITACHI
MEB S-3700N (C- MEB)	C-03	Caractérisation / Characterization (bat G1)	1/1/2008	HITACHI
AFM ICON (C- AFM)	C-04	Caractérisation / Characterization (bat G1)	1/1/2011	BRUKER
FTIR (C-SPEC)	C-06	Caractérisation / Characterization (bat G1)	7/1/2015	BRUKER
wet bench metal etching NoMOS(F-FRAI)	CHIM-7	Chimie / Chemistry (Bât F)	1/1/2005	VACO
wet batch photoresist stripping by AZ100 remover NoMOS(F-FRAI)	CHIM-3	Chimie / Chemistry (Bât F)	1/1/2005	VACO
Glove box for HF based chemistry NoMOS (F-FRAI)	CHIM-6	Chimie / Chemistry (Bât F)	1/1/2019	DVTECH
right organic solvents fume hood with lowerable window NoMOS (F-FRAI)	CHIM-2	Chimie / Chemistry (Bât F)	1/1/2000	Fluidair
left organic solvents fume hood with lowerable window NoMOS (F-FRAI)	CHIM-1	Chimie / Chemistry (Bât F)	1/1/2000	Fluidair
UV -ozone NoMOS(F-FRAI)	F6	Chimie / Chemistry (Bât F)	6/1/2013	Jelight

optical microscope NIKON NoMOS(F-FRAI)	F7	Chimie / Chemistry (Bât F)	1/1/2005	NIKON
wet bench III-V NoMOS(F-FRAI)	CHIM-10	Chimie / Chemistry (Bât F)	1/1/2005	Coillard
wet bench for harmless chemistry NoMOS (F-FRAI)	CHIM-9	Chimie / Chemistry (Bât F)	1/1/2005	Coillard
acid wet bench for multicleaning and etching NoMOS (F-FRAI)	CHIM-8	Chimie / Chemistry (Bât F)	9/24/2018	PTS
Batch Buffer Oxide Etching 1-7 MOS (F-FRAI)	F11	Chimie / Chemistry (Bât F)	1/1/2005	cybernétix
Sonication cabin NoMOS (F-FRAI)	F14	Chimie / Chemistry (Bât F)	10/1/2019	DVTECH
fume hood exploratory chemistry NoMOS (F-FRAI)	F-ELECTRO-2	Chimie / Chemistry (Bât F)	1/15/2008	to be precised
clean wet bench organic solvents NoMOS (F-FRAI)	CHIM-5	Chimie / Chemistry (Bât F)	3/6/2017	DV Tech
wet bench organic solvents PDMS and outgasing NoMOS (F-FRAI)	CHIM-4	Chimie / Chemistry (Bât F)		PTS
semitool Spin Rinse Dryer Main Chem NoMOS (F-FRAI)	F1	Chimie / Chemistry (Bât F)		Semitool
Paillasse Chime EJM - Solvants - III/V (F-FRAI)	M7	EJM/MBE (Bât G2)		LAAS
D8-Discover (M- DRX)	M4	EJM/MBE (Bât G2)	3/26/2012	Bruker AXS
Paillasse Chime EJM- Acides - III/V (F-FRAI)	M6	EJM/MBE (Bât G2)		LAAS
MBE412 (M- EJM)	M1	EJM/MBE (Bât G2)	5/3/2011	RIBER SA
Rena Cuivre 4 pouces (E-AUTO)	E2	Electrochimie / electroplating (Bât F)	6/15/2005	RENA
Rena Or 4 pouces (E-AUTO)	E1	Electrochimie / electroplating (Bât F)	6/15/2005	RENA
Rena Nickel 4 pouces (E-AUTO)	E3	Electrochimie / electroplating (Bât F)	7/14/2010	RENA
AAS (E-CARA)	E13	Electrochimie / electroplating (Bât F)	6/15/2008	Perkin Elmer

Titration (E-CARA)	E14	Electrochimie / electroplating (Bât F)	7/14/2010	Metrom
Cvs (E-CARA)	E11	Electrochimie / electroplating (Bât F)	6/15/2007	Metrom
Polarographie (E-CARA)	E12	Electrochimie / electroplating (Bât F)	6/15/2007	Metrom
Auroless (E-MANU)	E15	Electrochimie / electroplating (Bât F)	6/15/2006	Minaservices
Paillasse de Développement & Ultrason (F-FRAI)	E17	Electrochimie / electroplating (Bât F)	6/1/2009	Minaservices
Paillasse de Développement & Stripping (F-FRAI)	E19	Electrochimie / electroplating (Bât F)	1/1/2005	LAAS
Gravure KOH (E-ANIS)	E20	Electrochimie / electroplating (Bât F)	6/1/2009	Minaservices
Gravure TMAH (E-ANIS)	E21	Electrochimie / electroplating (Bât F)	6/1/2009	Minaservices
Paillasse dépôts Alternatifs (E-MANU)	E8	Electrochimie / electroplating (Bât F)	6/15/2005	LAAS
Yamamoto Cuivre 4/6" (E-MANU)	E7	Electrochimie / electroplating (Bât F)	9/1/2015	LAAS
Yamamoto 4" (E-MANU)	E23	Electrochimie / electroplating (Bât F)	9/1/2015	Yamamoto
Yamamoto Nickel 4/6" (E-MANU)	E24	Electrochimie / electroplating (Bât F)	10/21/2019	Yamamoto
Sorbonne dépôt électrolytiques	E 25	Electrochimie / electroplating (Bât F)	12/12/2021	PTS
ALCATEL P1 MOS (G-DRIE)	G4	Gravure plasma/plasma etching (Bât F)	1/1/2009	ALCATEL-ADIXEN
ALCATEL P4 NoMOS (G-DRIE)	G5	Gravure plasma/plasma etching (Bât F)	1/1/2009	Alcatel - Adixen
DIENER plasma O2 MOS (F-FRAI)	G6	Gravure plasma/plasma etching (Bât F)	1/1/2010	DIENER
TEPLA plasma O2 NoMOS (F-FRAI)	G7	Gravure plasma/plasma etching (Bât F)	1/1/2002	TEPLA
SI200 MOS (G- ICP)	G8	Gravure plasma/plasma etching (Bât F)	9/3/2015	SENTECH
SI500-Chlorée MOS (G- ICP)	G9	Gravure plasma/plasma etching (Bât F)	9/3/2015	SENTECH
ICP2 NoMos (G- ICP)	G1	Gravure plasma/plasma etching (Bât F)	11/19/2003	Trikon (SPTS)

Implanteur ionique IMC 200 MOS Compatible (I-IMPL)	I1	Implantation (Bât G2)	5/8/2007	Eaton
Hotte implanteur (F-FRAI)	I2	Implantation (Bât G2)	1/1/2007	Minaservice
Pull shear testeur MOS (A-MONT)	A49	Integration/Assemblage (Bât G1/G)	1/1/2016	Xyztec
plaque chauffante 300°Cx (A-INTE)	A32	Integration/Assemblage (Bât G1/G)	2/13/2008	Sawatec
Parylene C30S (D-PARY)	D8	Integration/Assemblage (Bât G1/G)	2/29/2016	Comelec
hotte solvants (F-FRAI)	A50	Integration/Assemblage (Bât G1/G)	1/1/2016	Mina services
Hotte Wafer Bonder (F-FRAI)	A48	Integration/Assemblage (Bât G1/G)	2/6/2017	Devetek
Nitrogen atmosphere oven (F-FRAI)	A54	Integration/Assemblage (Bât G1/G)	9/20/2021	Verder / Carbolite
FC150 MOS (A-INTE)	A55	Integration/Assemblage (Bât G1/G)	3/18/2022	SET
Shiple 360 MOS (A-INTE)	A29	Integration/Assemblage (Bât G1/G)	1/1/2004	Shiple
Shiple 3024 MOS (A-INTE)	A38	Integration/Assemblage (Bât G1/G)	1/1/2011	Shiple
Wafer bonder SUSS NOMOS (A-INTE)	A37	Integration/Assemblage (Bât G1/G)	12/14/2011	SUSS
Report flip chip MOS (A-INTE)	A27	Integration/Assemblage (Bât G1/G)	12/18/2001	SET
Wafer bonder AML MOS (A-INTE)	A28	Integration/Assemblage (Bât G1/G)	1/1/2005	AML
sérigraphie MOS (A-INTE)	A30	Integration/Assemblage (Bât G1/G)	12/19/2007	DEK
encolleuse (A-MONT)	A40	Integration/Assemblage (Bât G1/G)	1/1/2015	Janome
Four de refusion NOMOS (A-INTE)	A33	Integration/Assemblage (Bât G1/G)	1/1/2008	Madell
viscosimètre (F-FRAI)	A34	Integration/Assemblage (Bât G1/G)	12/16/2009	Fungilab
étuve MEMMERT (A-MONT)	A45	Integration/Assemblage (Bât G1/G)	1/1/2000	Memmert
Etuve vieillissement thermique (A-MONT)	A46	Integration/Assemblage (Bât G1/G)	12/11/1996	Secasi

Aligneur Suss MOS (A-INTE)	A47	Integration/Assemblage (Bât G1/G)	12/20/2011	SUSS
Altadrop NOMOS (J- JET)	J4	Jet d'encre / ink jet (Bât G1)	9/1/2007	Altatech
paillasse jet d'encre NOMOS (F-FRAI)	J5	Jet d'encre / ink jet (Bât G1)	12/15/2015	Coillard
paillasse electroless NOMOS (E-MANU)	J6	Jet d'encre / ink jet (Bât G1)	12/15/2015	Coillard
viscosimètre NOMOS (F-FRAI)	J7	Jet d'encre / ink jet (Bât G1)	6/13/2007	anton paar
UV Ozone NOMOS (F-FRAI)	J9	Jet d'encre / ink jet (Bât G1)	6/13/2012	Jelight
spectroline 248nm NOMOS (F-FRAI)	J10	Jet d'encre / ink jet (Bât G1)	9/16/2014	spectroline
balance NOMOS (F-FRAI)	J11	Jet d'encre / ink jet (Bât G1)	5/11/2010	Mettler
Vacuo-temp NOMOS (F-FRAI)	J13	Jet d'encre / ink jet (Bât G1)	12/7/2021	J.P. SELECTA
Ceradrop NOMOS (J- JET)	J12	Jet d'encre / ink jet (Bât G1)	4/5/2018	Ceradrop
DILASE 3D MR NoMOS (L- 3D)	L8	Jet d'encre / ink jet (Bât G1)	7/12/2018	KLOE
DILASE 3D HR NoMOS (L- 3D)	L5	Jet d'encre / ink jet (Bât G1)	3/15/2016	KLOE
Hotte Litho laser NoMOS (F-FRAI)	L7	Lithographie laser : Laser Lithography (Bât G1)	5/17/2017	DV Tech
MOS wet bench (F-FRAI)	LASER-2	Lithographie laser : Laser Lithography (Bât G1)		Minaservice
Hotplate automated Thick Resists NoMOS (F-FRAI)	P26	Lithographie laser : Laser Lithography (Bât G1)	12/21/2020	Osiris
HMX NoMOS (L- DWL)	L9	Lithographie laser : Laser Lithography (Bât G1)	7/22/2021	SUSS
RCA/Piranha cleaning MOS (F-FRAI)	LASER-1	Lithographie laser : Laser Lithography (Bât G1)	1/1/2005	VACO
DWL 200 NoMOS(L- DWL)	L1	Lithographie laser : Laser Lithography (Bât G1)	7/1/2005	HEIDELBERG INSTRUMENTS
DILASE 750 NoMOS(L- 2D)	L2	Lithographie laser : Laser Lithography (Bât G1)	12/3/2013	KLOE
DILASE 650 NoMOS (L- 2D)	L3	Lithographie laser : Laser Lithography (Bât G1)	12/5/2012	KLOE

PHOTONIC PROFESSIONAL NoMOS (L- 3D)	L4	Lithographie laser : Laser Lithography (Bât G1)	7/2/2013	NANOSCRIBE
HMP 90 NoMOS (L- DWL)	L6	Lithographie laser : Laser Lithography (Bât G1)	3/13/2007	SUSS
Nano-imprint equipment NoMos (N- NEX)	N2	Nanolithographies (bat G1)	6/15/2010	Nanonex
RAITH150 NoMos (N-RAIT)	N1	Nanolithographies (bat G1)	1/3/2005	RAITH
Hotte nano NoMos (F-FRAI)	N3	Nanolithographies (bat G1)	12/15/2017	DVTEch
GenISys lab (LOGICI)	P23	Photolithographies (Bât F)	9/26/2017	GenISys
HMDS Primer Obducat MOS and NoMOS (F-FRAI)	P24	Photolithographies (Bât F)	12/22/2017	Obducat Solar Semi
Mask Aligner Suss MA6 Gen4 MOS and NoMOS (P-PHOT)	P25	Photolithographies (Bât F)	4/13/2018	Suss Microtec
Olympus MX50 (F-FRAI)	G10	Photolithographies (Bât F)		Olympus
ALD TFS200 NoMOS (T-CVD)	CVD10	Photolithographies (Bât F)	8/1/2022	BENEQ
MOSNano wet bench (F-FRAI)	LASER-3	Photolithographies (Bât F)		PTS-DVTECH
TERGEO NoMOS (F-FRAI)	G12	Photolithographies (Bât F)		PIE SCIENTIFIC
SI500-Fluorée NoMOS (G-DRIE)	G11	Photolithographies (Bât F)	1/6/2020	SENTECH
ICP3 NoMos (G- ICP)	G2	Photolithographies (Bât F)	11/19/2003	Trikon (SPTS)
EVG120 Automated Resist Processing System MOS and NoMOS (P-PHOT)	P1	Photolithographies (Bât F)	6/16/2005	EVG
SprayCoater Suss Microtec NoMOS (P-PHOT)	P2	Photolithographies (Bât F)	10/16/2010	Suss Microtec
Stepper I Line Canon MOS and NoMOS (P-PHOT)	P3	Photolithographies (Bât F)	1/1/2009	Canon
Mask Aligner Suss MA150 MOS and NoMOS (P-PHOT)	P6	Photolithographies (Bât F)	1/1/1998	Suss Microtec
Mask Aligner Suss MA6 NoMOS (P-PHOT)	P7	Photolithographies (Bât F)	1/1/1998	Suss Microtec

Hotplate automated SU8 n°2 NoMOS (F-FRAI)	P11	Photolithographies (Bât F)	1/1/2002	Suss Microtec
Hotplate automated SU8 n°1 NoMOS (F-FRAI)	P10	Photolithographies (Bât F)	1/1/2005	Suss Microtec
Oven polymers NoMOS (F-FRAI)	P12	Photolithographies (Bât F)	1/1/2002	Memmert
HMDS Primer oven MOS (F-FRAI)	P13	Photolithographies (Bât F)	1/1/2005	Yes
Microscope leica photo auto (F-FRAI)	P15	Photolithographies (Bât F)	1/1/2005	Leica
Microscope leica photo manuel (F-FRAI)	P16	Photolithographies (Bât F)	1/1/2005	Leica
Wet Bench / Photo 1 NoMOS resist development (F-FRAI)	P17	Photolithographies (Bât F)	1/1/2005	Minaservice
Wet Bench / Photo 1 NoMOS resist spinner (F-FRAI)	P18	Photolithographies (Bât F)	1/1/2005	Suss Microtec
Wet Bench / Photo 2 NoMOS resist development (F-FRAI)	P19	Photolithographies (Bât F)	1/1/2005	Minaservice
Wet Bench / Photo 2 NoMOS resist spinner (F-FRAI)	P20	Photolithographies (Bât F)	1/1/2005	Suss Microtec
Wet Bench / Photo 3 MOS resist development (F-FRAI)	P21	Photolithographies (Bât F)	1/1/2005	Minaservice
Wet Bench / Photo 3 MOS resist spinner (F-FRAI)	P22	Photolithographies (Bât F)	1/1/2005	Suss Microtec
Paillasse Chime EJM-1 (F-FRAI)	M5	Photolithographies (Bât F)	7/2/2007	LAAS
EVA 600 Evaporation NoMOS (D-PRST)	D1	PVD (Bât F)	1/1/2010	Alliance Concept
Univex 450 Pulvérisation NoMOS (D-PRST)	D2	PVD (Bât F)	1/1/2008	Oerlikon
Plassys Organiques NoMOS (D-OLED)	D3	PVD (Bât F)	9/17/2013	Plassys
Varian Evaporation NoMOS (D-PRST)	D4	PVD (Bât F)	1/1/1996	MTB Solutions
ApSy E100 NoMOS (D-PRST)	D6	PVD (Bât F)	1/1/2010	Application Systemes
Riber degas NoMOS (D-PRST)	D7	PVD (Bât F)	2/11/2015	Riber

SFD NOMOS (J-TRAI)	J3	PVD (Bât F)	12/18/2014	31 degrees
Tousimis NOMOS (J-TRAI)	J2	PVD (Bât F)	1/1/2004	Tousimis
AC450CT Pulvérisation NoMOS (D-PRST)	D5	PVD (Bât F)	9/22/2020	Alliance Concept
Plassys nano MOS (D-PRST)	D9	PVD (Bât F)	3/1/2017	Plassys
TFE 644 Pulvérisation NoMOS (D-PRST)	D10	PVD (Bât F)	11/13/2017	Thin Film Equipment (TFE)
ALD-LL NoMOS (T- CVD)	CVD2	Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2)	10/31/2019	Sentech
ECR PECVD NoMOS (T-CVD)	CVD3	Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2)	8/30/2022	Roth&Rau
Recuit métaux divers sauf Au et Cu sur Si (T-FOUR)	T26	Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2)	1/1/1997	ASM
Recuit Au et Cu sur tout substrats (T-FOUR)	T27	Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2)	1/1/1997	ASM
Recuit Au et Cu sur Si (T-FOUR)	T28	Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2)	1/1/1997	ASM
Four Tempress Si-poly MOS COMPATIBLE (T- CVD)	CVD7	Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2)	1/1/1988	Tempress
RTP As-One (T-FOUR)	T13	Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2)	1/1/2008	Annealsys
RTP As-Master MOS Compatible (T-FOUR)	T14	Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2)	1/1/2008	Annealsys
Four OXYNIT6 MOS COMPATIBLE (T- CVD)	CVD4	Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2)	1/1/2006	Centrotherm
Four AET Propre MOS Compatible (T-FOUR)	T16	Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2)	1/1/1986	AET
Four AET Bore MOS Compatible (T-FOUR)	T17	Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2)	1/1/1986	AET
Four AET Phosphore (T-FOUR)	T18	Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2)	1/1/1986	AET
Four Alox (T-FOUR)	T19	Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2)		AET
CCPECVD MOS COMPATIBLE (T- CVD)	CVD9	Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2)	11/30/2018	ApSy
ICPECVD MOS COMPATIBLE (T- CVD)	CVD8	Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2)	1/1/2010	Oxford

ALD Fiji MOS COMPATIBLE (T- CVD)	CVD1	Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2)	4/19/2012	Cambridge Nanotech
Recuit Polyimide (T-FOUR)	T9	Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2)	1/1/2011	AET
Recuit métaux lourds 6" (T-FOUR)	T10	Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2)	1/1/2011	AET
Recuit verre 6" (T-FOUR)	T11	Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2)	1/1/2011	AET
Recuit ferrite 6" (T-FOUR)	T12	Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2)	1/1/2011	AET
Four SIPOLY6 MOS COMPATIBLE (T- CVD)	CVD5	Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2)	1/1/2006	Centrotherm
Four SI3N46 MOS COMPATIBLE (T- CVD)	CVD6	Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2)	1/1/2006	Centrotherm
Four RECUIT6 MOS Compatible (T-FOUR)	T7	Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2)	1/1/2006	Centrotherm
Four OXYPHOS6 MOS Compatible (T-FOUR)	T3	Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2)	1/1/2006	Centrotherm
Four OXYBORE6 MOS Compatible (T-FOUR)	T2	Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2)	1/1/2006	Centrotherm
Four OXYPROP6 MOS Compatible (T-FOUR)	T1	Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2)	1/1/2006	Centrotherm
Four DIFPHOS6 MOS Compatible (T-FOUR)	T4	Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2)	1/1/2006	Centrotherm
SPD NOMOS (J-TRAI)	J1	Traitements thermiques/thermal treatment (Bâts F et G2)	8/7/2013	MEMSSTAR