



**femto**  
ENGINEERING

from science to society



RAPPORT D'ACTIVITÉ  
2014

## TABLE DES MATIÈRES

|                         |    |
|-------------------------|----|
| Edito                   | 5  |
| Présentation            | 6  |
| Bilan d'activité        | 8  |
| Filières technologiques | 10 |
| Actions collectives     | 16 |
| Prospection             | 17 |



## EDITO

À l'heure où les universités françaises sont invitées à prendre leur autonomie et à s'inscrire dans un contexte de compétition grandissante entre les systèmes d'enseignement supérieur, de recherche et d'innovation, la fondation partenariale FC'INNOV s'impose comme un dispositif stratégique au sein de l'écosystème d'innovation territorial.

Elle a vocation à ouvrir plus encore l'Université de Franche-Comté et les établissements partenaires sur l'entreprise en simplifiant à celle-ci l'accès aux développements scientifiques et techniques en cours et à accompagner le développement de la recherche technologique aux côtés de la recherche fondamentale, source d'innovation de rupture.

En ce sens, elle contribue à renforcer le leadership du territoire dans les domaines des matériaux avancés, de la photonique, des nanotechnologies et des systèmes de fabrication avancés et de répondre aux défis sociétaux qu'adressent notamment l'énergie, la santé et le bien-être.

Lamine BOUBAKAR  
Président de FC'INNOV



L'institut de recherche FEMTO-ST mène des activités de recherche qui conduisent à des preuves de concept, à la création de nouvelles technologies et de nouveaux savoir-faire, qui peuvent être mis à profit selon plusieurs voies pour développer l'impact socio-économique. Par ailleurs, en complément de la recherche partenariale, nombre de nos partenaires industriels sont intéressés par des prestations de haute technologie dont la maîtrise est directement issue des activités de recherche. Ainsi, si de telles prestations ne relèvent pas de l'activité de recherche et des personnels dédiés à celle-ci, elles en dépendent directement et la prolongent utilement.

C'est l'objet de FEMTO Engineering, Business Unit de FC'INNOV, qui prolonge ainsi les activités de recherche de FEMTO-ST dans des secteurs et à travers des projets explicités dans ce rapport d'activités. Il s'agit là d'un très bel outil pour accroître les liens entre le monde socio-économique et celui de la recherche, fixer au sein du laboratoire des compétences technologiques clés et accroître ainsi le potentiel de recherche et développement technologique et partenarial.

Je me réjouis de l'activité de FEMTO Engineering durant cette première année civile complète. FEMTO-ST poursuivra son engagement dans le développement de ce projet.

Nicolas Chaillet  
Directeur de l'Institut FEMTO-ST



# PRÉSENTATION

## ACTIVITÉ

En 2013, l'Université de Franche-Comté a créé la Fondation partenariale FC'INNOV. Celle-ci porte FEMTO Engineering, le centre de développements technologiques de l'institut de recherche FEMTO-ST. 2014 est la première année de pleine d'activité pour le centre.

En septembre, FEMTO Engineering a suivi l'institut FEMTO-ST dans le nouveau bâtiment TEMIS.

Le centre assure l'interface entre la recherche réalisée par FEMTO-ST et les besoins d'innovation des industriels. Il leur propose ainsi des développements spécifiques de haut niveau qui découlent des travaux de recherche de FEMTO-ST.

FEMTO Engineering met ses compétences aussi bien au service des entreprises locales que des grands groupes internationaux.

En s'appuyant sur les équipements de l'institut de recherche, FEMTO Engineering réalise des développements dans 4 grandes filières technologiques :

- Energie
- Optique
- Temps-Fréquence
- Micro-technologies de salle blanche

La marque FEMTO ENGINEERING a été déposée en France et dans plusieurs pays européens.



## ORGANISATION

### Organes décisionnaires

#### Bureau

En juin 2014, Lamine BOUBAKAR a succédé à Jacques BAHl à la Présidence de la Fondation FC'INNOV.

- Président : Lamine Boubakar, Vice-Président recherche de l'Université de Franche-Comté, en charge de la commission scientifique
- Vice-Président : Hervé Maillotte, Directeur du département d'Optique de FEMTO-ST
- Secrétaire : Nicolas Chaillet, Directeur de FEMTO-ST

#### Le Conseil d'administration

##### Collège Membres Fondateurs

- Jacques BAHl, Président UFC
- Lamine BOUBAKAR, Vice président recherche en charge de la commission scientifique UFC
- Christophe de Casteljaou, Directeur Général des Services UFC
- Martine DUFOUR, Directrice du SAIC UFC
- Nicolas CHAILLET, Directeur FEMTO-ST
- Vincent GIORDANO, Directeur du département Temps-Fréquence, FEMTO-ST
- Hervé MAILLOTTE, Directeur du département d'Optique, FEMTO-ST
- Franck CHOLLET, Responsable scientifique MIMENTO, FEMTO-ST
- Christophe ESPANET, Responsable de l'équipe MACH du département Energie, FEMTO-ST

##### Collège Personnalités Qualifiées

- Véronique MENETRIER, représentante de la Présidente du Conseil Régional de Franche-Comté
- Jean-Pierre GOEDGEBUER, Directeur d'INNEA Innovation Consulting
- Georges Kotrotisios, VP Marketing et Business du CSEM
- David Ferrebeuf, Secrétaire Général de la Vallée de l'Energie

##### Collège Entreprises

- Antoine GERARD, Président du Groupe IMI
- Daniel CADET Directeur pour les affaires techniques extérieures d'ALSTOM Transport
- Emmanuel GIRARDET, Président d'AR Electronique

### Les ressources humaines

L'équipe s'est étoffée tout au long de l'année avec le recrutement de 5 nouveaux salariés, portant les effectifs à 9 en fin d'année.

- Grégory HAYE, Directeur général
- Tatiana LOCATELLI, Responsable administration communication

#### Energie

- Grégory GAULTIER, ingénieur en génie électrique modélisation électrique, magnétique et thermique de moteurs électriques.
- Nathalie DEVILLERS, PhD, ingénieur en génie électrique : gestion de l'énergie électrique pour des systèmes embarqués et stationnaires.

#### Optique

- Jassem SAFIOUI, PhD, ingénieur opticien : micro & nano-usinage par laser femtoseconde

#### Temps-Fréquence

- Benoît DUBOIS, PhD, ingénieur en génie électrique : oscillateur cryogénique ultrastable (ULISS), Equipex oscillateur-IMP

#### Micro-technologies de salle blanche

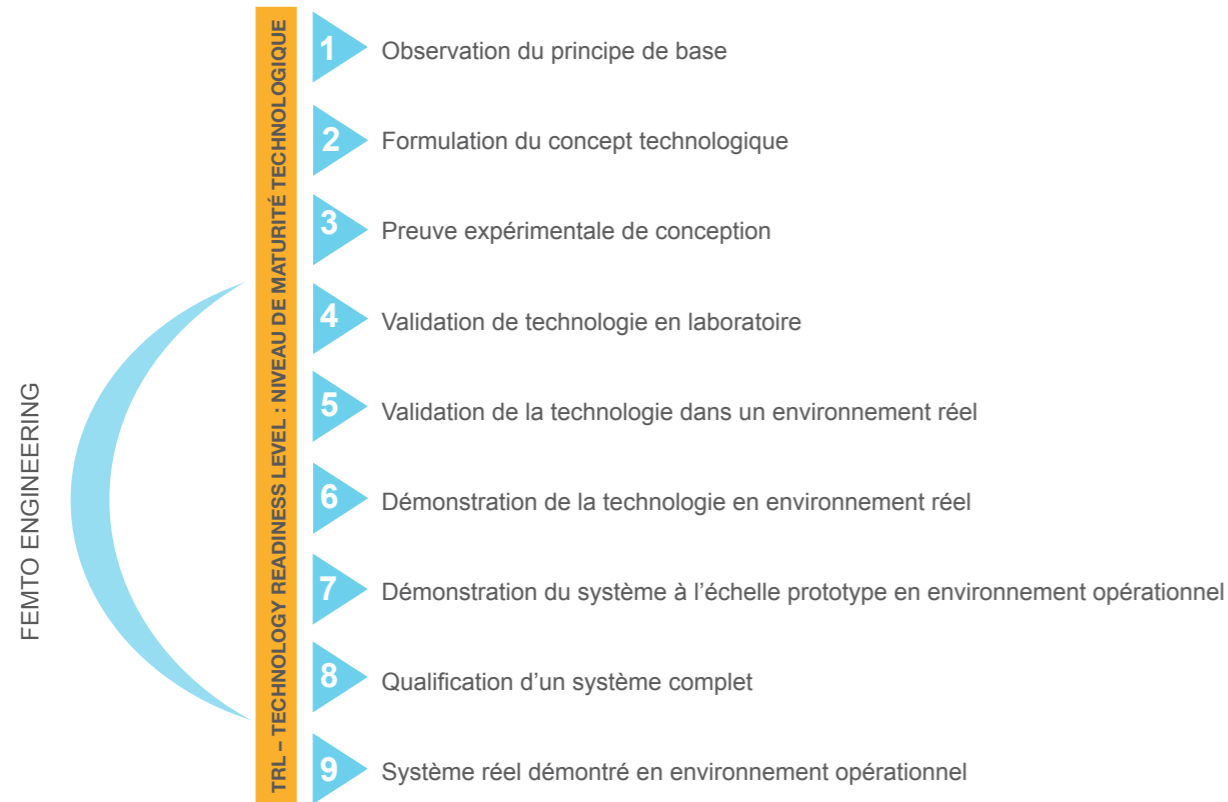
- Jamal EL MANSOURI, ingénieur en micro-technologies de salle blanche
- Florent BASSIGNOT, PhD, ingénieur en micro-technologies de salle blanche : projet RACE3 avec les départements d'optique et temps-fréquence, en partenariat avec le Labex ACTION.
- Rabah ZEGGARI, PhD, ingénieur en micro-technologies de salle blanche : développement et fabrication de biopuces



# BILAN D'ACTIVITÉ

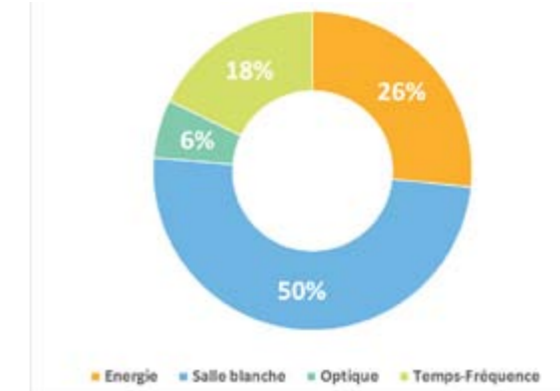
FEMTO Engineering réalise des développements technologiques sur des niveaux de TRL allant de 3 à 7 (TRL : Technology Readiness Level, échelle de notation de la maturité d'une technologie, issue de la NASA. Le niveau 3 à 7 correspond à l'étage intermédiaire entre la recherche et la production).  
Son modèle économique est basé sur celui des RTO (Research and Technology Organisation) tels que les instituts Fraunhofers en Allemagne ou le CSEM en Suisse.

L'association FEMTO-ST/FEMTO Engineering permet de proposer un large panel de compétences et de savoir-faire aux partenaires industriels, allant de la recherche amont de FEMTO-ST jusqu'aux développements applicatifs de FEMTO Engineering et le transfert de technologie. Ceci est renforcé par l'immersion des docteurs et ingénieurs de FEMTO Engineering dans les équipes de recherche, sous la supervision scientifique de chercheurs et enseignants-chercheurs.

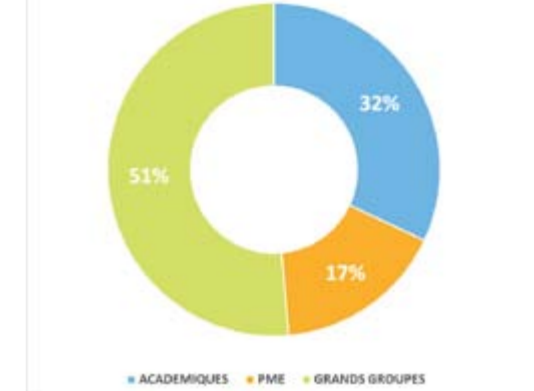


# CHIFFRE D'AFFAIRES 2014

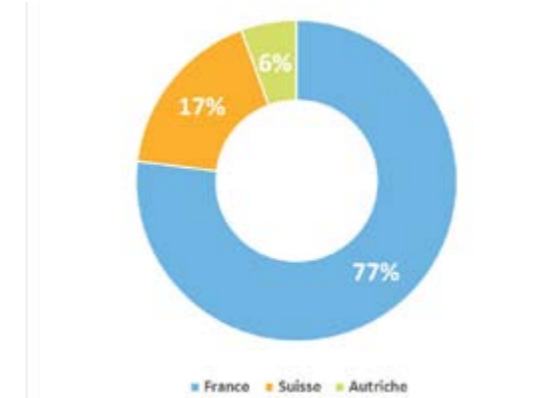
Répartition par filière technologique



Répartition par catégorie de clients



Répartition géographique



Quelques références clients





# FILIÈRES TECHNOLOGIQUES

## MICRO & NANO-USINAGE PAR LASER FEMTOSECONDE

Réalisé au sein du département d'optique de FEMTO-ST (équipe OPTO), l'usinage par laser femtoseconde permet de structurer n'importe quel type de matériau à la surface et/ou en profondeur avec une qualité d'état de surface unique.

L'usinage par laser femto-seconde (fs) se caractérise par rapport aux autres régimes d'usinages, picoseconde et nanoseconde, par une qualité de structuration et de découpe ultra-précise et sans débris. Le dépôt de cette énergie sur la surface d'un matériau quelconque, éjecte instantanément et d'une manière très localisée la matière de la zone exposée, sans altérer la partie adjacente, ceci grâce au processus non thermique de ce régime.

Cette technologie innovante trouve des applications dans les domaines de la télécommunication, l'automobile, l'horlogerie ou encore le biomédical comme par exemple :

- la réalisation de composants intégrés pour les télécommunications du futur,
- l'inscription de motifs invisibles à l'œil nu pour lutter contre la contrefaçon...

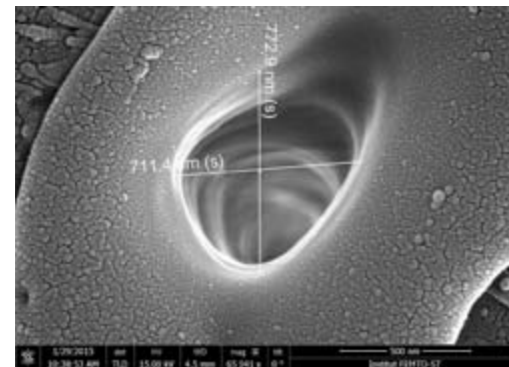
### Usinage de feuilles de fibres de carbone

- Découpe et structuration de plusieurs motifs dans des feuilles de fibre de carbone de 250µm d'épaisseur.
- Découpe et structuration de motifs de différentes formes géométriques pour la réalisation d'un mini robot 3D en feuilles de carbone.

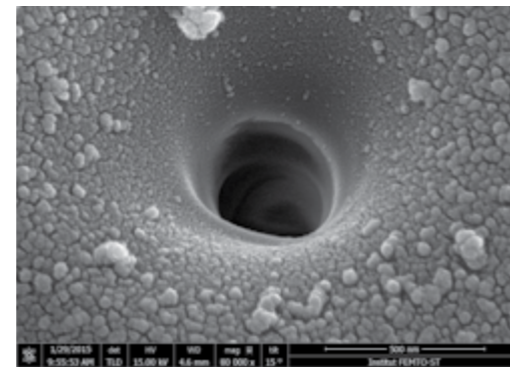
### Usinage de couches minces

L'effet non-thermique de l'usinage par laser femto-seconde permet de découper et de structurer des couches polymères très minces. Ainsi, des couches minces de polyethylene terephthalate de 10µm d'épaisseur ont pu être découpées sous différentes formes, sans aucun débris ni déformation.

La micro-structuration de couches de polycarbonates de 10µm d'épaisseur a également été réalisée. Plusieurs centaines de trous de 5µm de diamètre ont été structurés sur une surface de 50mm<sup>2</sup> pour des applications biologiques.



Nano-usinage de verre par laser femtoseconde – Faisceaux de Bessel



## ENERGIE

### Modélisation électrique, magnétique et thermique

Dès janvier 2014, FEMTO Engineering a intégré l'activité modélisation avec la réalisation de développements de modèles électriques, magnétiques et thermiques de moteurs électriques pour la traction ferroviaire.

La modélisation de phénomènes ou de fonctionnements particuliers de systèmes a été réalisée :

- afin d'expliquer des observations,
- dans un but prédictif pour le développement de produits.

Des modèles ou algorithmes sont également développés pour améliorer des outils prédictifs existants.

Le technologue est intégré à l'équipe MACH (Machines thermiques et électriques non conventionnelles) du département ENERGIE de FEMTO-ST.



Pile à combustible

### Gestion de l'énergie électrique - Hydrogène-énergie

En septembre 2014, FEMTO Engineering a intégré cette nouvelle activité de développement de solutions pour la gestion de l'énergie électrique pour des systèmes embarqués ou stationnaires.

La technologue travaille au sein de l'équipe SHPAC : Systèmes Hybrides et Pile à Combustible.

#### Caractérisation et modélisation

FEMTO Engineering propose aux entreprises des solutions pour caractériser différentes sources d'énergie électrique tels que des systèmes de stockage de type batteries et des systèmes « pile à combustible », ainsi que pour modéliser et émuler ces systèmes.

#### Caractérisation de sources d'énergie électrique :

- Eléments de stockage : accumulateurs électrochimiques, supercondensateurs,
- Pile à combustible.

#### Modélisation et définition de lois de gestion de l'énergie sur des systèmes hybrides :

- Modélisation de systèmes multi-physiques et multi-échelles,
- Evaluation par simulation de lois de gestion de l'énergie,
- Dimensionnement de sources d'énergie électrique.

#### Bancs de test et systèmes énergétiques

En travaillant notamment sur la maturation autour de l'hydrogène-énergie, l'équipe développe des bancs de test dédiés et des systèmes énergétiques performants et adaptés à l'application finale, que ce soit en transport ou en stationnaire.

- Développement de bancs de tests dédiés aux sources d'énergie électrique,
- Développement de prototypes dans le cadre de la maturation de technologies développées au laboratoire.

## TEMPS-FRÉQUENCE

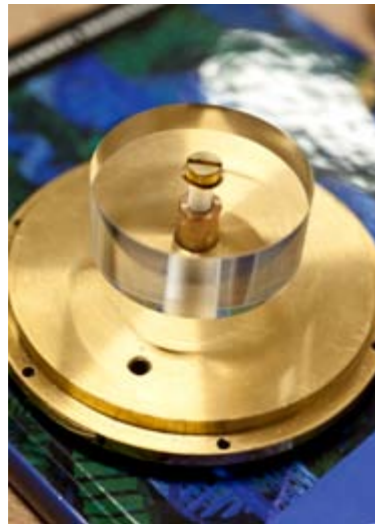
FEMTO Engineering possède une expertise dans le développement et la caractérisation des systèmes et références Temps-Fréquence (TF) acquise notamment avec la participation au développement de l'oscillateur cryogénique ultra-stable ULISS.

FEMTO Engineering a acquis également des compétences approfondies dans le domaine du développement électronique. Cette expertise permet d'intervenir sur des systèmes électroniques fortement hétérogènes en apportant une approche globale et un interlocuteur unique.

### ULISS : oscillateur cryogénique ultrastable

En mars et avril, ULISS a été loué au CNES de Toulouse pour une campagne de mesures pour la caractérisation du modèle de vol de la synthèse de fréquence de l'horloge Pharaon.

En décembre a débuté une campagne de mesures à l'Observatoire de Paris avec entre autre, la caractérisation d'une des horloges de référence UTC/OP avec ULISS comme oscillateur local.



Cristal de saphir

### Equipex Oscillateur-IMP

Au sein du groupe de travail Go Digital et de l'équipe d'Oscillateur-IMP, le technologue de FEMTO Engineering a participé à l'étude, la définition et les tests préliminaires d'une instrumentation utilisant des techniques numériques et permettant la mise en œuvre de mesures à très haute résolution (du type 3-cornered-hat) dans le domaine fréquentiel et temporel.

L'objectif étant d'atteindre une résolution relative de fréquence meilleure que  $10^{-15}$  à 1s pour une large gamme de fréquence de la porteuse.

Plusieurs voies seront explorées suivant le niveau de résolution requis et la fréquence de la porteuse : instrument basé sur un phasemètre analogique suivi d'une numérisation ou instrument « tout numérique » numérisant directement le signal à la fréquence de la porteuse.

### Publication

En septembre 2014, publication d'un article en collaboration avec le Laboratoire Temps-Fréquence (LTF) de Neuchâtel et le TF de Besançon suite à une campagne de mesure menée en janvier 2012 à Neuchâtel.

« Ultra-stable microwave generation with a diode-pumped solid-state laser in the 1.5- $\mu$ m range »

Vladimir Dolgovskiy, Stephane, Schilt, Nikola Bucalovic, Gianni Di Domenico, Serge Grop, Benoît Dubois, Vincent Giordano and Thomas Sudmeyer

*Applied Physics B Laser and Optics, Vol.116, Issue 3*

### Participation à l'EFTF 2014

Du 24 au 26 juin, FEMTO Engineering a exposé à l'EFTF (European Frequency and Time Forum) à Neuchâtel et a réalisé une présentation en collaboration avec le groupe Temps-Fréquence de FEMTO-ST :

« Latest improvements in the performances of a Cryogenic Sapphire Oscillator »

S. Grop, B. Dubois, G. Haye, Jean-Louis Masson, Christophe Fluhr, Yannick Gruson, Yann Kersalé, Enrico Rubiola, Gregory Haye, Vincent Giordano



EFTF 2014



## MICRO FABRICATION DE SALLE BLANCHE

FEMTO Engineering a réalisé des travaux de R&D en micro-mécanique, micro-nano-optique et micro-nano-acoustique afin de concevoir et de réaliser des dispositifs MEMS, MOEMS et NEMS.

Pour ces travaux, l'équipe travaille au sein de la centrale de micro & nano fabrication de l'Institut FEMTO-ST, faisant partie du réseau national RENATECH. Avec ses 1400 m<sup>2</sup> de salle blanche, la centrale MIMENTO (Microfabrication pour la MEcanique, les Nanosciences, la Thermique et l'Optique) est dotée d'un parc d'équipements de haute technologie qu'elle ouvre à la fois à des partenaires académiques et industriels.

En avril, un premier technologue a été recruté afin d'adresser les commandes des industriels sur l'ensemble des technologies du parc.

### Biomedical : Conception et production de biopuces

Un technologue de salle blanche a rejoint FEMTO Engineering en décembre pour développer l'activité biopuce issue des travaux de l'équipe MIMU (Microsystèmes Multiphysiques) de FEMTO-ST autour de 2 axes :

#### Développement de puces à propriétés plasmoniques :

Fabrication de puces compatibles SPR/SPRI  
Fabrication de puces sur mesure micro-nano-structurées  
Fonctionnalisation pour une utilisation en bio-analyse dans des fluides complexes (sang, plasma, extraits cellulaires)  
Stratégie de greffage de biomolécules sur puce

#### Analyse d'interactions biologiques sur biopuces :

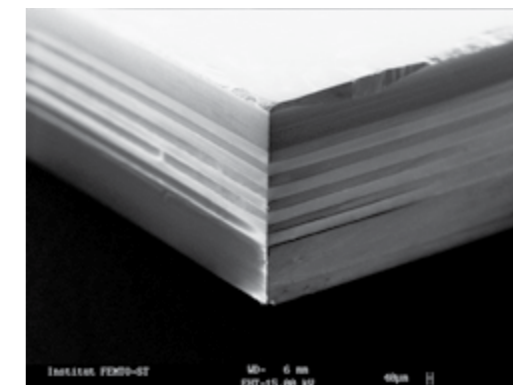
Études et analyses cinétiques d'interaction en milieu idéal  
Criblage de molécules basse et moyenne densité  
Détection et dosage de molécules d'intérêt dans des fluides biologiques complexes  
Analyse SUPRA-MS : détection et identification de cibles protéiques par couplage des biopuces avec la spectrométrie de masse (plateforme protéomique CLIPP)

### Projet RACE3 : Report-Amincissement de Couches Electro-optiques, piEzoélectriques et fEroélectriques

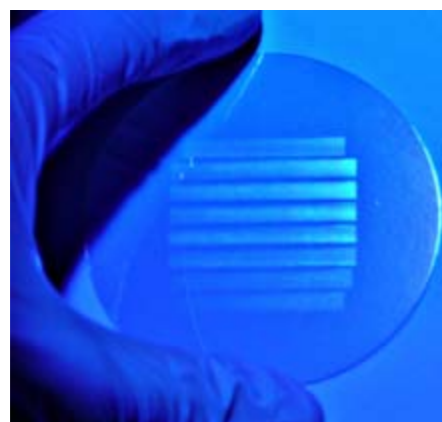
FEMTO-ST a acquis via différents projets un niveau de maîtrise à l'état de l'art dans la mise au point des technologies de report/amincissement de plaques, d'inversion de domaines («poling») et de structures à haut facteur de forme («ridge») à partir de wafers en matériaux électro-optiques, ferroélectriques et piezoélectriques, pour des besoins de recherche multiples (acoustique, photonique, temps-fréquence, capteurs ...).

Un technologue a rejoint FEMTO Engineering en mai afin de réaliser le prolongement et le déploiement de ces technologies. Principalement opéré par FEMTO Engineering et en collaboration directe avec un industriel, le projet RACE3 vise à fiabiliser et valoriser ces avancées génériques et stratégiques par du développement technologique, du transfert industriel et l'identification d'applications.

Un volet recherche complémentaire vient accompagner ces développements par des caractérisations technologiques et structurales poussées.



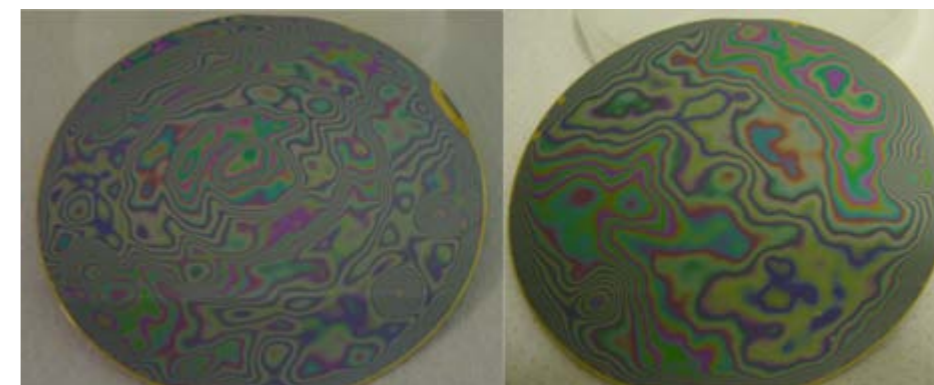
Substrat composite multi-couches



Substrat de LiNbO3 polarisé périodiquement



Biopuces pour le diagnostic de pathologies



Substrat composite Si Au LiNbO3 : l'amélioration du procédé d'amincissement a permis d'obtenir une meilleure homogénéité de l'épaisseur de la couche





# ACTIONS COLLECTIVES

## ENCRAGE

Dans une perspective de valorisation des actions de R&D de l'institut de recherche FEMTO-ST et pour favoriser l'émergence d'innovations en Franche-Comté, FEMTO engineering s'est lancé au côté de partenaires français et suisses (MIND, HEPIA, CEA, CSEM) dans un projet de création et de réalisation de démonstrateurs scénarisés.

Le projet ENCRAGE consiste à dérouler un processus de mise en valeur d'une technologie mature pour aboutir à l'identification d'une application industrielle potentielle pour laquelle sera réalisé un démonstrateur scénarisé.

Pour FEMTO Engineering, cela permet de s'appuyer sur l'expérience des partenaires du projet d'une part et d'autre part, cela représente un réel intérêt stratégique pour :

- Monter en compétence sur la réalisation de démonstrateurs scénarisés,
- Initier la réalisation d'un show-room en partenariat avec FEMTO-ST,
- Accroître le transfert de technologie,
- Sensibiliser à l'entreprenariat,
- Développer la création de spin-off.

Le projet ENCRAGE fait l'objet d'une demande de financement FEDER dans le cadre de l'INTERREG V.



Ateliers INNOVARC

## INNOVARC

FEMTO Engineering a été sélectionné comme consultant dans le cadre du programme Innovarc pour mener des actions de conseil en innovation.

Le programme Innovarc a pour objet de soutenir l'innovation dans les entreprises et laboratoires de l'Arc jurassien franco-suisse. FEMTO Engineering participe aux différents ateliers Innovarc, sur un rythme de 2 à 3 rencontres par an. Les premières thématiques abordées en 2014 étaient la mobilité, ainsi que la ville intelligente et ses systèmes innovants.

## COMMUNAUTÉ DU SAVOIR - CONFÉRENCE TRANSJURASSIENNE (CTJ)

Lors du 2ème colloque transfrontalier de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation de l'arc jurassien franco-suisse, organisé le 12 décembre 2014 à Neuchâtel, FEMTO Engineering a animé le groupe de travail « Favoriser le transfert de technologie et l'émergence de produits innovants avec le tissu industriel régional ».



# PROSPECTION

## SALONS ET RENCONTRES PROFESSIONNELS

### Le mAm

FEMTO Engineering a participé au mAm, Micronarc Alpine Meeting, les 19 et 21 janvier 2014, sur le thème des équipements pour micro-dispositifs. A cette occasion, FEMTO a pu présenter ses solutions d'innovation aux industriels en Suisse.

### Petit déjeuner TEMIS Innovation

Le 20 mai 2014, FEMTO Engineering était l'invité d'un des petits déjeuners de BGE Franche-Comté et TEMIS Innovation. Cela a été l'occasion pour FEMTO Engineering de se présenter comme nouveau partenaire de l'innovation industrielle auprès d'une vingtaine d'acteurs économiques francs-comtois.

### L'EPMT

FEMTO Engineering a exposé à l'EPMT, le salon suisse de l'innovation technologique et de la haute précision, du 17 au 20 juin 2014, à Genève en Suisse. Cela a permis de conforter les liens déjà forts avec la haute-horlogerie suisse.

### L'EFTF

FEMTO Engineering a exposé lors de la 28ème édition de l'EFTF, European Frequency and Time Forum, qui se tenait pour la première fois en Europe, du 23 au 26 juin 2014, à Neuchâtel en Suisse.

Le Forum a rassemblé chercheurs et ingénieurs, fournisseurs de services, opérateurs, développeurs et laboratoires nationaux de métrologie pour échanger et promouvoir le développement des systèmes et composants de temps-fréquence.



EFTF 2014

### Micronora

FEMTO-ST et FEMTO Engineering ont partagé un stand à MICRONORA, le salon international des microtechniques à Besançon, du 23 au 26 septembre 2014.



MICRONORA 2014

### Les rendez-vous Carnot

Les 8 et 9 octobre 2014, FEMTO Engineering a participé aux rendez-vous d'affaires de la R&D : les rendez-vous Carnot à Lyon. L'équipe de FEMTO Engineering a participé à plus de 20 rencontres individuelles avec des industriels, grands comptes ou PME.

### R&T Days - Airbus

Organisées par Airbus les 20 et 21 novembre, ces 2 journées ont permis à l'équipe de participer à 2 ateliers, l'un sur la mécatronique et l'autre sur l'électronique et les capteurs.

### Docteurs & Entreprises

Le 18 décembre 2014 a participé au congrès Docteurs & Entreprises à Belfort. Cet événement visait à rapprocher le monde académique régional, les régions voisines et les entreprises implantées en Franche-Comté, en plaçant les futurs docteurs au centre de cette dynamique.



## OUTILS DE COMMUNICATION

### Plaquette promotionnelle

Une plaquette promotionnelle a été réalisée à 600 exemplaires en français et 150 en anglais. Elle a été diffusée lors de salons industriels, de conférences scientifiques, ou au sein de réseaux.

### Site internet

Le site [www.femto-engineering.fr](http://www.femto-engineering.fr) a été mis en ligne courant mars 2014. Il présente les solutions d'innovation, les équipements, les réalisations et les actualités de FEMTO Engineering.

Vitrine du centre de développement technologique, il constitue une porte d'entrée pour les industriels.



Membre fondateur :



Soutien financier :





**from science to society**

FEMTO Engineering c/o Institut FEMTO-ST - 15B Avenue des Montboucons - F-25030 BESANCON CEDEX  
Tél. +33 (0)3 63 08 24 14 - Fax +33 (0)3 81 66 60 07 - [www.femto-engineering.fr](http://www.femto-engineering.fr)  
SIRET 794 326 116 00017 - APE 7219Z