

Proposition de sujet

Mems4hydro Capteurs MEMS pour les écoulements fluides

Partie A : Administration

Date de première soumission : 14 avril 2014

version n°1

Sélectionner ci-dessous un axe thématique et un axe transversal

Axes Thematiques

1. Electronique ☐
2. Spintronique ☐
3. Photonique ☐
4. Energie ☒
5. Santé & Environnement ☐

Axes Transversaux

1. ChimTronique ☐
2. Simulation ☐
3. Caractérisation ☒
4. Nanomatériaux ☐
5. Instrumentation mutualisée ☒
6. Valorisation ☐

Données administratives :

Responsable du projet	Alain GIRARD DSM/INAC/SBT Nom du chef de département ou Institut: Yves Samson Nom du chef de service : Lionel Duband Nom du chef de laboratoire: Jean-Marc Poncet
Partenaire :	Jean-Paul MORO DEN/DANS/DM2S/STMF Nom du chef de département ou institut: Christian Cavata Nom du chef de service : Bernard Faydide Nom du chef de laboratoire : Jean-Paul Garandet
Titre	Capteurs MEMS pour les écoulements fluides
Résumé	Le SBT et le STMF joignent leurs compétences pour mettre au point, caractériser et utiliser des capteurs microfabriqués afin d'augmenter la résolution spatiale et la fiabilité des anémomètres utilisés dans nos unités. Une comparaison avec les meilleures mesures réalisées avec des fils chauds « conventionnels » sera effectuée dans le domaine de recouvrement des deux technologies.
Soutien(s) Nanosciences déjà reçu(s)/demandé(s) par le laboratoire (date et référence du (des) projet(s))	Néant
Projet(s) déposé(s) ou en construction sur cette thématique (Carnot, ANR, FP7, autres) etc...	En projet (moyen terme) : ANR ; H2020 dans la thématique microcapteurs pour la mesure d'écoulements. Un brevet est en cours de rédaction sur un capteur diphasique (mesure des gouttes) à la DEN
Budget demandé	133 k€

Avis du responsable hiérarchique habilité :

Duband Lionel

13/03/14

Partie B : Description du projet

1. Contexte et objectifs du projet

Le projet associe deux entités CEA qui excellent chacune dans leur domaine (la thermohydraulique à la DEN, au STMF, la cryogénie à la DSM, au SBT), et qui sont convaincues toutes deux des avantages que les micro-nanotechnologies sont susceptibles de leur apporter pour faire un saut qualitatif dans la caractérisation aussi bien des écoulements que des matériaux (deux domaines extrêmement stratégiques tant à la DEN qu'au SBT); au SBT l'intérêt des microtechnologies et des MEMS est encore augmenté par la perspective de réaliser des « microcoolers » qui pourraient être intégrés au plus près des détecteurs. Aujourd'hui un besoin est très clairement exprimé au niveau de la caractérisation des écoulements, c'est pourquoi les deux laboratoires souhaitent se lancer dans le développement de microcapteurs à base de technologies MEMS pour la caractérisation fine des écoulements turbulents, diphasiques ou non.

DEN/STMF et DSM/INAC/SBT, bien que dans des directions distinctes et avec des missions différentes, présentent certaines similarités : dans les deux laboratoires la mécanique et la thermique sont les deux technologies principalement utilisées et développées, avec les spécificités propres bien entendu à chaque unité. Mais dans les deux cas les objets mis en jeu vont de dimensions typiquement centimétriques jusqu'à de grandes installations de plusieurs mètres/tonnes. Pour autant, les besoins de mesures fines des deux unités requièrent également des capteurs dont les dimensions caractéristiques deviennent submillimétriques. Ainsi au SBT des microthermocouples (dimension 30 μ) ont-ils été mis au point pour caractériser des caloducs [1]; au STMF des fils chauds submillimétriques ont été utilisés et développés pour la mesure précise de vitesse, tant moyenne que fluctuante [2]. De tels fils chauds ont été adaptés pour la caractérisation d'un jet turbulent à basse température dans une première collaboration informelle entre SBT et STMF [3], dont les dimensions sont typiquement 200 μ . Aujourd'hui les deux laboratoires souhaitent accéder à des dimensions plus faibles, avec des capteurs de l'ordre de la dizaine de microns. Dans ces conditions, toute l'habileté humaine dans la réalisation de fils chauds « conventionnels » trouve ses limites et il faut envisager de passer par de la microfabrication avec une précision d'usinage nettement inférieure au micron. C'est dans ce cadre que se situe le projet précis ici décrit.

On compte démarrer sur un programme de 18 mois, appelé à se développer sur le plus long terme : en effet si, après ce délai, on devrait disposer d'une première gamme de capteurs, en revanche il est évident que nous n'aurons pas le temps d'aller vers l'optimum de sensibilité de ceux-ci (variation sur les matériaux déposés, supraconducteurs ou non, essais d'autres méthodes, etc...). En outre, l'un des objectifs de ce travail est d'augmenter les compétences des deux services dans le domaine de la microfabrication, et celle-ci est clairement appelée à se répandre au niveau de la caractérisation des matériaux, ainsi que, au SBT, dans le domaine des microcoolers. Le point de départ du travail sera le capteur développé à Princeton [4], permettant de mesurer avec une résolution de 60 μ , à température ambiante, la vitesse d'un écoulement turbulent. Il s'agira de reproduire ce capteur, pour l'adapter aux conditions de travail rencontrées à la DEN et au SBT. Des évolutions de ce capteur pourront être ensuite réalisées, où le dépôt de la partie sensible (dépôt de 0,1 μ de Pt dans la référence [4]) pourrait être remplacé par un supraconducteur au seuil de transition. D'autres idées devraient naître au cours du projet.

2. Description de l'état de l'art, positionnement des équipes du CEA

Les deux équipes sont, chacune dans leur domaine, à la pointe de la recherche. En effet, le SBT est pionnier dans la réalisation d'installations cryogéniques de grandes dimensions (400W [5], Helios [6], Shrek [7]), dont la plus récente (Shrek) est dédiée à la recherche en hydrodynamique cryogénique. Il s'agit de l'expérience la plus extrême réalisée à ce jour en termes de nombres de Reynolds obtenus en laboratoire ($Re \sim 10^8$, $R_\lambda \sim 8000$) ; elle est couplée au réfrigérateur 400 W qui lui permet de travailler jusque dans le domaine superfluide avec une température ultime de 1,6 K. Cette expérience donne au SBT un positionnement particulièrement visible dans le contexte européen des Infrastructures dédiées à la turbulence (I3 « Euhit » <http://www.euhit.org>). D'un autre côté le STMF est à la pointe en termes de mesures anémométriques à l'aide de fils chauds de type Wollaston. La qualité des mesures obtenues, [2] et figure 1 (a et b), est le résultat d'une optimisation à tous les niveaux : qualité de réalisation du fil chaud lui-même, de l'électronique en réduisant toutes les sources de bruit et mode de positionnement de l'ensemble dans l'écoulement. STMF et SBT ont travaillé ensemble sur l'expérience Hejet (au SBT) pour mettre en œuvre des fils chauds Wollaston conçus spécialement au STMF pour des conditions cryogéniques ; ce travail commun a donné des résultats particulièrement riches, actuellement en cours de soumission à diverses revues [3].

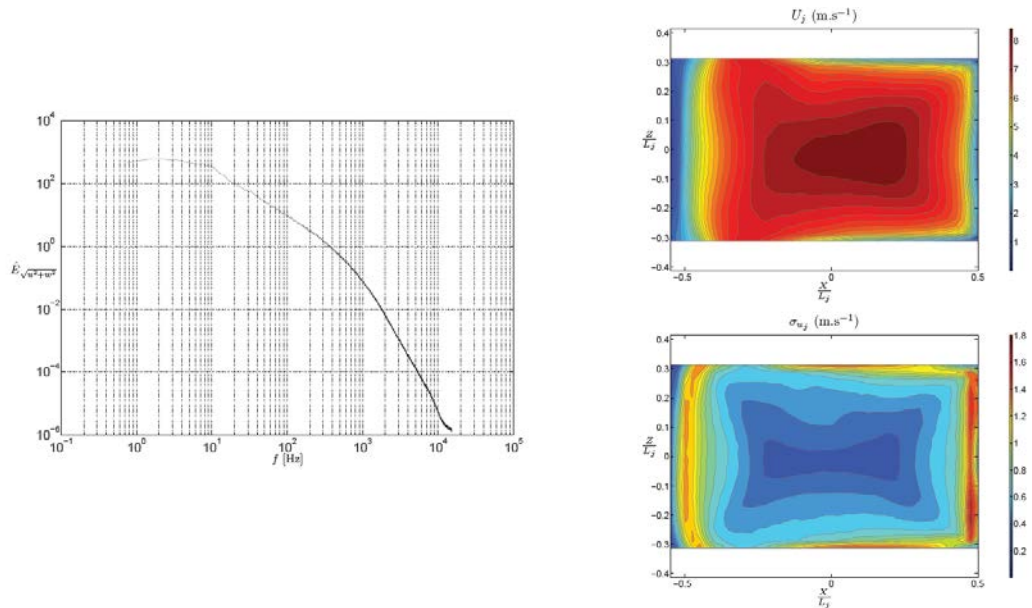


Figure 1 (dans [2]): a (gauche) un spectre d'énergie avec 9 décades en dynamique ; b (droite): mesure de vitesse (moyenne : haut, écart type : bas): observer la résolution à la sortie du jet.

Ce sont ces deux compétences, mises ensembles, qu'il s'agit d'augmenter encore grâce à l'apport des microtechnologies, en profitant de l'environnement unique grenoblois et à l'Inac en particulier, avec la présence de la PTA dont les acteurs ont déjà établi un diagnostic optimiste sur les possibilités de réalisation des microcapteurs de Princeton. En outre le SBT a déjà engagé des études CFD pour évaluer la tenue mécanique de ces capteurs à basse température. Le laboratoire de Princeton, reconnu mondialement pour la qualité de ses recherches en hydrodynamique fondamentale (à température ambiante) : <https://www.princeton.edu/mae/people/faculty/smits/homepage/> s'est lancé depuis quelques années dans la microfabrication d'anémomètres type « fils chauds » qui ont atteint un niveau de fiabilité remarquable, avec une dimension du capteur aujourd'hui de 60µ (ils sont en train de mettre au point un capteur de 30µ). Ce capteur est le point de départ du travail qui sera effectué au SBT et au STMF. En outre, on imagine également perfectionner les dispositifs de mesure optique pour la mesure des écoulements diphasiques turbulents par l'introduction de dispositifs microfabriqués.

3. Progrès attendus et verrous levés par l'approche proposée:

Le SBT est aujourd'hui reconnu pour la qualité des installations cryogéniques qu'il est capable de mettre au point. Il s'agit d'installations macroscopiques de tailles diverses, qui vont de la dizaine de cm (réfrigérateurs de Herschel, Athena,...) jusqu'à la dizaine de mètres (400W, Helios, Shrek, bras cryogénique pour le positionnement des cibles du LMJ...). Ces installations ont été en se complexifiant, et les demandes aujourd'hui au niveau des grands projets deviennent extrêmement exigeantes (un excellent exemple vient du côté ITER, qui, n'ayant pas pu trouver d'industriel susceptible de répondre à sa demande, s'est tourné vers le SBT pour les capteurs cryogéniques du système d'aimants supraconducteurs). Cette tendance se poursuivra et le SBT **se doit d'anticiper les besoins futurs** en termes de mesures à basse température, d'où la nécessité de passer aux microtechnologies. En outre, ce travail permettra au SBT de proposer aux utilisateurs européens du réseau « Euhit » des capteurs d'une précision inégalée, et renforcera l'attrait de nos installations pour les meilleurs physiciens de la turbulence.

Le STMF travaille à la validation de codes numériques de type LES (simulation des grandes échelles) et, dans ce cadre, est amené à faire des mesures en proche paroi, avec une précision particulièrement exigeante, et ces capteurs devraient permettre une qualité de mesure et une résolution spatiale inégalée. En outre certaines idées seront mises en œuvre pour enrichir les mesures de gouttes dans les écoulements diphasiques en ajoutant un dispositif microfabriqué (brevet en cours de rédaction). Ce travail devrait trouver ensuite une valorisation auprès d'industriels des capteurs (par exemple a2 Photonic Sensor).

Enfin ce travail permettra de donner un élan à ces deux laboratoires, pour aller vers les microtechnologies et enrichir ainsi leur savoir-faire.

4. Description du travail proposé, de son plan de travail et de ses livrables :

Au SBT le travail a déjà commencé, par une modélisation éléments finis du capteur (figure 2), afin de connaître les éventuelles contractions différentielles qui pourraient compromettre la tenue mécanique du capteur à froid. Un premier contact a été pris avec les techniciens de la PTA pour démarrer le projet au plus tôt. Le projet est décomposé comme suit:

- validation numérique (calculs Ansys) et allers retours T0+15 jours
- Analyse du process T0+1 mois
- Formation des intervenants (SBT : A. Girard, P. Diribarne ; STMF : JP Moro) T0+1,5 mois
- Fabrication T0+7,5 mois
- En parallèle élaboration d'une électronique dédiée au SBT, en coordination avec le STMF (achevé à T0+12) ; avant sa mise au point, une électronique commerciale, moins performante en terme de bande passante, sera utilisée.
- Tests sur écoulements (SBT, STMF) T0+13,5 mois, en comparant avec les technologies fils chauds « conventionnelles »
- REX, optimisation, tests finaux avec électronique SBT et rédaction de publis T0+18 mois

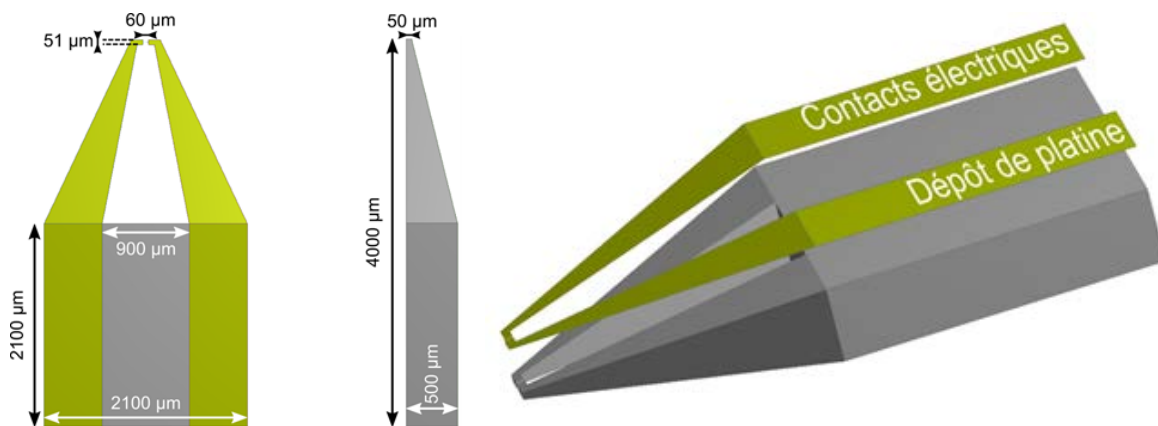


Figure 2 : simulation 3D des composants du capteur.

5. Description rapide des compétences en rapport avec le projet et de la valeur ajoutée des collaborations inter-DO

SBT : maîtrise des basses températures ; maîtrise de l'électronique faible bruit; mesures dans des écoulements turbulents à basse température dans des installations uniques.

STMF : expertise en fils chauds Wollaston et en électronique dédiée; mesures à très faible bruit, sur une grande dynamique ; maîtrise des écoulements turbulents, diphasiques ou non.

6. En quoi ce soutien aura-t-il un effet structurant pour le groupe

SBT et STMF n'ont à ce jour pas de compétences en microfabrication. Un post doc déjà formé à ces technologies (masques, lithographie, dépôts métalliques, gravure profonde) donnera un élan supplémentaire au programme. En retour ce post doc tirera profit des compétences complémentaires des équipes, en participant aux essais de validation du capteur. Le travail sera encadré par deux ingénieurs chercheurs (DEN, DSM) qui pérenniseront ainsi la compétence acquise au cours de ce travail. En particulier A. Girard consacrera 50% de son temps à ce travail. Il coordonnera l'équipe projet composée de P. Diribarne (SBT, UJF), P. Charvin (SBT, A2), P. Bonnay (SBT A1), A. Attard (SBT, A1), JP Moro (STMF, A1) et assurera les contacts avec la PTA.

7. Justification du budget demandé :

Nous demandons 133 k€ pour financer 18 mois de CDD = 83 k€ + 20 k€ (temps PTA) + 10 k€ (essais à froid) + 10 k€ (petite mécanique) + 10 k€ (électronique)

8. Candidats

Une excellente candidate (CV joint) expérimentée en microtechnologies a été identifiée et est prête à rejoindre l'équipe dès le feu vert du projet. Un autre profil est aussi partant (CV joint), aussi très compétent, mais avec un profil plus ingénieur – ce qui orientera plus vers la microfabrication. A noter que ce candidat n'a pas actualisé son CV depuis qu'il est à l'Institut Neel (2013-2014) où il travaille actuellement avec efficacité. Nous ne manquons pas de bons candidats.

Références

1. F. Bonnet, P. Gully, V. Nikolayev, AIP Conf. Proc. **1434**, 607 (2012)
2. « Caractérisation expérimentale thermo-aéraulique d'un jet transverse impactant ou non, en turbulence de conduite », Thèse UJF de Pierre Fougairolle. (2009).
3. D. Duri, Baudet C, Charvin P, Virone J, Rousset B, Poncet JM, Diribarne P., Rev Sci Instrum., **82**, 115109 (2011). « Mise en évidence expérimentale de l'intermittence dans un jet cryogénique turbulent d'hélium normal », thèse UJF de D. Duri (2012).
4. M. Vallikivi & A.J. Smits, "Fabrication and Characterization of a Novel Nanoscale Thermal Anemometry Probe", Journal of Microelectromechanical Systems, **99**, (2014).
5. Roussel P, Girard A, Jager B, Rousset B, Bonnay P, Millet F, Gully P AIP Conference Proceedings **823** (2006) 1420-1427
6. Hoa C, Bon-Mardion M, Bonnay P, Charvin P, Cheynel JN, Lagier B, Michel F, Monteiro L, Poncet JM, Roussel P, Rousset B, Vallcorba-Carbonell R, Cryogenics **52** (2012) 340-348
7. B. Rousset et al, submitted to Rev. Sci. Instrum.

Evaluateurs possibles : Bernard Castaing (ENSL et cabinet HC) ; François Daviaud (DSM/IRAMIS/SPEC) ; Denis Camel (DRT/LITEN/DTS).