

Appel d'offres – Matériel de laboratoire 3 lots

Lot n°3 : Capteur de mesure de forme par extensomètre à fibres de Bragg à interrogateur multi-fibres

Cahier des clauses techniques particulières (CCTP)

Consultation n° CCAP n°25.024 du 05/12/2025

Pour plus de précisions, le candidat peut contacter le référent technique, porteur du projet :

Responsables du suivi technique :

Mme Aude Bolopion - Chercheuse en microrobotique

Université Marie et Louis Pasteur - UFR ST (Sciences et Techniques)
INSTITUT FEMTO-ST Département AS2M Plateforme CMNR (Centre de Micro et Nano Robotique)
24, rue Alain Savary
25000 Besançon Cedex

Téléphone : 03 81 40 29 25

Courrier électronique (e-mail) : aude.bolopion@femto-st.fr

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES MINIMALES EXIGÉES

1 GENERALITES

1.1 Contexte

L'Institut FEMTO-ST qui est un laboratoire de l'ENSMM souhaite s'équiper d'un extensomètre à fibres à réseaux de Bragg pour développer des nouvelles méthodes de mesure et caractériser les déformations de robots continûment déformables. L'équipement visé intégrera le Centre de Micro Nano Robotique qui a bénéficié d'un soutien du PIA4 – TIRREX (Equipex+).

Nous visons l'intégration d'un ensemble de fibres optiques équipées de plusieurs réseaux de Bragg pour mesurer la déformation de robots ou des jambes de robots dans l'espace. L'équipement permettra de développer et valider la reconstruction de forme en temps réels (au moins 25 ~30 Hz) afin de garantir la stabilité d'une commande référencée capteur.

Le matériel sera mis en commun pour plusieurs utilisateurs et soumis à une utilisation fréquente et diverse.

1.2 Description fonctionnelle de l'équipement à fournir

Un extensomètre, ou capteur d'allongement, sert à mesurer une déformation. C'est un capteur servant à mesurer une déformation (ou déplacement) dans une faible gamme de mesure lors d'essais mécaniques. Il peut être utilisé sur une pièce ou échantillon soumis à une traction, une compression ou une torsion. L'extensométrie est une composante essentielle de la science des matériaux et notamment de la partie expérimentale de la mécanique des milieux continus. C'est en effet par la mesure des déformations et des forces qu'il est possible de calculer des contraintes. On peut définir différentes catégories de mesure d'extensométrie, par exemple, les **mesures avec contact (possiblement destructif)** et les **mesure sans contact (moins ou non destructif)**. Ces dernières sont réalisées avec des extensomètres optiques.

Parmi ces extensomètres optiques, on retrouve les extensomètres à base de fibre à réseaux Bragg (FBG). Le **réseau de Bragg** agit comme un miroir qui ne réfléchit qu'une longueur d'onde très précise. Lorsque la **fibre optique** est contrainte ou lorsque sa température change, la longueur d'onde réfléchie varie proportionnellement. Plusieurs réseaux peuvent être intégrés sur la même fibre et leur espace est à définir suivant l'application visée. En effet, plusieurs réseaux ayant une longueur d'onde spécifique peuvent être implémentés en série sur une même ligne optique.

Dans la littérature, plusieurs travaux montrent l'utilisation de FBG pour mesurer la forme de robots continûment déformables :

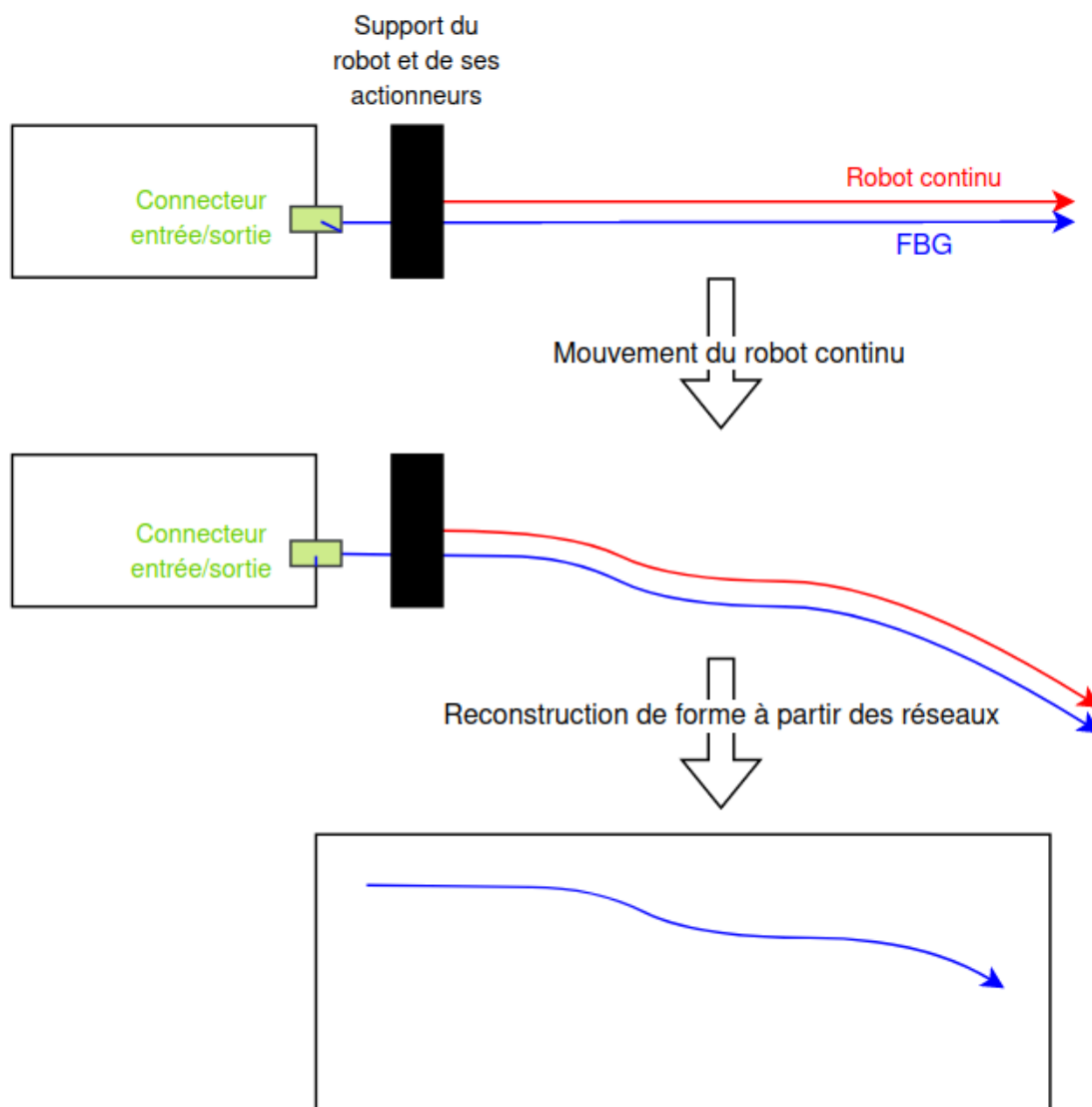
- Ryu, S. C., & Dupont, P. E. (2014, May). FBG-based shape sensing tubes for continuum robots. In *2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)* (pp. 3531-3537). IEEE.
- Xu, R., Yurkewich, A., & Patel, R. V. (2016). Curvature, torsion, and force sensing in continuum robots using helically wrapped FBG sensors. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 1(2), 1052-1059.
- Chitalia, Y., Deaton, N. J., Jeong, S., Rahman, N., & Desai, J. P. (2020). Towards FBG-based shape sensing for micro-scale and meso-scale continuum robots with large deflection. *IEEE robotics and automation letters*, 5(2), 1712-1719.
- Shi, C., Luo, X., Qi, P., Li, T., Song, S., Najdovski, Z., ... & Ren, H. (2016). Shape sensing techniques for continuum robots in minimally invasive surgery: A survey. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 64(8), 1665-1678.
- Amanzadeh, M., Aminossadati, S. M., Kizil, M. S., & Rakić, A. D. (2018). Recent developments in fibre optic shape sensing. *Measurement*, 128, 119-137.

Le système proposé par le Titulaire devra donc permettre la détection de toute déformation d'une structure continûment déformable par le biais des fibres optiques équipées de réseaux de Bragg. Il devra également permettre la communication de ces informations en temps réel par une liaison filaire (bus de terrain, EtherCat, etc.). La lecture des microdéformations est assurée par un interrogateur (ou centrale d'acquisition) à 8 voies ou plus. Pour un fonctionnement de base, un logiciel propriétaire est accepté mais la fourniture complète de SDK est indispensable.

2 DESCRIPTIF TECHNIQUE DE L'EQUIPEMENT A FOURNIR

L'équipement comprendra au minimum l'ensemble des éléments constituant un extensomètre à FBG : la centrale d'acquisition (ou interrogateur) et les fibres contenant les réseaux de Bragg. La compensation de la dérive en température doit être assurée par la centrale d'acquisition en s'appuyant sur un des réseaux de la FBG.

L'ensemble permettra de mesurer la déformation d'un robot continu ou d'une jambe de robot parallèle continu en 3D (voir ci-dessous).



2.1 Centrale d'acquisition

La centrale d'acquisition, l'organe de traitement, de communication et d'acquisition des données, devra avoir les performances minimales suivantes :

Elément	Composants/fonctionnalités	Caractéristiques requises
Centrale d'acquisition	Plage de longueur d'onde	40 nm à 80 nm
	Résolution spectrale	< 1 pm
	FMWH	> 90nm,
	Fréquence de scan	< 25 Hz
	Stabilité spectrale en fonction de la température	3 pm
	Interface de communication	Ethernet (UDP-IP)
	Connecteurs optiques	FP/APC
	Nombre de ports optiques	Au moins 8 voies

2.2 Fibres équipées de réseaux de Bragg

La fibre doit être multi-cœur et elle devra être équipée de réseaux de Bragg qui permettront de donner une mesure locale de la déformation de cette même fibre. Trois lots contenant trois types de fibres sont attendus, elles devront respecter les conditions suivantes :

Fibres à réseaux de Bragg (FBG)		Lot 1	Lot 2	Lot 3
	Nombres	2	2	2
	Longueur active	10cm	25cm	50cm

2.3 Logiciel

Le logiciel d'exploitation fourni par le titulaire doit permettre de paramétrer l'ensemble du système et tenir compte des configurations de réseaux de Bragg, c'est à dire :

- **Ajustement des gains d'acquisition,**
- **Détection automatique des capteurs connectés,**
- **Détection des capteurs défectueux,**
- **Zéros capteurs,**
- **Enregistrements sur mémoire interne en continue ou sur événements, avec mise en veille automatique du système,**
- **Transmission des données sur une liaison rapide assurant une fréquence de rafraîchissement d'au moins 25 Hz.**

3 PRESTATIONS ATTENDUES DU TITULAIRE

3.1 Livraison et installation

Le Titulaire devra préciser, le délai de livraison et toutes les caractéristiques techniques et besoins nécessaires à l'installation du matériel.

Par installation, il est entendu la mise en service (ou en œuvre) opérationnelle. En tout premier lieu, il est important de préciser que le Titulaire est responsable de la livraison du matériel en bon état au sein des locaux de FEMTO-ST. Il sera le seul donneur d'ordre auprès du transporteur et tout incident éventuel, soit pendant le transport, soit lors du déchargement du matériel au sein des locaux du FEMTO-ST, sera de sa pleine et entière responsabilité.

Ensuite, le Titulaire devra venir prendre effectivement en charge le matériel, qui aura été entreposé à l'intérieur des bâtiments de FEMTO-ST, pour l'acheminer à l'intérieur du local qui lui aura été affecté, où il se chargera du déballage dudit matériel et de sa mise en service effective.

3.2 Garantie

Tout le matériel sera garanti pièce et main d'œuvre sur site pendant 1 an au minimum.

La période de garantie démarrera à la date d'acceptation de l'équipement. Cette date correspond à la date de mise en service effectif et sans réserve de l'équipement et sera validée par accord écrit conjoint de FEMTO-ST et du Titulaire.

3.3 Interventions et dépannage

Le Titulaire devra s'engager sur un temps d'intervention et de rétablissement selon la gravité de l'évènement par exemple :

- pour un problème bloquant : diagnostic et intervention d'un technicien dans un délai maximum de 5 jours ouvrés avec une garantie de rétablissement sous 10 jours,
- pour un problème ne générant pas de blocage pour l'utilisateur : diagnostic et intervention dans un délai maximum de 15 jours ouvrés avec garantie de rétablissement sous 20 jours ouvrés.

Les délais se comprennent à partir de la date et de l'heure de l'appel ou du mail enregistrés dans le système du Titulaire avec un numéro de ticket. L'envoi d'un courrier électronique adressé par les correspondants, désignés nominativement par FEMTO-ST, au Titulaire devra précéder toute intervention de dépannage sur site. À chaque fin d'incident, un compte rendu devra être fourni dans la réponse et fera partie intégrante du registre de suivi de l'équipement.

A.....le,.....

Lu et approuvé

L'entreprise, (cachet et signature)