CONTRÔLE COMMANDE D'UN ROBOT ULTRA LÉGER GONFLABLE À ACTIONNEURS PNEUMATIQUES TEXTILES

Juan Miguel ALVAREZ PALACIO

Encadrant(s) CEA : Alain RIWAM – LRI[1]
Encadrant(s) universitaire(s) : Nazih MECHBAL – ENSAM[2] – PIMM[3]
Eric MONTEIRO – ENSAM - PIMM
Directeur(s) de Thèse : Etienne BALMES – ENSAM -PIMM

JOURNÉE DES JEUNES CHERCHEURS EN ROBOTIQUE, 7 NOVEMBRE 2017

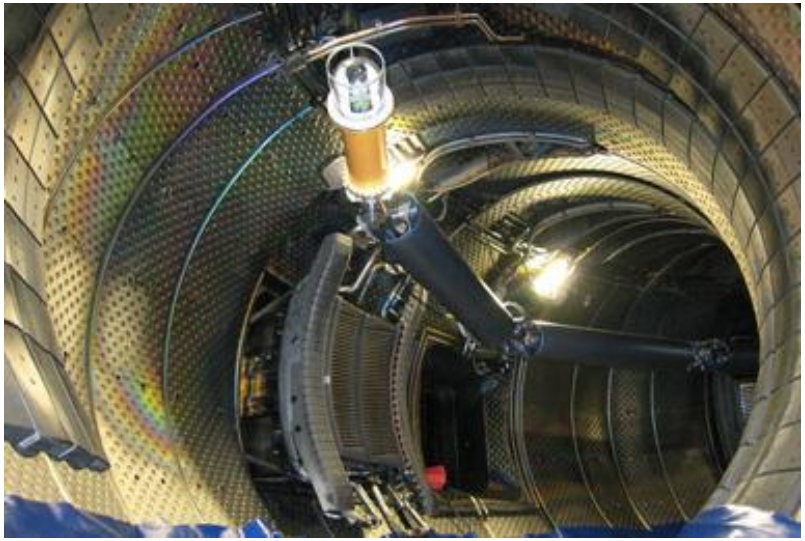
[1] Laboratoire de Robotique Interactive
[2] École Nationale Supérieure des Arts et Métiers
[3] Procédés et Ingénierie en Mécanique de Matériaux

ROBOTIQUE À FORT ÉLANCEMENT

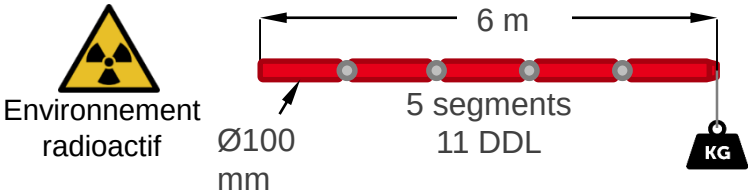
Robots très longs par rapport à la section transversale

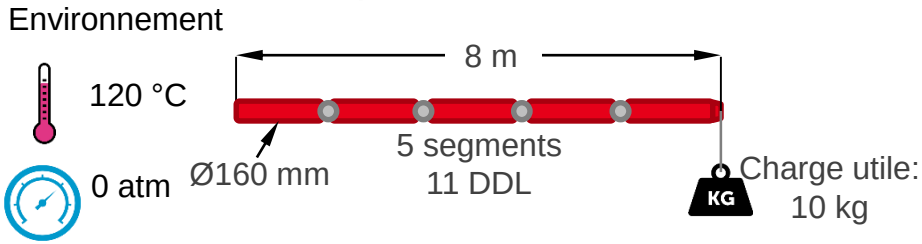
Application : Inspection et tâches en milieu hostile

Robot PAC pour l'inspection de cellules aveugles des centrales nucléaires



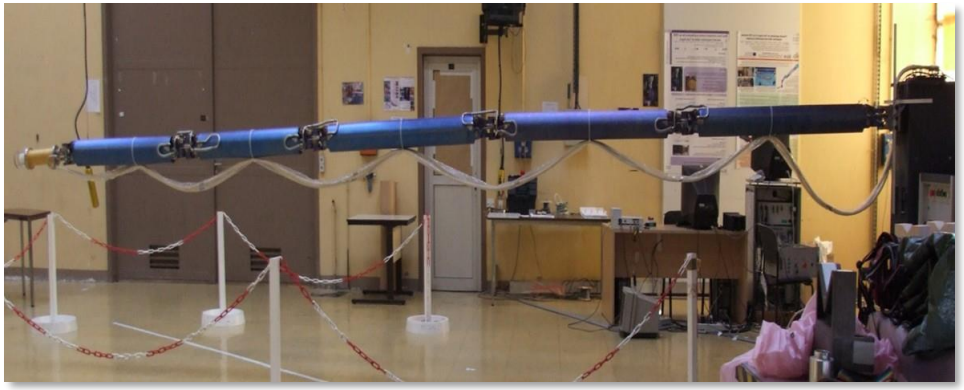
Démonstration du Robot AIA dans le tokamak Tore Supra à Cadarache





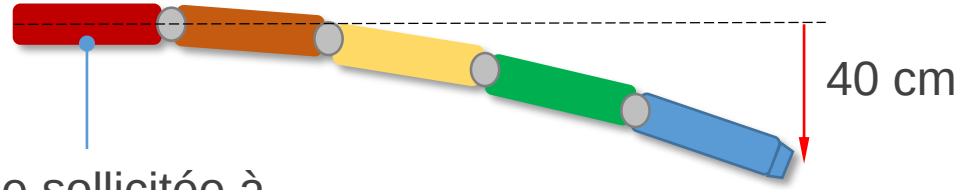
ROBOTIQUE À FORT ÉLANCEMENT

Et si le robot devait être plus long?



Longueur → Poids

Il tombe par son propre poids



Pièce sollicitée à la limite de fluage

- Optimisation au maximum des matériaux
- Amélioration coûteuse

Atteinte des limites de performance

RUPTURE TECHNOLOGIQUE: ROBOT ULTRA LÉGER GONFLABLE

Le problème
Le poids du robot

Sortir de la réalité

Un robot sans masse?

Robot gonflable [Riwan, Voisembert 2011][1]

Validation du concept: Travaux de thèse (2009-2012) de Sébastien VOISEMBERT

[1] Brevet CEA *WO2011151343 A1*

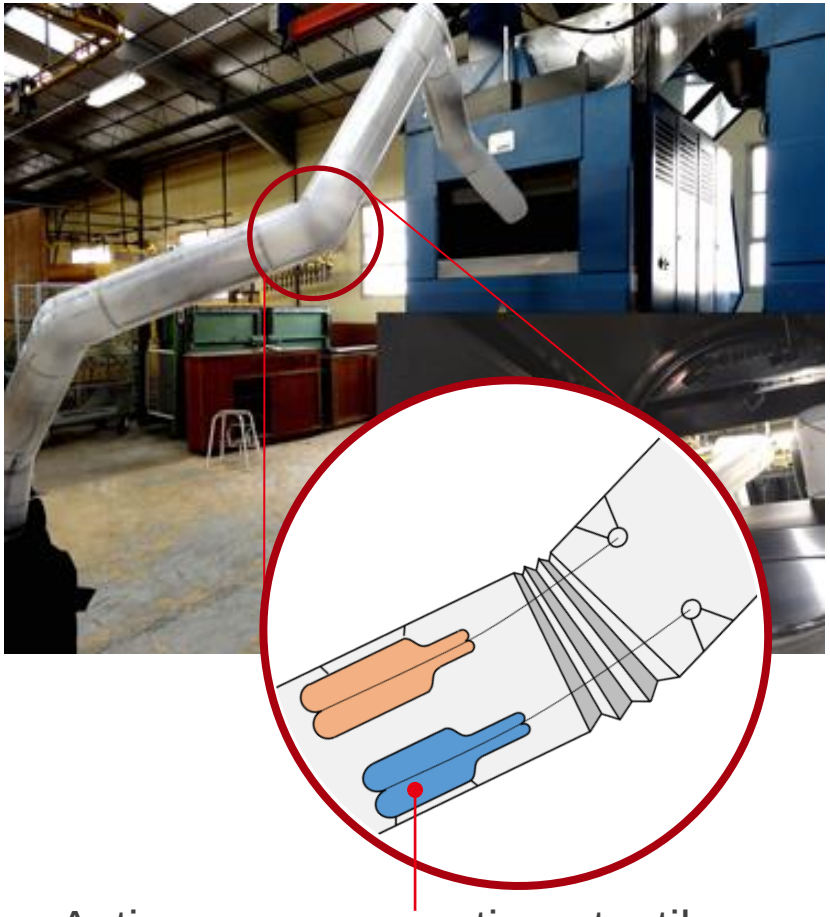
D'AUTRES ROBOTS GONFLABLES

Bras avec des segments gonflables. Actionné par câbles avec des moteurs déportés a la base [Qi et al. 2017]

Bras pour inspection, avec des segments gonflés à l'hélium [Takeichi et al. 2017]

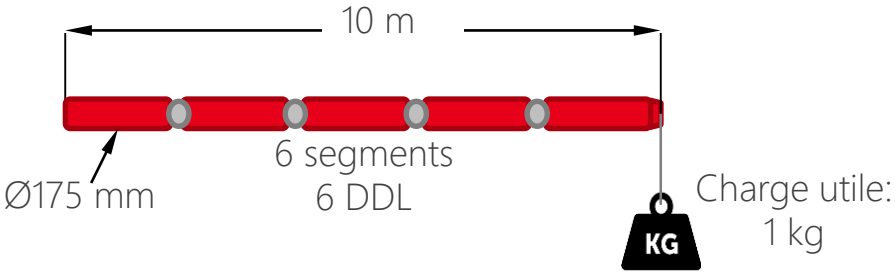
Structure gonflable enroulée sur elle-même [Hawkes et al. 2017]

PROTOTYPE ACTUEL



Actionneur pneumatique textile [Voisembert 2015][1]

[1]Brevet Warein SAS WO/2015/118085



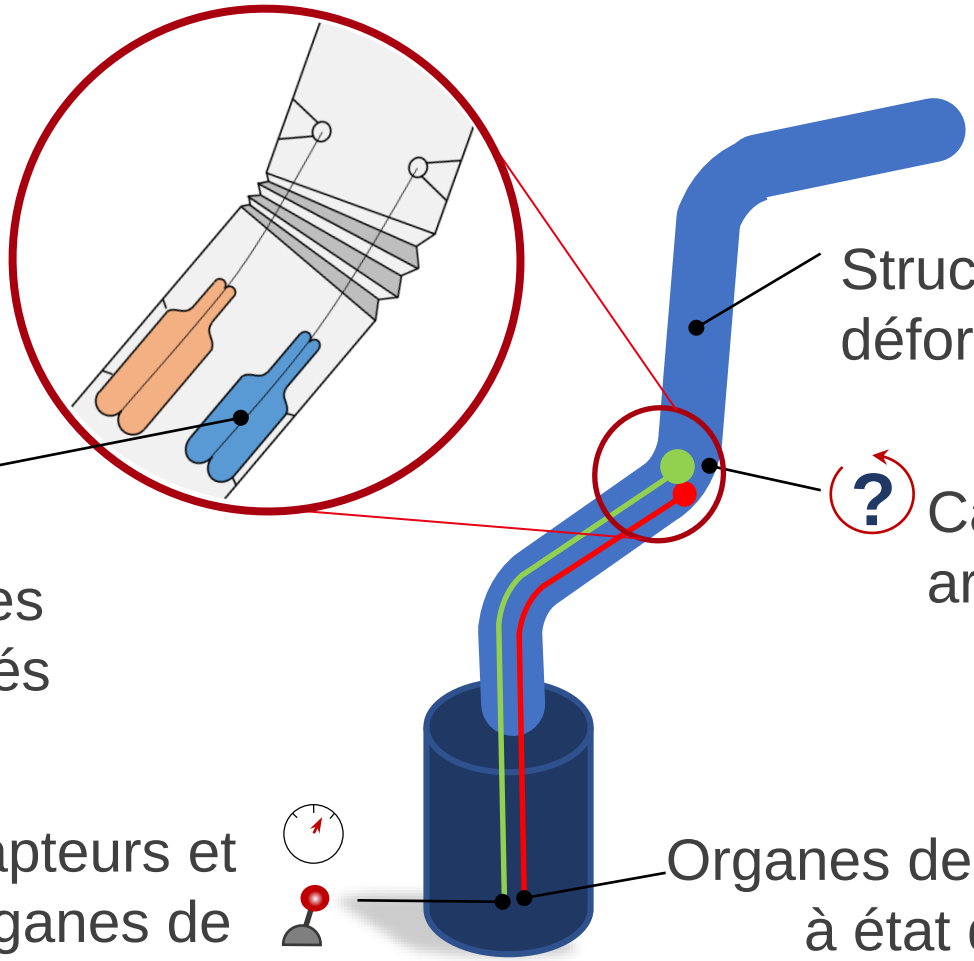
Avantages d'une structure gonflable

- Inoffensif avec l'humain et son environnement
- Facile à transporter et à déployer
- Coût réduit

Avantages d'actionneurs pneumatiques

- Rapport force-poids > 1000 !
- Cout de maintenance réduit
- Pas de sensibilité aux champs magnétiques

PROBLÉMATIQUE



Structure déformable

Actionneurs pneumatiques jamais étudiés

Capteur articulaire

- Flexible
- Léger
- Précis

Capteurs et organes de commande déportés

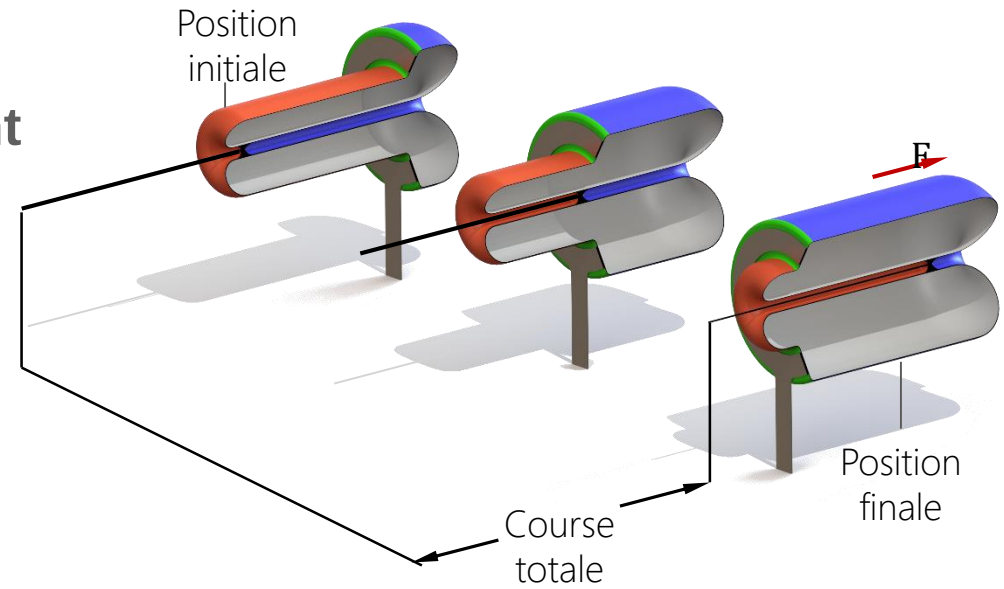
Organes de commande à état discret

DÉMARCHE

1. Modélisation des actionneurs.
2. Modélisation du système complet d’actionnement.
3. Commande d’une articulation en supposant qu’on accès à la position angulaire.
4. Recherche d’un capteur articulaire.
5. Commande avec ce nouveau capteur.
6. Extension à un robot de n (>6) degrés de liberté

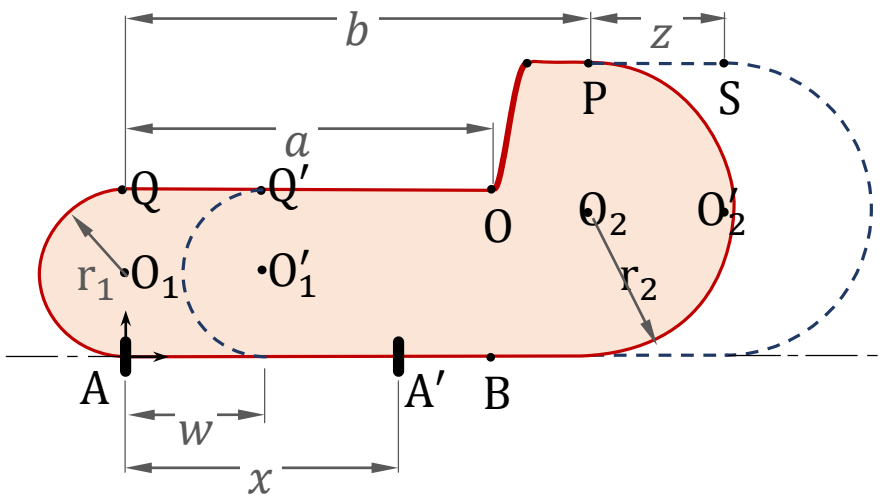
ACTIONNEUR PNEUMATIQUE TEXTILE

Principe de fonctionnement

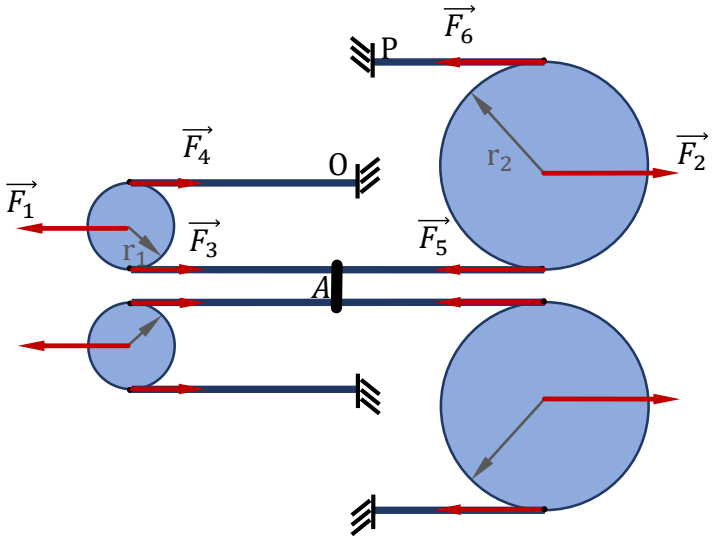


ACTIONNEUR PNEUMATIQUE TEXTILE: MODÉLISATION

Analyse géométrique



Analyse statique



$$x = 2w$$

$$V = V_o + [2\pi(r_2^2 - r_1^2)]x$$

$$F_R = P[2\pi(r_2^2 - r_1^2)]$$

Course plus importante que longueur initiale

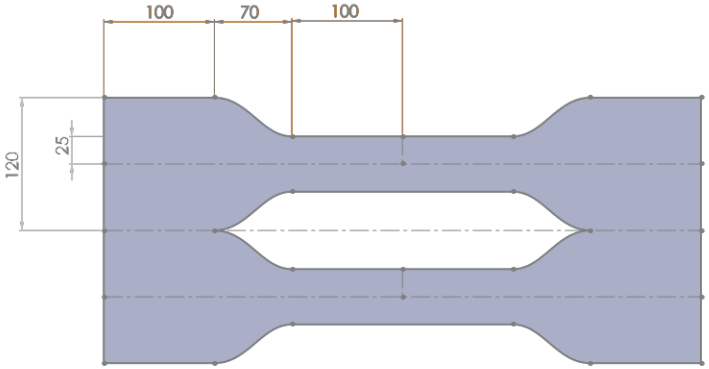
Section transversale équivalente

Rapport constant entre force et pression

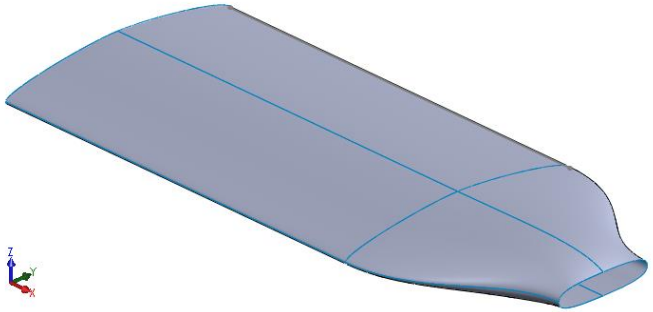
MODÉLISATION EF DU VÉRIN

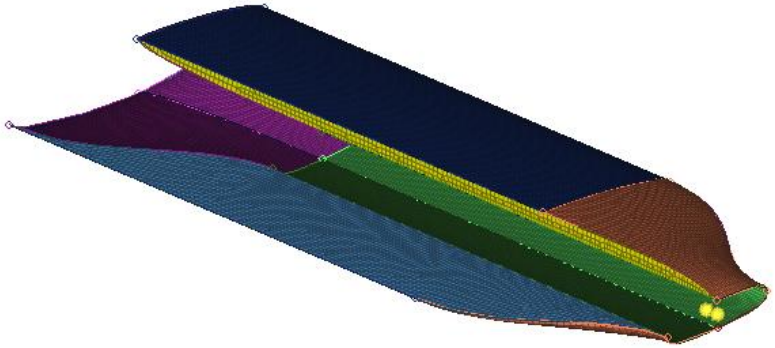
Objectif: Obtenir un métamodèle du vérin pour l'utiliser dans des simulations de l'actionnement.

1 Patron mis à plat



2 Modèle CAO respectant la géométrie





3.1 Maillage et définition des propriétés du matériau

3.2 Définition de paramètres de gonflage

3.3 Définition de conditions limites et modèle de contact

ACTIONNEUR PNEUMATIQUE: SIMULATION EF

A novel Inflatable Actuator for Inflatable Robotic Arms

Juan Miguel Álvarez Palacio, Alain Riwan, Nazih Mechbal, Eric Monteiro, Sébastien Voisembert

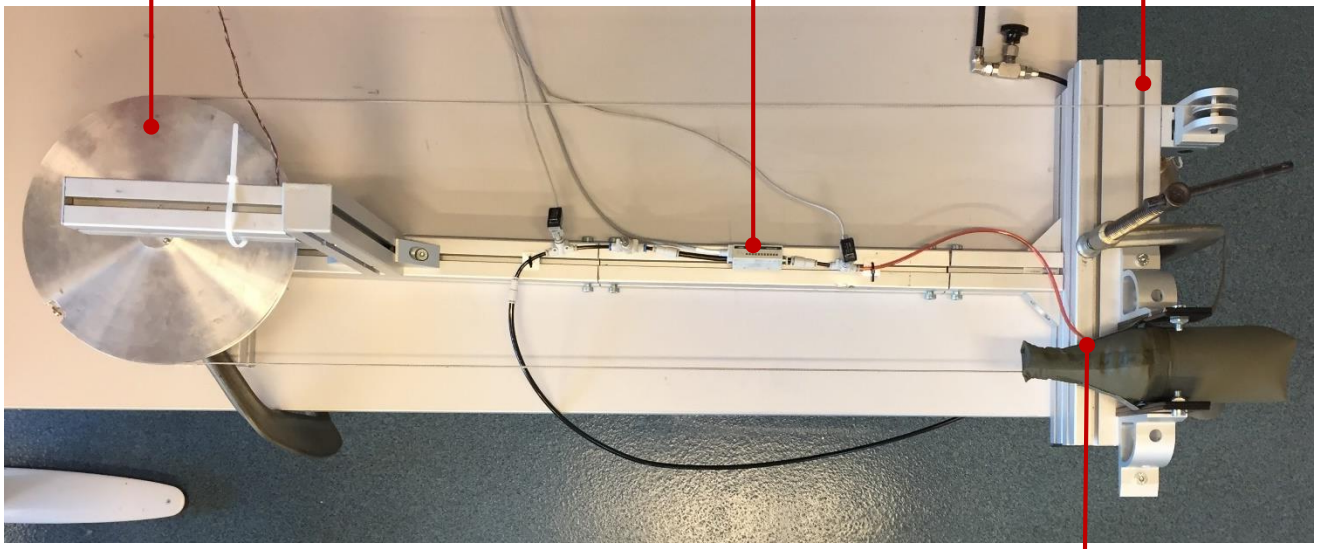
VÉRIN PNEUMATIQUE TEXTILE

Résultats des expériences

Poulie avec capteur de position angulaire

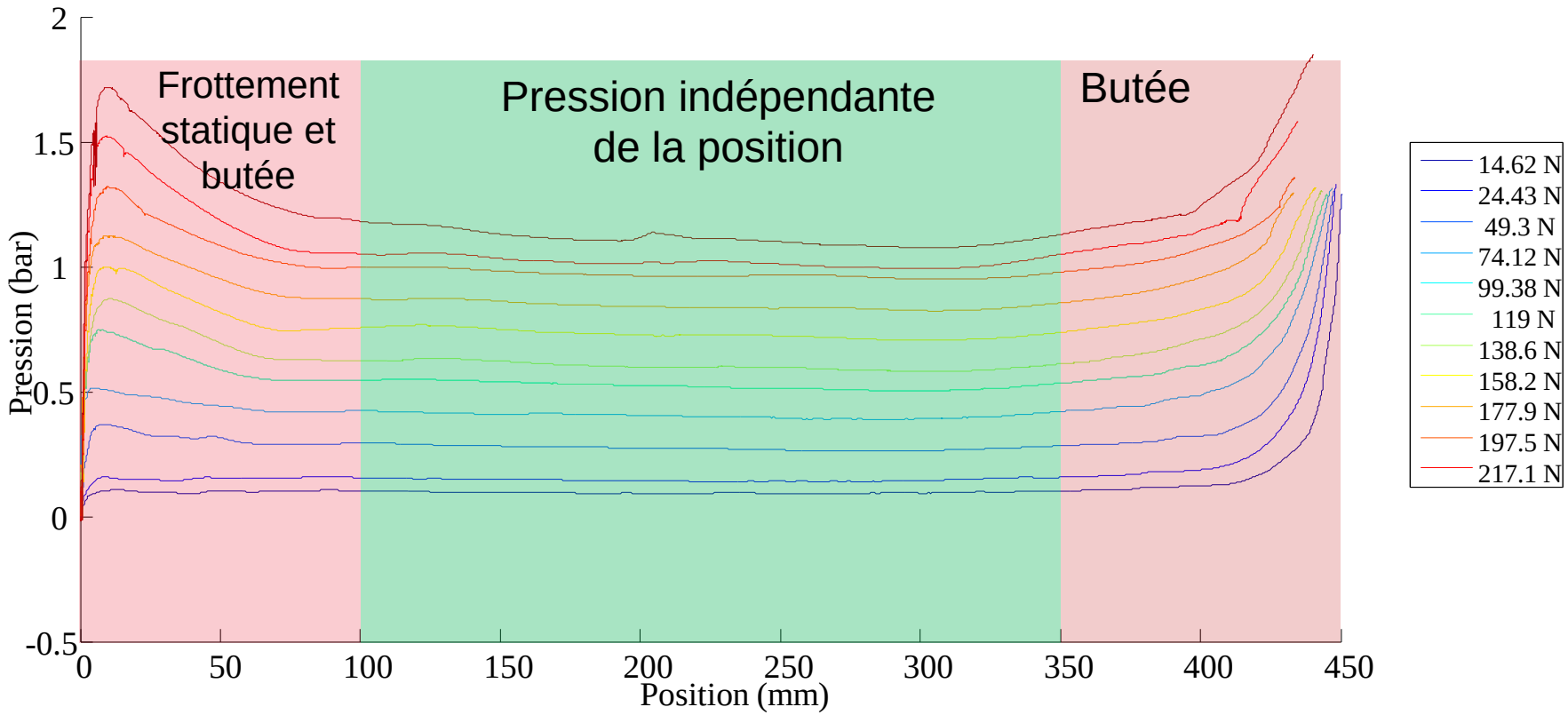
Capteur de pression

Masse suspendue



Actionneur pneumatique textile

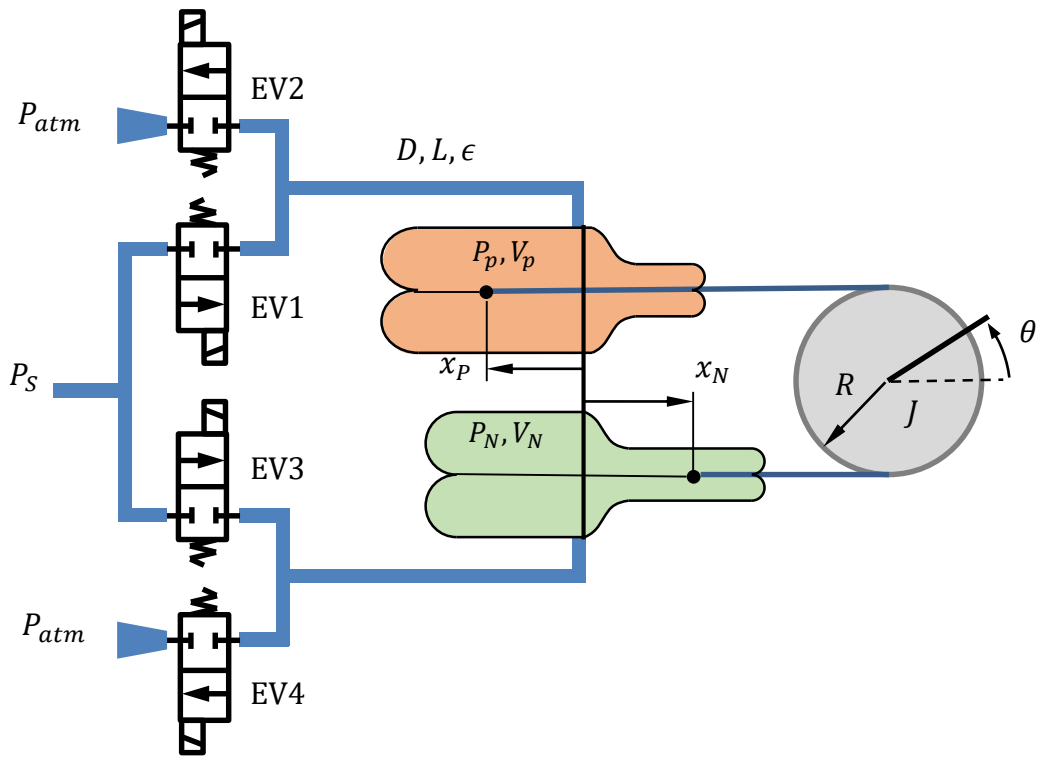
VÉRIN PNEUMATIQUE TEXTILE



Contribution

ALVAREZ-PALACIO, J. M., RIWAN, A., MECHBAL, N., MONTEIRO, E., & VOISEMBERT, S. (2017). *A Novel Inflatable Actuator for Inflatable Robotic Arms*. AIM (pp. 88–93) (proceeding)

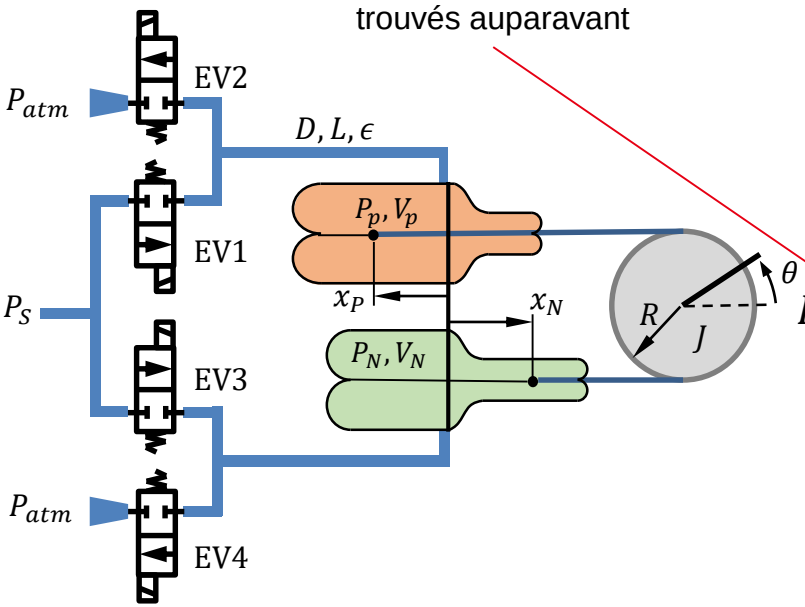
CIRCUIT D'ACTIONNEMENT



- Deux vérins textiles en configuration antagoniste.
- Deux électrovannes par vérin pour gonflage et échappement.
- Des tuyaux de longueur non négligeable entre les électrovannes et les vérins .

CIRCUIT D'ACTIONNEMENT : MODÉLISATION

Expressions de la force et du volume des vérins trouvés auparavant



Principe fondamental de la dynamique

$$J\ddot{\theta} = F_p - F_N - b\dot{\theta} - \tau_{ext}$$

Partie pneumatique: Equation régissant la pression dans une chambre à volume variable

$$\dot{P}_P = \frac{k}{V_P}\left(rTq_P - P_P\dot{V}_P\right) \qquad \dot{P}_N = \frac{k}{V_N}\left(rTq_N - P_N\dot{V}_N\right)$$

Equation du débit massique dans chaque vérin

$$q_P = U_1 Q(P_{alim}, P_P) - U_2 Q(P_P, P_{atm})$$

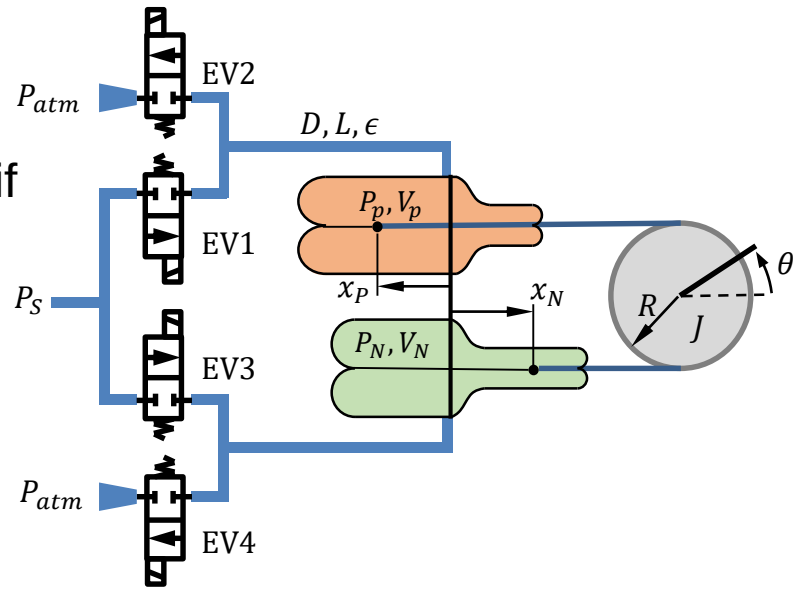
$$q_N = U_3 Q(P_{alim}, P_N) - U_4 Q(P_N, P_{atm})$$

$$Q(P_{up}, P_{down}) = \begin{cases} Cs.P_{up}\sqrt{\frac{T_{up}}{T_{atm}}}\sqrt{1-\left(\frac{\frac{P_{down}}{P_{up}}-b_{cr}}{1-b_{cr}}\right)^2} & si\ \frac{P_{down}}{P_{up}} \geq b_{cr}\ (Régime\ Subsonique) \\ Cs.P_{up}\sqrt{\frac{T_{up}}{T_{atm}}} & si\ \frac{P_{down}}{P_{up}} < b_{cr}\ (Régime\ Sonique) \end{cases}$$

COMMANDE

Vérin P: Vérin faisant tourner dans le sens positif
Vérin N: Vérin faisant tourner dans le sens négatif

EV1: Electrovanne de remplissage vérin P
EV2: Electrovanne d'échappement vérin P
EV3: Electrovanne de remplissage vérin N
EV4: Electrovanne d'échappement vérin N



		Mode 0	Mode 8	Mode 4	Mode 1	Mode 2	Mode 9	Mode 6	Mode 5	Mode 10
Vérin P	EV1	0	1	0	0	0	1	0	0	1
	EV2	0	0	1	0	0	0	1	1	0
Vérin N	EV3	0	0	0	0	1	0	1	0	1
	EV4	0	0	0	1	0	1	0	1	0

Modes équivalents lorsqu'il n'y a pas de charge appliquée

COMMANDE: APPROCHE PAR MODES GLISSANTS

		Mode 0	Mode 8	Mode 4	Mode 1	Mode 2	Mode 9	Mode 6
Vérin P	EV1	0	1	0	0	0	1	0
	EV2	0	0	1	0	0	0	1
Vérin N	EV3	0	0	0	0	1	0	1
	EV4	0	0	0	1	0	1	0

		Mode 6	Mode 0	Mode 9
Vérin P	EV1	0	0	1
	EV2	1	0	0
Vérin N	EV3	1	0	0
	EV4	0	0	1

Vérin P: Échappement
Vérin N: Remplissage

Vérin P: Remplissage
Vérin N: Échappement

COMMANDE : APPROCHE PAR MODES GLISSANTS

On définit une surface glissante s = 0, où s est définie par [Hodgson et al. 2012]

$$s = \frac{\ddot{e}}{\omega^2} + \frac{2\xi\dot{e}}{\omega} + e \qquad avec \qquad e = \theta_{consigne} - \theta_{mesure}$$

		Mode 6	Mode 0	Mode 9
Vérin P	EV1	0	0	1
	EV2	1	0	0
Vérin N	EV3	1	0	0
	EV4	0	0	1

On définit trois régions à partir de deux paramètres $(a_1 < 0 \; et \; a_2 > 0)$

COMMANDE: APPROCHE PAR 5 MODES

On utilise deux modes supplémentaires qui permettent des mouvements plus précis en gonflant un seul des vérins

Mode 2
0
0
1
0

Vérin P: Bloqué
Vérin N: Remplissage

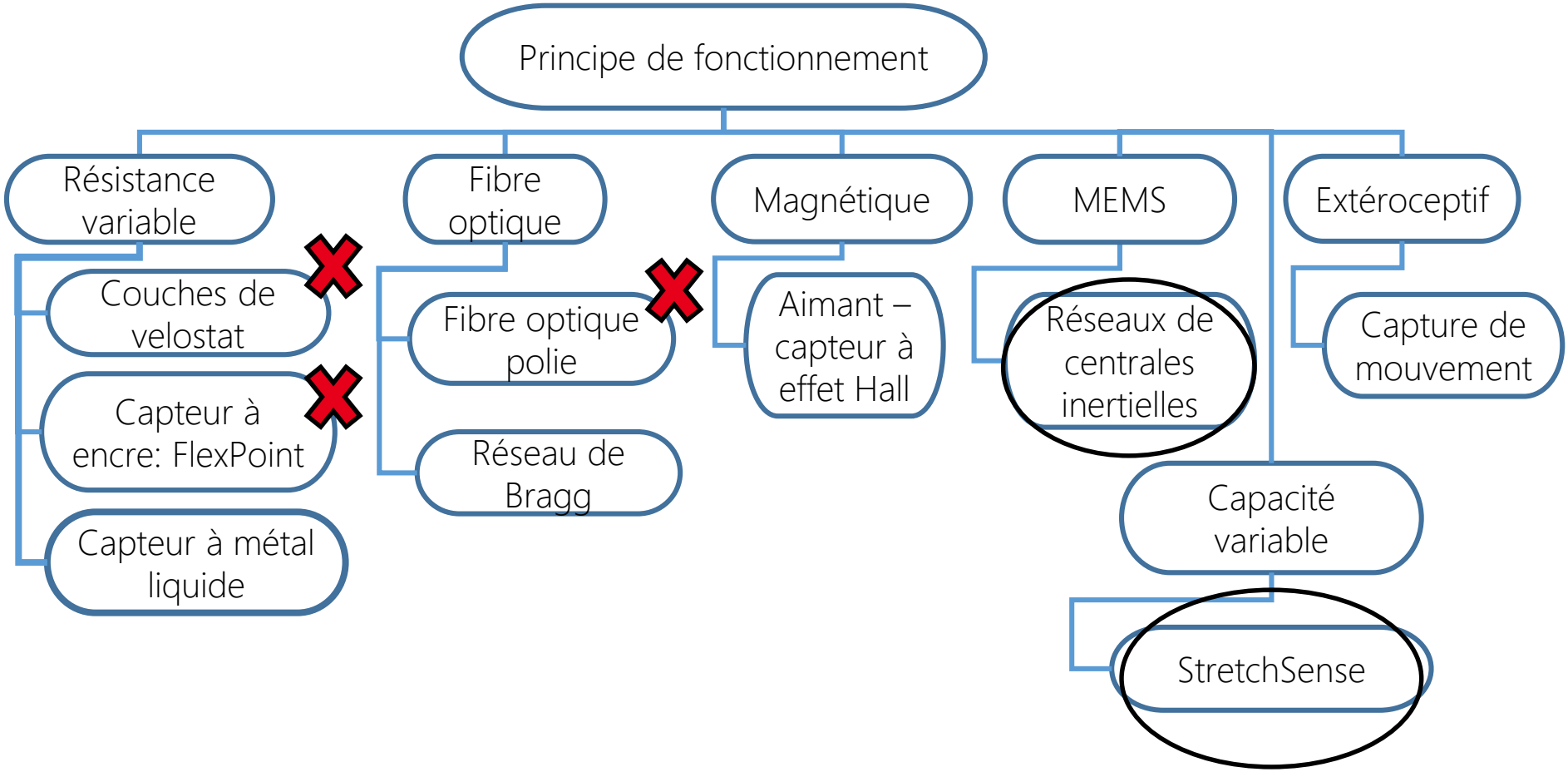
Mode 8
1
0
0
0

Vérin P: Remplissage
Vérin N: Bloqué

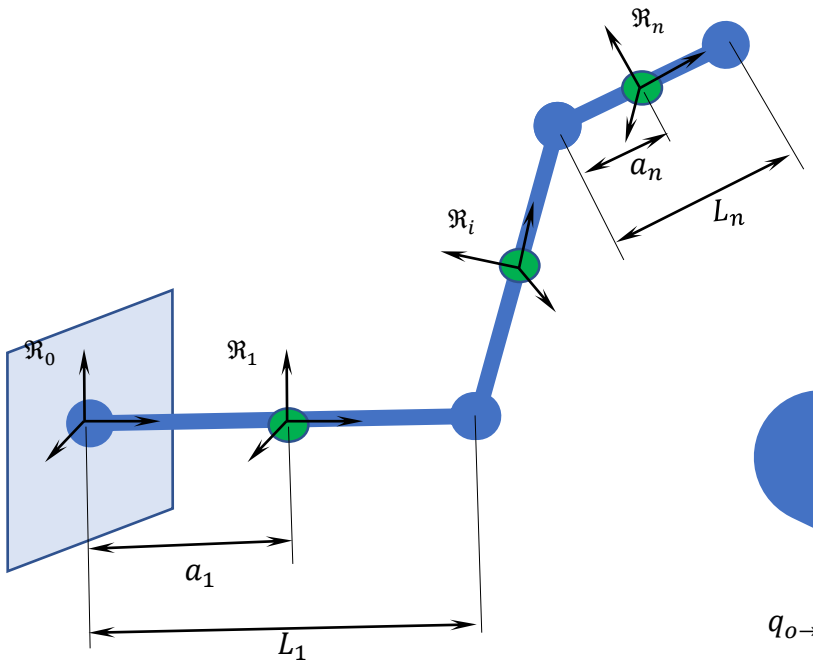
		Mode 6	Mode 0	Mode 9
Vérin P	EV1	0	0	1
	EV2	1	0	0
Vérin N	EV3	1	0	0
	EV4	0	0	1

CIRCUIT D'ACTIONNEMENT

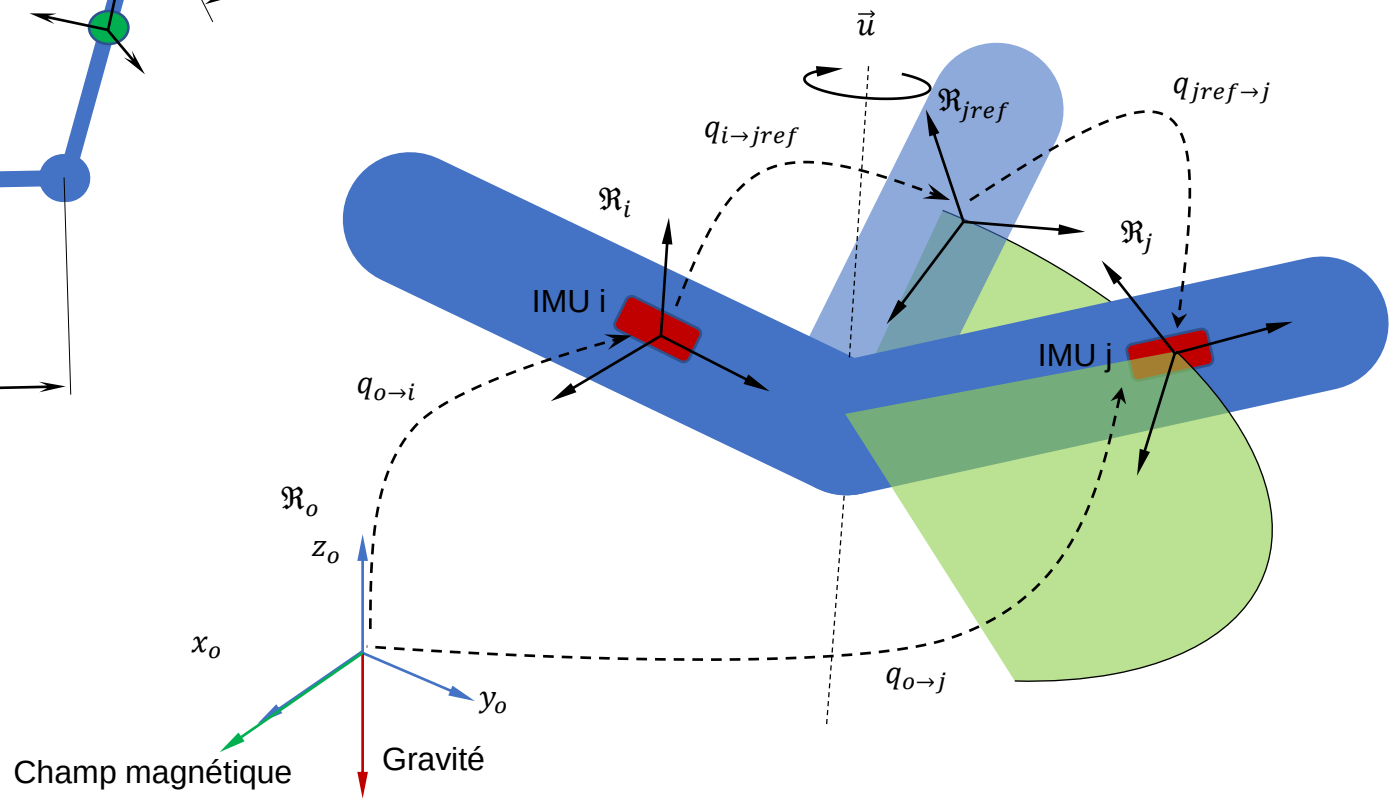
CAPTEUR ARTICULAIRE



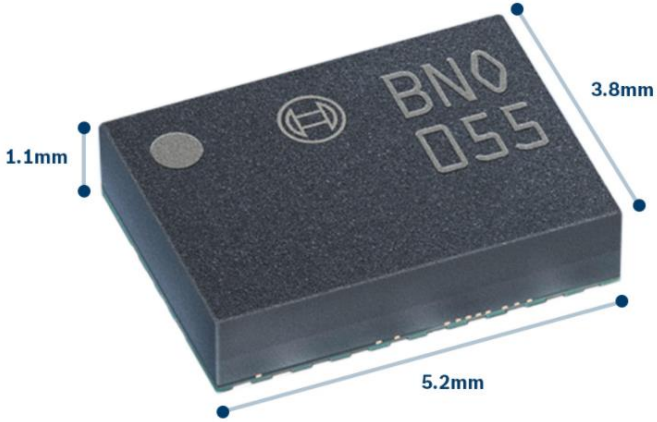
CAPTEUR ARTICULAIRE: CENTRALES INERTIELLES

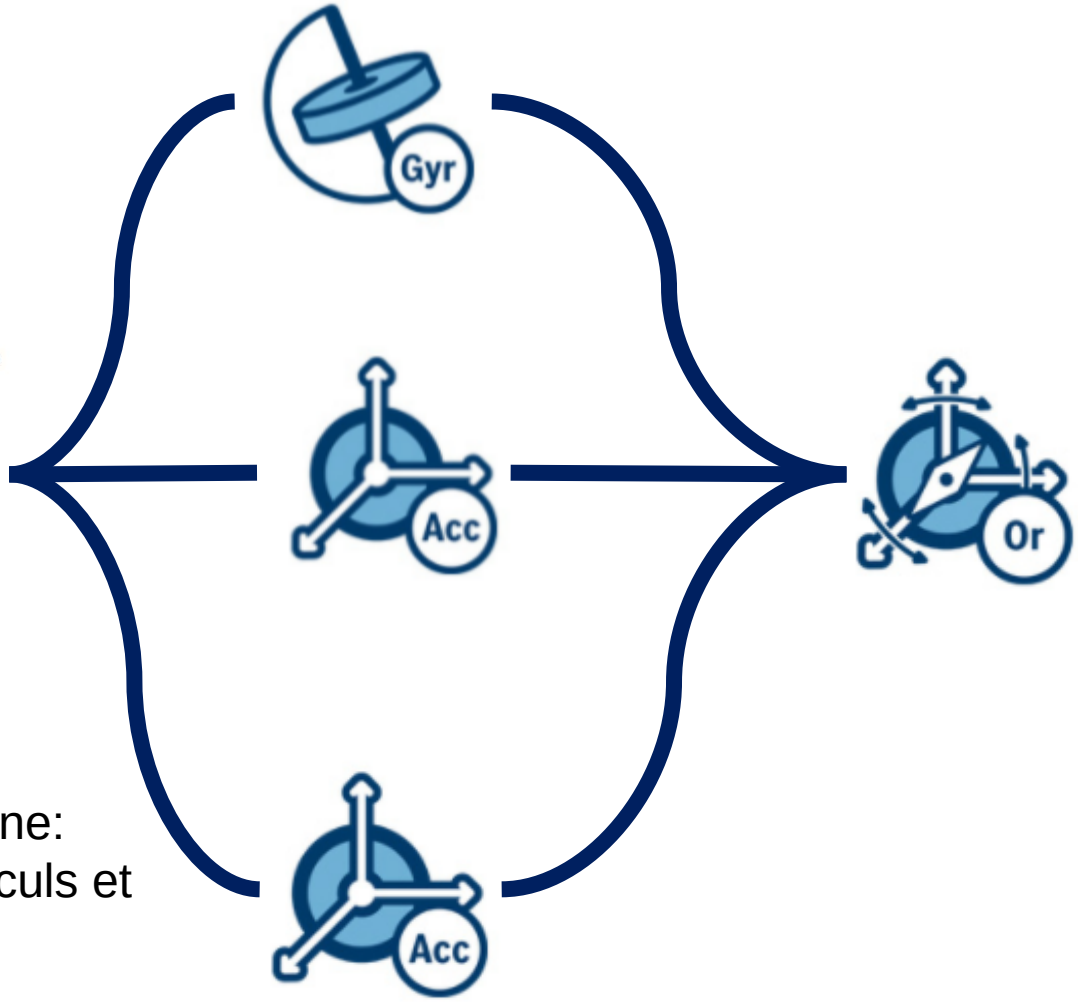


Objectif: Trouver l'angle entre deux segments à partir de la mesure d'orientation de chaque un dans l'espace.



CAPTEUR ARTICULAIRE: CENTRALES INERTIELLES





Fusion de données interne: Décentralisation des calculs et réduction de données envoyées

PERSPECTIVES

- Commande d'un prototype à un axe instrumenté avec des centrales inertielles

- Implémentation d’autres approches de commande pour le contrôle de la position et de la raideur simultanément.
- Rédaction d’un article de journal sur ces résultats.
- Développement d’une méthode de détection des fuites dans les vérins.
- Implémentation de la commande en position sur un prototype de robot de 6 axes.

Merci de votre attention!

Juan Miguel ALVAREZ PALACIO

Pres 10

Encadrant(s) CEA :	Alain RIWAM – LRI
Encadrant(s) universitaire(s) :	Nazih MECHBAL – ENSAM – PIMM
	Eric MONTEIRO – ENSAM - PIMM
Directeur(s) de Thèse :	Etienne BALMES – ENSAM -PIMM

Bibliographie :

- ALVAREZ-PALACIO, J. M., RIWAN, A., MECHBAL, N., MONTEIRO, E., & VOISEMBERT, S. (2017). *A novel inflatable actuator for inflatable robotic arms*. AIM (pp. 88–93) (proceeding)