

# Tenségrité et Intelligence Incarnée pour robot souple et agile

La plupart des robots existants actuellement sont rigides, lourds, et dangereux. Les enjeux écologiques et d'interactions avec l'humain insistent de plus en plus à rechercher plus de légèreté (économie de matière et d'énergie), et de compliance pour favoriser une interaction avec les humains plus collaborative.

Parmi les approches pour atteindre cet objectif, la **tenségrité** est une voie intéressante. Une structure tense est un ensemble d'éléments rigides soumis à de la compression mis en équilibre via des éléments élastiques en tension. La plupart des éléments biologiques sont des structures tense [1].

Les structures robotiques tense bio-inspirées sont souvent actionnées via des câbles (qui modélisent les muscles) dont la longueur et les forces exercées vont varier. Ceci sera la base d'un nouvel équilibre. C'est souvent ainsi que l'on transforme une structure tense en un mécanisme ou robot tense. L'actionnement par câbles impose des conditions d'unilatéralité sur les forces que les câbles peuvent exercer.

Un empilement de vertèbres peut être utilisé pour constituer un robot manipulateur tense avec une mobilité intéressante. Différents exemples dans la littérature existent, inspirés du cou des oiseaux [2,3] ou de colonnes vertébrales humaines [4], de serpents [5] ou de poisson [6].

L'intelligence est souvent associée au cerveau, à la résolution de problèmes complexes et à l'apprentissage. Il existe une autre forme d'intelligence : celle du corps en interaction avec l'environnement, que l'on appelle **intelligence incarnée** [7]. Elle est largement exploitée dans la nature et est importante en robotique pour exploiter les propriétés des corps des robots. Dans le cadre de cette thèse, différents éléments peuvent contribuer à l'intelligence incarnée, comme par exemple l'équilibre postural des pattes d'oiseaux. Cet équilibre peut être vu comme un système de tenségrité passif qui leur permet de dormir debout, voir un équilibre sur une patte et de résister à des bourrasques de vents en équilibre sur une branche ou un fil [8].

L'empilement de structures de tenségrité peut permettre de filtrer et amortir les vibrations pour éviter de transmettre le long du cou d'un oiseau des vibrations dues à la marche jusqu'à la tête des oiseaux [3].

L'actionnement par câbles est généralement antagoniste, pour dépasser la limite due à l'unilatéralité des forces et tirer inspiration de l'actionnement antagoniste des muscles. Il est connu que la co-activation de muscles antagonistes permet dans les systèmes biologiques d'accroître la raideur musculaire. Cependant, cette propriété intéressante ne peut se retrouver dans les systèmes mécaniques que pour un choix adapté des formes d'articulation et du choix de l'attache des muscles [9].

Les systèmes construits par empilement de systèmes de tenségrité commandés par un nombre limité d'actionneurs peuvent devenir instables si on construit leur commande sur des méthodes classiques d'inversion de modèle, et il est plus approprié d'utiliser la stabilisation naturelle du système pour obtenir des commandes stables [10]. Des modèles d'apprentissage et de contrôle prédictif [11, 12], exploitant la physique du corps [4,5], peuvent permettre de faire face à la complexité de tels systèmes afin d'atteindre une compliance dans l'action et une souplesse dans l'interaction [11].

**L'objectif général de la thèse est de mettre en avant les principes de l'intelligence incarnée et de combiner différentes techniques de tensegrité pour la construction d'un robot agile et pour la réalisation de tâches en collaboration sûre avec l'humain dans le cadre de l'industrie 4.0. Les types de tâches considérées seront la manipulation, la saisie par enroulement et des actions mécaniques sur l'environnement (efforts extérieurs). La bio-inspiration guidera les choix d'actionnement: l'actionnement sera adapté en fonction des tâches et en cours de mouvement, à la manière des muscles qui sont activés par groupes différents selon les cas.**

Les objectifs visés dans cette thèse porteront donc sur les aspects suivants :

- Conception d'un robot en s'intéressant en particulier au choix de l'actionnement ;
- Commande d'un tel système ; avec apprentissage prédictif et modèle génératif
- Interaction avec l'environnement.

Le planning de la thèse est le suivant

1ere année : prise en main et conception d'un système en étudiant en particulier l'effet du choix de l'actionnement (en base ou sur les câbles)

2eme année : réalisation et commande du système

3eme année : tâches d'interaction physique

Le financement de cette thèse est assuré par le PEPR exploratoire 02R Organic Robots qui vise à revisiter la conception et la commande de robots au plus près de l'humain. La thèse sera menée en collaboration avec le LS2N à Nantes et le laboratoire ETIS à Cergy. Le doctorant sera principalement au LS2N et sera encadré par C.Chevallereau (LS2N), A. Pitti(ETIS) et P. Wenger(LS2N).

[1]Robert E. Skelton and Mauricio de Oliveira. Tensegrity Systems. United States:Springer, 2009. doi: 10.1007/978-0-387-74242-7.

[2]Benjamin Fasquelle et al. « Identification and Control of a 3-X Cable-Driven Manipulator Inspired From the Bird's Neck ». In: Journal of Mechanisms and Robotics 14.1 (2021), p. 011005. doi: 10.1115/1.4051521.

[3] Sun, Feng Wang, Jian Xu, « A novel dynamic stabilization and vibration isolation structure inspired by the role of avian neck », International Journal of Mechanical Sciences, Volume 193, 2021, 106166.

[4] Artem Melnyk & Alexandre Pitti (2018) Synergistic control of a multi-segments vertebral column robot based on tensegrity for postural balance, Advanced Robotics, 32:15, 850-864, DOI: [10.1080/01691864.2018.1483209](https://doi.org/10.1080/01691864.2018.1483209)

[5] X. Li, J. He and A. Pitti, "Travelling wave locomotion of a tensegrity robotic snake based on self-excitation controllers," 2022 9th IEEE RAS/EMBS International Conference for Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob), Seoul, Korea, Republic of, 2022, pp. 01-06, doi: 10.1109/BioRob52689.2022.9925514.

[6] Bingxing Chen and Hongzhou Jiang. « Body Stiffness Variation of a Tensegrity Robotic Fish Using Antagonistic Stiffness in a Kinematically Singular Configuration ». In: IEEE Transactions on Robotics 37.5 (2021), pp. 1712–1727. doi:10.1109/TRO.2021.3049430.

[7] Rolf Pfeifer, Alexandre Pitti, La révolution de l'intelligence du corps, 2012, Manuella Ed.

[8]A Abourachid, C Chevallereau, I Pelletan, P Wenger, [An upright life, the postural stability of birds: a tensegrity system](#), Journal of the Royal Society Interface 20 (208), 20230433, 2023

[9] V Muralidharan, N Testard, C Chevallereau, A Abourachid, P Wenger, [Variable stiffness and antagonist actuation for cable-driven manipulators inspired by the bird neck](#), Journal of Mechanisms and Robotics 15 (3), 035002, 2023

[10] NJS Testard, C Chevallereau, P Wenger, [Dynamics and computed torque control stability of an under-actuated tendon-driven manipulator](#), IFToMM World Congress Mechanism and Machine Science, 332-341, 2023

[11] Annabi, L. Pitti, A. Quoy, M. (2021) Bidirectional interaction between visual and motor generative models using Predictive Coding and Active Inference, Neural Networks, 143, 638-656.

[12] Chen, X Pitti, A (2022) Visuo-Motor Remapping for 3D, 6D Reach and Tool-Use Reach using Gain-Field Networks, IEEE ICDL Epirob.