

2^{eme} Journée du GT8 Robotique et Neurosciences du GDR Robotique

26 Janvier 2011 à l'ISC de Bron

9h15-9h30 Introduction

9h30 - 10h50 Session 1

- 9h30-9h50 Richard Moreau (INSA Lyon) « Study of the dynamic arm proprioception and visual processing using a exoskeleton »
- 9h50-10h10 Nicolas Bredèche (LRI Paris Sud) « évolution artificielle et essaim de robots »
- 10h10-10h30 Raphaël Juston (ISM Marseille) « Capteur optique bio-inspiré doté d'hyperacuité »
- 10h30-10h50 Alban Laflaquière (ISIR Paris) « Estimation de la dimension de l'espace par un agent naïf »

10h50 - 11h20 Pause (poster)

11h20 - 12h40 Session 2

- 11h20- 12h20 « An overview of neuroscience and neurorobotics at the Stem Cell and Brain Research Institute, INSERM U846, Lyon »
- Emmanuel Procyk « Behavior and neurophysiology of executive function in exploration and exploitation »
- Pierre Enel « Neural simulation of the corticostriatal system for exploration and exploitation »
- Xavier Hinaut « Higher cognitive function - language - in a model of the corticostriatal system »
- Stephane Lallec « Human robot cooperation, complexity, returning to basics - linking vision and proprioception in parietal cortex with the iCub »
- Peter Ford Dominey « open challenges »
- 12h20- 12h40 Elaine Astrand (ISC Bron) « Decoding spatial attention and perception : towards cognitive neural prosthesis »

12h40-14h00 Repas

14h-15h20 Session 3

- 14h00-14h20 Bassem Khouzam (IMS Supélec) « Tracking Non-stationary Dynamical System Phase using Multi-map and Temporal Self-organizing architecture »
- 14h20-14h40 Claude Touzet (Univ. Provence) « TnC : Théorie neuronale de la cognition - application à la robotique autonome »
- 14h40-15h00 Wahiba Taouali (LORIA Nancy) « Modèle des ganglions de la base »
- 15h-15h20 Antoine de Rengervé (ETIS Cergy) « Apprentissage interactif en robotique autonome: une approche bottom-up de l'imitation »

15h20 - 15h45 Pause (poster)

15h45- 16h45 Session discussion : Sur l'élaboration d'un document décrivant l'activité de la communauté française sur le lien Robot-Neuro.

Liste des Posters

- Mehdi Benallegue (INRIA Grenoble) « Un modèle calculatoire pour l'imitation synchrone de mouvements par les humains : le contrôleur miroir appliqué à la marche »
- Mathieu Lefort (LORIA Nancy) « Le modèle SOMMA: des cartes d'inspiration corticale pour un apprentissage multimodal »
- K Caluwaerts, M Staffa, S N'Guyen, C Grand, L Dollé, A Favre-Felix, B Girard, M Khamassi (ISIR Paris) « A biologically inspired meta-control navigation system for the Psikharpax rat robot »
- M. Khamassi (ISIR Paris) S. Lallée, P. Enel, E. Procyk, P.F. Dominey (INSERM U846 Lyon) « Robot cognitive control with a neurophysiologically inspired reinforcement learning model »
- Mathieu Bernard (ISIR Paris) « Sensorimotor learning of sound localization from an auditory evoked behavior »
- Christophe Halgand (INRIA Bordeaux) « A geometric invariant for multi-sensory fusion »
- Gaëtan André et Jean-Christophe Buisson (ENSEEIH Toulouse) « Modélisation oscillatoire de l'écriture »
- Raoul Ruys (Univ. Méditerranée. Marseille) « Functional Architectures using Structured Flows on Manifolds »
- Elodie Reghem (UMR 7179 Paris), Laurence Chèze (UMR-T9406 IFSTTAR Lyon), Philippe Souères (LAAS Toulouse), Emmanuelle Pouydebat (UMR 7179 Paris) « Principes de la préhension communs aux capucins, chimpanzés et humains : applications à l'évolution et à la robotique »
- Thomas Robert (LBMC IFSTTAR-UCBL), Zohaib Aftab, Pierre-Brice Wieber (INRIA Grenoble) « Exploring the influence of sensorimotor and cognitive factors on balance recovery using a robotic approach »

Résumé des présentations orales

Richard Moreau, « Study of the dynamic arm proprioception and visual processing using a exoskeleton ». Cet exposé a pour but de présenter nos derniers résultats suite à la collaboration récente entre le laboratoire Ampere (UMR CNRS 5005) et l'Unité Espace et Action (INSERM U864). Les exosquelettes sont des dispositifs relativement nouveaux qui entourent le corps humain d'un système robotique commandé en ligne et répondant en temps réel aux intentions du sujet. Le champ d'application va de l'assistance aux tâches pénibles à la rééducation des pathologies motrices. Une des originalités de ce travail est la collaboration avec des neuro-scientifiques afin de tester l'effet soi/autrui dans la reconnaissance des mouvements naturels et assistés. L'exosquelette développé au laboratoire Ampère est un exosquelette du membre supérieur à 4ddl actifs. Nous avons développé, implémenté et comparé différentes stratégies de commande pour notre application. Il s'agit ici d'étudier la capacité proprioceptive et visuelle de sujets sains à reconnaître des mouvements. L'étude statistique que nous avons réalisée a permis de mettre en évidence l'avantage du soi lors de la reconnaissance de gestes.

Nicolas Bredèche, « évolution artificielle et essaim de robots ». Cet exposé donnera un bref aperçu des recherches menées au Laboratoire de Recherche en Informatique (Univ. Paris-Sud) sur la conception d'algorithmes distribués pour des essais de robots mobiles autonomes. L'objectif de ces travaux est de concevoir des algorithmes d'auto-adaptation en ligne lorsque l'environnement est inconnu, dynamique et potentiellement changeant au cours du temps. Quelques résultats seront décrits concernant les problèmes de robustesse aux changements dans l'environnement, à la découverte de comportements coopératifs et/ou spécialisés, et à l'application de ces algorithmes sur des essais de robots réels."

Raphaël Juston, Stéphane Viollet, Nicolas Franceschini, « Capteur optique bio-inspiré doté d'hyperacuité ». Inspirés par les micro-mouvements naturels rétinien existants notamment dans l'oeil composé de la mouche, nous présenterons un capteur optique bio-inspiré capable de mesurer avec hyperacuité la position angulaire d'un objet contrasté (bord contrasté ou barre). Nous aborderons aussi ses caractéristiques et sa robustesse face à un environnement visuel extérieur naturel dont les paramètres, tels que le contraste ou l'éclairement, varient fortement.

Alban Laflaquière, « Estimation de la dimension de l'espace par un agent ». Dans le domaine de l'intelligence artificielle traditionnelle, la perception est considérée comme une capacité intrinsèque de l'agent. Elle est en général le fruit de modèles développés et implémentés directement dans le robot par ses concepteurs. Une approche différente consiste, au contraire, à considérer la perception comme une capacité acquise expérimentalement. L'agent naïf, initialement dépourvu de modèles, doit donc développer cette capacité au travers de l'analyse de la seule source d'information à laquelle il a accès : son flux sensorimoteur. Le travail présenté porte sur les résultats obtenus pour un sous-problème en particulier : l'estimation de la dimension de l'espace géométrique à partir du seul flux sensorimoteur d'un agent.

Emmanuel Procyk, Pierre Enel, Xavier Hinaut, Stéphane Lallec, Peter Ford Dominey, « An overview of neuroscience and neurorobotics at the Stem Cell and Brain Research Institute, INSERM U846, Lyon ». We will present primate neurophysiology data providing insights on brain mechanisms for executive function. We then demonstrate how these data form the basis for the development of neural network simulations and robot control by neurally inspired models. We go on to extend this modeling approach to language processing. At the highest cognitive levels, we can use language to guide human-robot cooperation. However, some of the lowest level sensorimotor problems remain open research issues. Open challenges that must be addressed include using continuous sensorimotor data for adaptation on different time scales, from on-line re-calibration and learning of sensorimotor transformations, to learning of spatiotemporal structure of goal directed events.

Elaine Astrand, « Decoding spatial attention and perception : towards cognitive neural prosthesis ». While most of the research effort in neural prosthetics has concentrated on the use of motor signals to drive external devices, new directions in the field of invasive brain-computer interfaces (BCIs) are emerging. In particular, internal cognitive variables are starting to be used to modulate and improve the performance of current BCIs. Here, we present a study in which we evaluate the performance that can be reached at decoding cognitive variables (spatial attention allocation and perception) from different types of electrophysiological signals. We perform this decoding onto two neuronal datasets recorded while a monkey was engaged in a cued-target detection task: a dataset from the prefrontal cortex (FEF) and a dataset from the parietal cortex (LIP). In a first step, we compare the performance of three different pattern classifiers, an optimal linear estimator (OLE), a non-linear optimal estimator (ONLE) and a Bayesian classifier, at decoding attention allocation from the activity of a set of prefrontal neurons. We describe that while Bayesian decoding is slightly better than the other classifiers when the number of available training trials or the number of captors is high, the OLE performs best when this is not the case. In a second step, we systematically analyze the performance of a Bayesian decoder at reading out two cognitive variables (attention allocation and the perception of a target) as compared to its performance at decoding sensory variables (position, presence or absence and color). We will specifically focus on two questions: a) how does the readout performance of these cognitive variables compare to that of the sensory variables? b) Which part of the fronto-parietal functional network should be targeted for an optimal decoding of the cognitive variables of interest? Overall, we show that the cognitive variables of interest are reliably decodable on a trial by trial basis, from the activity of FEF and LIP neurons. The decoding performance of these cognitive variables is quantitatively comparable to those of the sensory attributes of the stimuli and is over the 80% correct predictions of stimulus status or monkey behavior. Decoding performance decreases on incorrect trials, indicating that the spikes hold less information about the main elements of the task on these trials. If time allows, we will compare the decoding performance achieved from three different types of neurophysiological signals ranging from the most to the less spatially selective, namely, spikes, local field potentials and ECoG potentials. These two latter signals are more readily accessible and more stable than spiking activity. As such, they are an interesting candidate for invasive BCIs.

Bassem Khouzam, « Tracking Non-stationary Dynamical System Phase using Multi-map and Temporal Self-organizing architecture ». We are presenting a multi-map recurrent neural architecture, exhibiting self-organization to deal with the partial observations of the phase of some dynamical system. The architecture captures the dynamics of the system by building up a representation of its phases, coping with ambiguity when distinct phases provide identical observations. The architecture updates the resulted representation to adapt to changes in its dynamics due to self-organization property. Experiments illustrate the dynamics of the architecture when fulfilling this goal.

Claude Touzet, « TnC : Théorie neuronale de la cognition - application à la robotique autonome ». The Theory of neural Cognition (TnC) [1] provides reasonably enough details about the functioning of the human brain in order to be challenged. Therefore, we want to follow its directions and try to embed a commercial off-the-shelf robot with the developmental cognitive level of a child of about 7 years old (which includes reading and speaking). This is a preliminary - but an unavoidable step - toward the building a fully conscious artefact. It may seem incredible that today's commercially available robots are complex enough to exhibit some kind of human cognition. In fact, no robot (commercial or research) is able to do so, but not because of some hardware limitations. We strongly believe that the software part is the bottleneck. The TnC states that adult human cognition can be imitated using less than 60 PCs. For a 7 years old cognition level, the number drops to less than 20 PCs. Our project is to add this computational power to the robot (using WIFI connection) and to provide the artefact with a software that is a plausible model of the cortex organisation and functioning (TnC model). The next step is to shape the artefact software brain using experiences in the real world. These experiences must be just the same that a human baby would receive. To do so, we will have to provide the robot with a babysitter. It is because the experiences have to be real ones that the artefact must look as much as possible as a child – no other reason!

[1] C. Touzet, *Conscience, Intelligence, Libre-arbitre : les réponses de la Théorie neuronale de la Cognition*, éd. La Machotte, août 2010, 156 pages, ISBN : 978-2-919411-00-9

Wahiba Taouali, « Modèle des ganglions de la base ». Nous présentons un modèle des ganglions de la base pour la sélection de l'action en tenant compte des voies directes, indirectes et hyper-directes [Mink 1996, Nambu 2002]. Un état sensoriel donné préactive un ensemble d'actions potentielles plus au moins saillantes et la compétition entre la boucle cortico-thalamique (qui met en avant l'action la plus saillante) et la boucle basalo-thalamique (qui dépend de l'entrée complexe du striatum) permet l'apprentissage du choix de l'action indépendamment de sa saillance. Ce modèle autorise donc l'exploration de stratégies alternatives ainsi que leur apprentissage explicite sous la forme d'un contexte qui peut être alors utilisé comme une méta-action permettant à son tour la création d'autres méta-actions [Haber2000].

Antoine de Rengervé, « Apprentissage interactif en robotique autonome: une approche bottom-up de l'imitation ». L'imitation apparaît comme l'un des comportements essentiels pour permettre à un robot de s'adapter à des environnements humains sans qu'un expert soit nécessaire pour modifier sa programmation. Suivant une approche constructiviste bio-inspirée, une architecture neuronale basée sur des apprentissages sensorimoteurs, que l'on va complexifier peu à peu, peut permettre de développer des comportements d'imitation. Ces comportements ont été testés sur robot réel dans le cadre d'apprentissages interactifs très rapides. D'autre part, les modifications de l'architecture neuronale seront interprétées en terme de structures cérébrales intégrées progressivement dans le modèle. Vidéos sur le web : <http://perso-etis.ensea.fr/neurocyber/Videos/>
Références :

Gaussier, P., Moga, S., Banquet, J. P., & Quoy, M. (1998). From Perception-Action loops to imitation processes: A bottom-up approach of learning by imitation. *Applied Artificial Intelligence*, 1(7), 701-727.
Rengerve, A. de, Hirel, J., Andry, P., Quoy, M., & Gaussier, P. (2011). On-line learning and planning in a pick-and-place task demonstrated through body manipulation. *IEEE International Conference on Development and Learning (ICDL) and on Epigenetic Robotics (Epirob)*, 2011 (Vol. 2, pp. 1-6). IEEE.
Rengervé, A. de, Boucenna, S., Andry, P., & Gaussier, P. (2010). Emergent Imitative Behavior on a Robotic Arm Based on Visuo-Motor Associative Memories. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and systems (IROS'10)* (pp. 1754-1759). Taipei, Taiwan.

Résumé des posters

Mehdi Benallegue, « Un modèle calculatoire pour l'imitation synchrone de mouvements par les humains : le contrôleur miroir appliqué à la marche ». Les robots humanoïdes sont destinés à interagir physiquement avec l'homme. Ceci nécessite que le robot soit capable d'interpréter les gestes d'un humain. Les hommes interprètent naturellement les actions de leurs pairs. Une importante théorie de la perception humaine des tâches affirme que l'interprétation des actions se fait grâce à la comparaison de l'action observée avec une simulation de cette action dans le cerveau de l'observateur. Cette théorie s'appuie sur l'existence d'un groupe de neurones s'activant à la fois à l'observation et à la réalisation d'une tâche : le système de neurones miroirs. Cette théorie, qui lie aussi la simulation mentale à l'imitation des tâches, revient à interpréter les actions pour se les approprier. De façon équivalente, nous construisons un modèle pour l'interprétation/imitation des tâches par un robot humanoïde. Le robot observe une action avec un système de capteurs, et la compare à une simulation de cette action au sein d'un observateur d'état. Ceci lui permet d'extraire une information à propos du but de l'action observée. La simulation chez le robot doit se faire par l'utilisation d'un contrôleur de mouvement pour cette tâche. En d'autres termes, le robot suppose que lui-même et le démonstrateur possèdent le même contrôleur. Ceci est clairement une erreur de modèle. Cependant, pour certaines tâches, cette erreur est limitée par des contraintes physiques. Par exemple la marche bipède se doit de maintenir l'équilibre. Nous construisons un modèle calculatoire, robuste aux erreurs de modèle, permettant d'observer la longueur du pas courant en temps réel et de reproduire la marche de manière synchrone en utilisant des capteurs inertiels.

Mathieu Lefort, « Le modèle SOMMA: des cartes d'inspiration corticale pour un apprentissage multimodal ». Un être autonome capte son environnement via différentes modalités, chacune apportant un type d'information différent. Des expériences psychologiques chez l'humain montrent que le cortex combine ces différentes informations afin d'obtenir une représentation cohérente de l'environnement. Par ailleurs, les théories sensori motrices soulignent l'importance de l'apprentissage des corrélations présentes dans l'environnement afin de pouvoir interagir avec ce dernier. Le modèle SOMMA que nous proposons a pour but l'apprentissage et la généralisation des corrélations présentes dans un flux d'entrée multimodal quelconque afin de fournir une perception unifiée de l'environnement. Notre travail se situe dans une approche connexionniste du traitement de l'information avec une architecture générique utilisant des calculs locaux et décentralisés. Les propriétés de notre modèle émergent de ce substrat de calcul par un apprentissage continu et non supervisé fondé sur une approche progressive.

K Caluwaerts, M Staffa, S N'Guyen, C Grand, L Dollé, A Favre-Felix, B Girard, M Khamassi, « A biologically inspired meta-control navigation system for the Psikharpax rat robot ». A biologically inspired navigation system for the mobile rat-like robot named Psikharpax is presented, allowing for self-localization and autonomous navigation in an initially unknown environment. The ability of parts of the model (e.g. the strategy selection mechanism) to reproduce rat behavioral data in various maze tasks has been validated before in simulation. But the capacity of the model to work on a real robot platform had not been tested. This paper presents our work on the implementation on the Psikharpax robot of two independent navigation strategies (a place-based planning strategy and a cue-guided taxon strategy) and a strategy selection meta-controller. We show how our robot can memorize which was the optimal strategy in each situation, by means of a reinforcement learning algorithm. Moreover, a context detector enables the controller to quickly adapt to changes in the environment—recognized as new contexts—and to restore previously acquired strategy preferences when a previously experienced context is recognized. This produces adaptivity closer to rat behavioral performances and constitutes a computational proposition of the role of the rat prefrontal cortex in strategy shifting. Moreover, such brain-inspired meta-controller may provide an advancement for learning architectures in robotics.

M. Khamassi, S. Lallée, P. Enel, E. Procyk, P.F. Dominey, « Robot cognitive control with a neurophysiologically inspired reinforcement learning model ». To explain the high level of flexibility of decision making in primates, theoretical models usually invoke reinforcement-based mechanisms, task monitoring functions, and core neural features within frontal cortical regions. However, the underlying biological mechanisms remain to be specified. Regulation of exploration in recent models is based on meta-learning principles where exploratory actions are driven by varying an exploration rate meta-parameter β , reflecting the entropy of the probability distribution for action selection – i.e. the contrast between competing action probabilities. Here we explore how complementary processes between anterior cingulate cortex (ACC) and lateral prefrontal cortex (LPFC) implement decision regulation and exploration-exploitation trade-off. We tested simulation-based predictions on unit activity recorded in the two areas in monkeys. The results suggest that ACC constructs action values and outcome history and regulates LPFC activity. This mechanism of adaption of the decision function is reflected in a covariation between LPFC neural activity and the exploration rate measured from the animal's behavior. We then deployed the model in a robot to test its robustness in the real-world. The model could reproduce monkey behavioural performance in two laboratory problem-solving tasks. A last experiment extends this to a human–robot interaction scenario with the iCub humanoid where unexpected uncertainties are introduced by the human introducing cued task changes or by cheating. The robot could autonomously learn to reset exploration in response to such uncertain cues and events. The combined results provide concrete evidence specifying how prefrontal cortical subregions may cooperate to regulate decision making. It also shows how such neurophysiologically inspired mechanisms can control advanced robots in the real-world. Finally, the model's learning mechanisms that were challenged in the last robotic scenario provide testable predictions on the way monkeys may learn the structure of the task during the pre-training phase of the previous laboratory experiments.

Mathieu Bernard, « Sensorimotor Learning of Sound Localization from an Auditory Evoked Behavior ». A new method for self-supervised sensorimotor learning of sound source localization is presented, that allows a simulated listener to learn an auditorimotor map from the sensorimotor experience provided by an auditory evoked behavior. The map represents the auditory space and is used to estimate the azimuthal direction of sound sources. The learning mainly consists in non-linear dimensionality reduction of sensory and motor data. Our results show that an auditorimotor map can be successfully learned, providing accurate source direction estimations.

Christophe Halgand, « A geometric invariant for multi-sensory fusion ». It is now accepted that the construction of space representation is a distributed cortical mechanism. Space representation requires coordinate transformations between different reference frames : eye-centered, head-centered and body-centered. We propose the existence of a multisensory origin as a key invariant for multisensory integration in neuroscience and sensor fusion in robotics.

Gaëtan André, Jean-Christophe Buisson, « Modélisation oscillatoire de l'écriture manuscrite . On propose une nouvelle modélisation basée sur le modèle de l'écriture manuscrite de Hollerbach, qui considère la trace écrite comme la résultante de deux oscillateurs couplés, et dont les paramètres d'amplitude, de période et de phase sont constants par morceaux. Nous avons élucidé les moments de changement de ces paramètres sur un axe, comme étant ceux où la vitesse s'y annule. On décrit une méthode rapide pour extraire ces paramètres à partir d'une trace réelle, et on la compare aux méthodes d'optimisation non-linéaire classiques. On montre que notre méthode directe fournit d'aussi bons résultats à un bien moindre coût.

Raoul Ruys, « Functional Architectures using Structured Flows on Manifolds ». We advance a novel framework for perceptual-motor behavior, *Structured Flows on Manifolds* (SFM), and show how SFMs can serve as building blocks in functional architectures, here applied to handwriting. Accordingly, the (fast) dynamics of a high-dimensional system collapses onto a (typically) low-dimensional manifold onto which structured phase flows emerge. The low-dimensional phase flows code for (slow) spatial-temporal cognitive and/or behavioral patterns for the duration of a given task. The structure of the phase flows (topology) allow for the unambiguous classification of dynamical systems, and thus behavioral events. We illustrate several recent behavioral studies that have provided evidence for the existence of distinct behavioral classes in the context of movement as defined through their corresponding phase flow topologies. These classes may serve as functional modes (i.e., dynamical 'primitives' that are not trivially linked to anatomical structure) from which

complex behaviors can be constructed. We then illustrate how functional modes drawn from a dynamical repertoire can be incorporated in a functional architecture spanning multiple time scales so as to generate complex sequential behaviors.

Elodie Reghem (UMR 7179 Paris), Laurence Chèze (UMR-T9406 IFSTTAR Lyon), Philippe Souères (LAAS Toulouse), Emmanuelle Pouydebat (UMR 7179, Paris) « Principes de la préhension communs aux capucins, chimpanzés et humains : applications à l'évolution et à la robotique ». Comprendre les contraintes mécaniques et le contrôle moteur des mouvements de préhension est une tâche colossale. Un des problèmes majeurs consiste à extraire les principes fondamentaux impliqués dans le contrôle du membre supérieur. Une telle compréhension peut conduire à mieux connaître les origines et l'évolution de cette fonction et à proposer des solutions efficaces en robotique. Face à la complexité du comportement de préhension, l'implication de modèles animaux laisse entrevoir d'importantes perspectives. En particulier, de très nombreuses espèces de Primates, humains et non humains, saisissent la nourriture avec la main. L'objectif de ce travail est de quantifier les similarités comportementales (*e.g.* trajectoires du membre supérieur, posture de la main, doigts impliqués) et biomécaniques (*e.g.* cinématique du membre supérieur, amplitudes articulaires) de la préhension à travers différentes espèces : singes capucins (*Cebus apella*), chimpanzés (*Pan troglodytes*) et humains. Si des différences sont mises en évidence entre les humains, les capucins et les chimpanzés, des principes communs sous jacents à la préhension peuvent déjà être montrés, malgré les diversités morphologiques, physiologiques et neurologiques de ces espèces : pattern de vitesse quelle que soit la posture corporelle et amplitudes articulaires pour une posture corporelle identique. Ces résultats contribuent ainsi à constituer une base de données utile 1) pour tester les hypothèses évolutives (analogie, homologie) liées à cette fonction complexe et révéler des traits humains spécifiques dans le but de comprendre l'évolution de la préhension et 2) pour implémenter des solutions plus efficaces en robotique (*e.g.* génération autonome de mouvements canoniques et efficaces pour que les robots humanoïdes effectuent des tâches proches de celles des humains et interagissent mieux avec eux).

Thomas Robert (LBMC IFSTTAR-UCBL), Zohaib Aftab, Pierre-Brice Wieber (INRIA Grenoble), “Exploring the influence of sensorimotor and cognitive factors on balance recovery using a robotic approach”. This study aims at simulating balance recovery reactions, and in particular at evaluating the influence of sensorimotor and cognitive factors on this reaction. To do so we used a Linear Model Predictive Controller (LMPC), derived from walking motion generators of humanoid robots to controlled a simplified 2D inverted pendulum representing the human body. Recovery reactions can be a displacement of the center of pressure within the base of support and/or recovery steps (where and when to place the foot for one or multiple recovery steps, considering limitations on the foot dynamics). Ability of this tool to correctly reproduce human recovery reactions was shown for single or multiple recovery steps in tether-release conditions [3]. Three factors, potentially affected by ageing, were manipulated: the reaction time, i.e. the delay between the onset of the perturbation and the first call of the controller; 2) the frequency at which one can re-plan a recovery action, i.e. the delay between each call of the controller; 3) the a priori knowledge of the perturbation profile (a half-sine acceleration of the BoS oriented backward) that is included in the choice of the balance recovery reaction.

Results highlight the importance of these factors, in particular the anticipation of the perturbation. The simple model allowed emulating interesting and realistic behaviours, and appears as an interesting candidate for a better understanding of the balance recovery mechanisms.

[1] World Health Organization Ageing and Life Course Unit, *WHO global report on falls prevention in older age*. World Health Organization, 2008.

[2] A. Herdt, H. Diedam, P. Wieber, D. Dimitrov, K. Mombaur, and M. Diehl, “Online walking motion generation with automatic foot step placement,” *Advanced Robotics*, vol. 24, pp. 719–737, 2010.

[3] Z. Aftab, T. Robert, and P.-B. Wieber, “A multiple steps balance recovery prediction model,” *Journal of Biomechanics*, 2011(submitted).