

## Projet : Introduction à l'étude de l'imitation du comportement en IHR

SA & PE (Partie II) - M1-SC  
H. F. Chame

### Introduction

Ce projet porte sur la modélisation, la mise en oeuvre et l'analyse d'une expérience d'interaction humain-robot (IHR), basée sur une compétence fondamentale dans la recherche de la cognition sociale : il s'agit de la capacité d'imiter le comportement d'autrui.

Dans le domaine de la robotique sociale, l'imitation est une compétence très importante, car l'intégration de celle-ci dans la boucle perceptive-décisionnelle-motrice du robot permettrait d'accélérer son apprentissage et son adaptation à l'humain. Cependant, conformément décrit par Sakka (2017)<sup>1</sup>, l'imitation du mouvement des êtres humains par des robots humanoïdes doit respecter les différences cinématiques et dynamiques entre les deux systèmes, ce qui constitue une aire de recherche riche en IHR.

En considérant l'autre sens de l'interaction, dont l'humain s'engage à imiter le comportement du robot, à présent plusieurs études ont suggéré que l'IHR contribue à la recherche en psychologie du développement, permettant l'évaluation de la psycho-motricité de sujets avec un diagnostic de trouble du spectre de l'autisme (TSA).

Vu le potentiel de l'imitation en IHR pour la recherche en cognition sociale, ainsi que la complexité de ce domaine, ce projet vous propose de participer à une expérience d'initiation structurée en quatre parties : a) définition du geste d'imitation, b) suivi du mouvement de l'humain et du robot, c) analyse quantitative et qualitative hors-ligne de l'interaction, et d) documentation (élaboration d'un rapport). Les sections suivantes de ce document décrivent les étapes de la méthodologie de travail proposée.

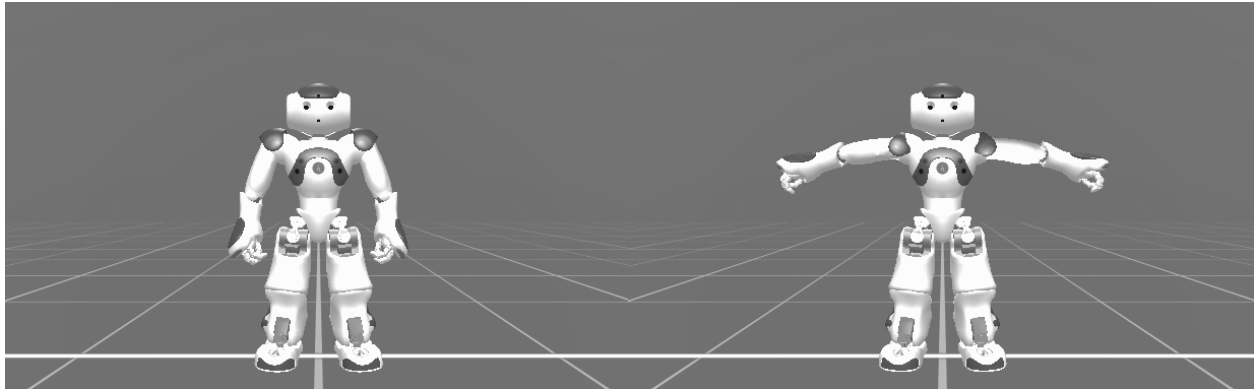


---

<sup>1</sup> Sakka, S. (2017). Imitation des mouvements humains par un robot humanoïde sous contrainte d'équilibre (Doctoral dissertation, Université Pierre et Marie Curie (Paris 6)).

## Partie I : Le geste à imiter

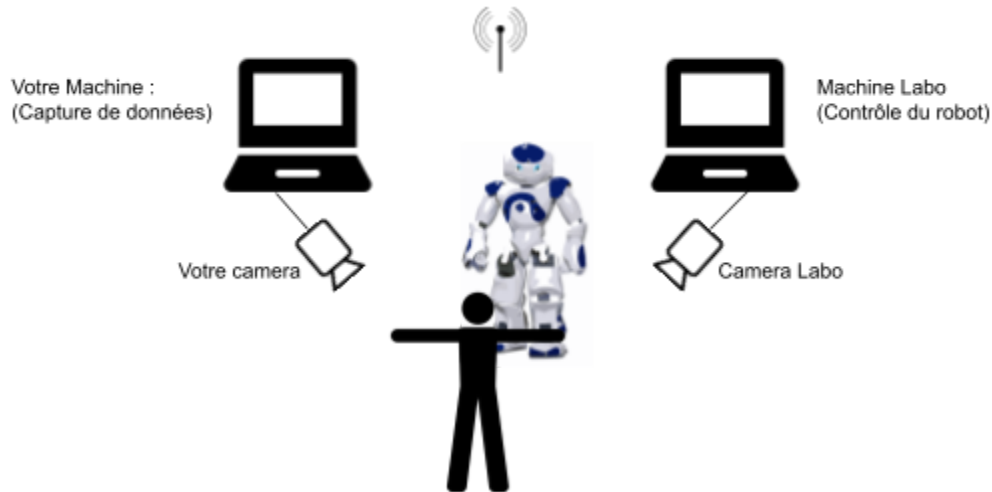
Conformément illustré dans la Figure 1, le geste consiste à élévation latérale des bras, suivant une fréquence préétablie selon quatres modalités d'imitation en interaction face-à-face :



**Figure 1** : Séquence de mouvement correspondant au geste d'imitation produit par le robot Nao.

- a) Le robot ne tient pas compte du geste de l'humain et simplement lui invite à le suivre.
- b) Le robot initie la production du geste et à partir d'un moment donné suit par imitation le geste de l'humain.
- c) Similaire à la condition précédente, le robot initie la production du geste en asymétrie bilatérale (lorsqu'un bras se lève l'autre descend).
- d) Similaire à la condition précédente, en inversant la correspondance entre les articulations de l'humain et celles du robot c'est-à-dire que le bras droit de l'humain contrôle le bras du même côté du robot (pas d'effet miroir en interaction face-à-face). Cette condition demande donc de l'adaptation de la part de l'humain à une nouvelle façon d'interaction.

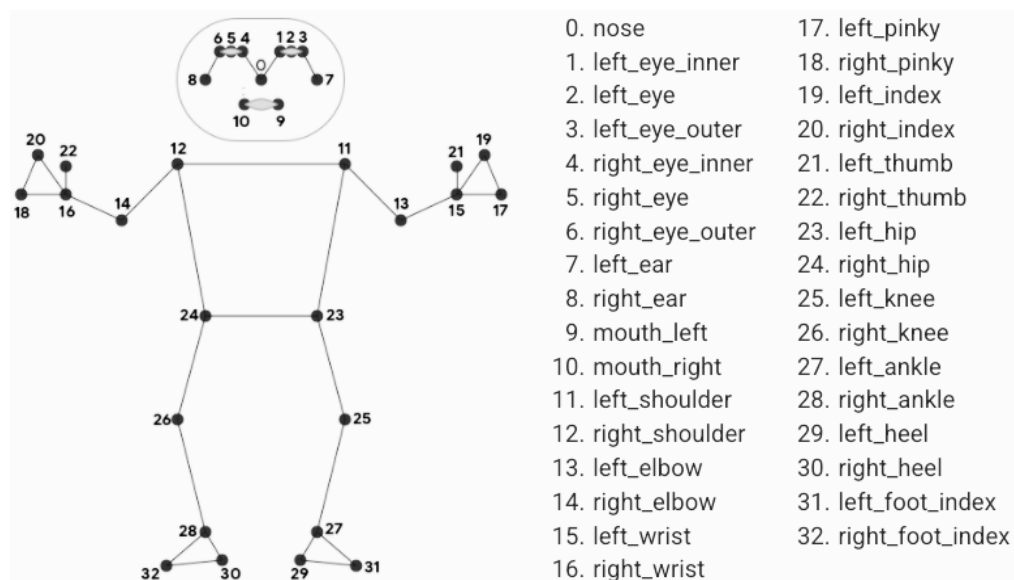
La méthodologie de travail est illustrée dans la Figure 2. Vous allez vous connecter via réseau WIFI à un ordinateur qui contrôlera le comportement du robot à partir de l'acquisition d'images de l'humain. Depuis votre station de travail, vous allez faire la prise de données correspondante à l'évolution de l'état corporel du robot et celle de l'humain (voir Partie II). La implémentation du contrôle du comportement du robot vous sera fournie.



**Figure 2.** La Machine Labo sera chargée de contrôler le comportement du robot et d'établir un réseau WIFI local à laquelle vous allez connecter votre machine. Lors du lancement des expériences, votre machine fera la capture des positions articulaires RShoulderRoll et LSHoulderRoll du robot, suivant les quatre conditions expérimentales. Vous allez également capturer des images de l'humain pendant sa participation de l'expérience.

## Partie II : Suivi du mouvement de l'humain

Le suivi du mouvement de l'humain est obtenu à l'aide de la bibliothèque de traitement d'image [MediaPipe Pose](#). Cette bibliothèque est une solution basée sur l'apprentissage automatique qui permet de suivre la pose corporelle, en déduisant 33 points de repère 3D (voir la Figure 3) sur l'ensemble du corps à partir d'images vidéo RGB.



**Figure 3 :** points de repère 3D identifiés par [MediaPipe Pose](#).

Le programme *mediapipe.py*, qui accompagne le présent document, vous propose un exemple de suivi de la pose de l'humain à partir de la capture d'images RGB. Vous êtes invité.es à modifier ce programme afin de calculer les angles des épaules droite et gauche (conformément à la Figure 4) pour les poses de repos et d'extension. Ces poses vous permettent d'estimer les limites inférieure et supérieure de la plage de mouvement des l'articulation au niveau des épaules.



**Figure 4.** Estimation des angles *RShoulderRoll* et *LShoulderRoll* de l'humain. Estimation des vecteurs *XR* et *XL* à partir des points de repère 3D calculés par la bibliothèque *MediaPipe Pose*.

Calcul des angles :

$$\cos \alpha = \mathbf{XR} \cdot \mathbf{YR} / (|\mathbf{XR}| |\mathbf{YR}|) \quad (1)$$

$$\alpha = \arccos(\mathbf{XR} \cdot \mathbf{YR} / (|\mathbf{XR}| |\mathbf{YR}|))$$

où  $\mathbf{XR} = \mathbf{p}_{12} - \mathbf{p}_{14}$ ,  $\mathbf{YR} = \mathbf{p}_{12} - \mathbf{p}_{24}$ ,  $\mathbf{XL} = \mathbf{p}_{11} - \mathbf{p}_{13}$ ,  $\mathbf{YL} = \mathbf{p}_{11} - \mathbf{p}_{23}$ ,  $|\mathbf{XR}|$  correspond à la norme euclidienne du vecteur  $\mathbf{XR}$ , et  $\mathbf{XR} \cdot \mathbf{YR}$  correspond au produit interne entre les vecteurs  $\mathbf{XR}$  et  $\mathbf{YR}$ . Afin d'avoir une estimation d'angle normalisée  $\alpha_{norm}$  :

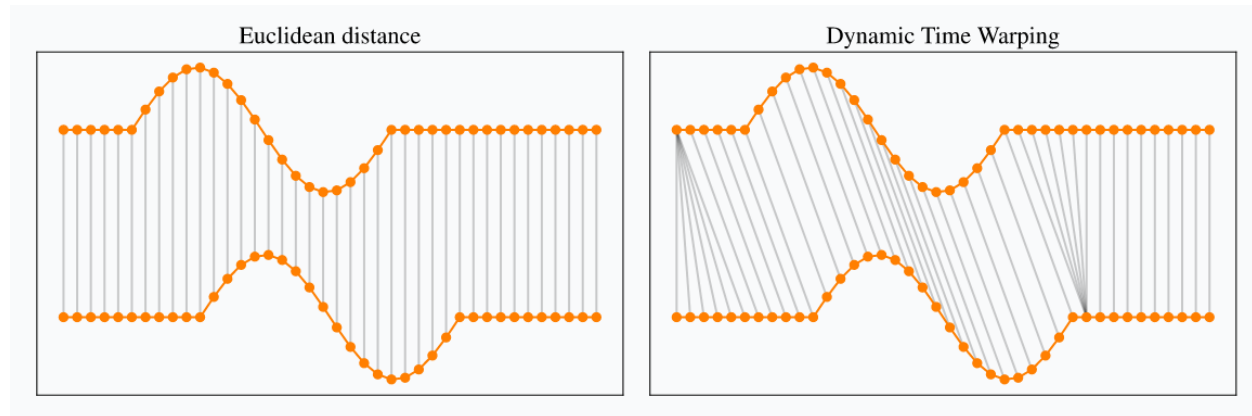
$$\alpha_{norm} = (\alpha - \alpha_{repos}) / (\alpha_{extension} - \alpha_{repos}) \quad (2)$$

### Partie III : Analyse de l'interaction

En suivant l'étude de Ranatunga et al. (2013)<sup>2</sup>, l'analyse de l'interaction se fera à l'aide de l'algorithme de la *déformation temporelle dynamique* (ou DTW pour *Dynamic Time Warping* en anglais). Le DTW est un algorithme permettant de mesurer la similarité entre deux suites qui peuvent varier au cours du temps. Ceci vous permettra de comparer la similarité entre les gestes de l'humain et du robot dans les quatre conditions expérimentales décrites précédemment. Comme illustré en Figure 5, DTW est une méthode qui recherche un

<sup>2</sup> Ranatunga, I., Beltran, M., Torres, N. A., Bugnariu, N., Patterson, R. M., Garver, C., & Popa, D. O. (2013, October). Human-robot upper body gesture imitation analysis for autism spectrum disorders. In *International Conference on Social Robotics* (pp. 218-228). Springer, Cham.

appariement optimal entre deux séries temporelles sous certaines restrictions. Les séries temporelles sont déformées par transformation non linéaire de la variable temporelle, pour déterminer une mesure de leur similarité, indépendamment de certaines transformations non linéaires du temps.



**Figure 5 :** Comparaison entre DTW et la distance euclidienne.

Le fichier *exempleDtw.py* vous est proposé comme exemple python de l'utilisation de l'algorithme DTW. Les liens suivants vous proposent une description intuitive de l'algorithme :

- Dynamic time warping 1: Motivation  
<https://www.youtube.com/watch?v=ERKDHZyZDwA>
- Dynamic time warping 2: Algorithm  
<https://www.youtube.com/watch?v=9GdbMc4CEhE>
- Dynamic Time Warping(DTW) Algorithm in Time Series  
<https://www.theaidream.com/post/dynamic-time-warping-dtw-algorithm-in-time-series>

En vous servant de l'algorithme DTW, vous devez comparer la similarité entre les trajectoires articulaires suivies par le robot et l'humain.

## Partie IV : Rapport d'expérience

Vous devez travailler en binôme et préparer un rapport de projet. Ce document doit contenir entre 15-25 pages, décrivant votre compréhension du sujet, discutant les résultats que vous avez obtenu ainsi que les programmes que vous avez développé, les difficultés rencontrées face à cette méthodologie, et proposer une réflexion autour de quelques perspectives futures. Le travail est à rendre sur la plateforme Arche avant le 21 décembre 2022. Veuillez soumettre un seul fichier en format PDF, nommé selon le patron suivant :

*Nom1\_Prénom1\_Nom2\_Prénom2\_Projet\_SA\_PE\_2022.pdf*