

## **Evaluation de gestes sportifs et de mouvements de rééducation : Une démarche intégrée de la mesure du mouvement à l'analyse des données**

### **1) Contexte**

L'assistance au diagnostic est un sujet usuel de l'Intelligence Artificielle (IA). Les progrès de l'IA pour procéder à l'analyse du mouvement humain, en particulier à l'aide d'images vidéo, permettent d'envisager son utilisation à la fois pour l'évaluation des progrès de patients en rééducation et pour l'aide à la préparation des sportifs de haut niveau.

D'une part, l'IA permet en effet une localisation précise des articulations à l'aide d'images vidéo sans marqueurs optiques, donc sans perte de temps pour les praticiens, ce qui autorise à envisager l'utilisation de ces techniques pour évaluer une progression dans la rééducation d'un patient atteint de déficits moteurs (marche, course). D'autre part, les méthodes récentes d'analyse des données permettent quant à elles de fournir les informations les plus utiles pour évaluer une tendance, comme ici les progrès d'un entraînement ou d'un programme de rééducation.

Le sujet de thèse proposé vise une démarche intégrée depuis la mesure des mouvements jusqu'à la présentation des informations les plus pertinentes pour traduire l'évolution de performance.

### **Co-financement et collaboration**

Cette thèse s'inscrit dans le cadre du projet AI et santé porté par l'Institut Polytechnique de Paris et financé par l'ANR dans le cadre des contrats doctoraux en Intelligence Artificielle.

Elle s'inscrit également dans le cadre des projets scientifiques visant à améliorer la préparation des sportifs aux JO 2024. Le projet sera mené en coopération avec la Fédération Française d'Athlétisme et la Fédération Française Handisport. Les résultats auront une application directe pour la préparation des sprinters.

### **Contexte national et international**

L'analyse d'image vidéo est largement utilisée pour la préparation des sportifs de haut niveau. Cependant, la lourdeur de ces analyses, réalisées essentiellement manuellement, limite leur utilisation. Les succès actuels de l'IA permettent d'envisager son utilisation systématique pour créer des outils d'évaluation des entraînements et de mettre ces outils à disposition des médecins pour les suivis de rééducation.

Les modèles de deep learning et les réseaux de neurones profonds, en particulier les modèles «Convolutional Neural Networks» (CNN) sont actuellement les principaux outils utilisés pour l'analyse de vidéos. Une nouvelle voie prometteuse consiste en l'utilisation des réseaux Transformers [Khan 2021], qui sont généralement plus efficaces dans la modélisation des dépendances à plus long terme dans les données séquentielles.

### **2) Objectifs**

L'objectif général de la thèse est de fournir à des entraîneurs ou à des praticiens des métriques qui leur permettent de suivre la progression de la performance d'un sportif ou de la rééducation d'un patient.

L'évaluation fera en particulier intervenir des réseaux de neurones profonds pour mesurer le mouvement en trois dimensions à l'aide d'images vidéo. Une fusion avec des capteurs inertiels (IMU) sera étudiée pour obtenir une plus grande précision. Des métriques seront ensuite proposées, soit en considérant des grandeurs mesurables corrélées aux connaissances des entraîneurs et des praticiens, soit en mettant en évidence des données corrélées à la performance ou à la progression directement à l'aide de vidéos annotées par les experts.

Une attention particulière sera portée à l'étude de la marche et de la course. La possibilité pour les sportifs et les patients de visualiser leur progression étant un élément majeur de motivation, les résultats de l'évaluation devront être présentés sous une forme qui leur soit compréhensible.

### **Approches proposées**

#### **Reconstitution des mouvements en 3 dimensions**

1<sup>er</sup> axe  $R_1$  :

Accès direct aux mouvements en 3 dimensions à partir de la localisation des articulations sur une image vidéo 2D. Les réseaux CNN de localisation des articulations sur une image 2D ont atteint des niveaux de performance remarquables. Pour les mouvements amples et rapides, des erreurs de détections sont toutefois encore fréquentes. Plusieurs techniques de correction de ces erreurs existent, soit par traitement du signal classique, soit par des techniques d'apprentissage profond. Une première étape dans le travail proposé dans cet axe consistera à choisir la méthode la plus performante pour le problème à traiter parmi les outils existants. Ensuite, une méthode de reconstitution des mouvements en 3 dimensions devra être sélectionnée. Ce pourra être soit une méthode à l'aide de réseaux CNN [Xu 2020], soit une méthode à l'aide de réseaux transformers [Llopart 2020]. En complément de l'étude de l'état de l'art, un fine tuning sur des images spécifiques sera réalisé.

2<sup>o</sup> axe  $R_2$  :

Les trajectoires en 3 dimensions peuvent être reconstruites à partir de plusieurs images vidéo capturant la même scène sous des angles différents [Xu 2020]. Le calcul des trajectoires en 3 dimensions pourrait être réalisées soit par des techniques classiques d'optimisation, soit par apprentissage profond.

3<sup>o</sup> axe  $R_3$  :

Les trajectoires en 3 dimensions peuvent également être reconstruites à l'aide d'une ou plusieurs images vidéo et d'informations d'accélération et d'orientations dans l'espace fournies par des capteurs inertiels (IMU) [Huang 2020]. Etant donnée la précision de ces derniers, un réseau de neurones profond pourra être considéré pour apprendre l'association entre les images vidéos et les positions inertielles en 3D, sur un jeu de données comprenant les deux types d'information. Ce réseau pourra ensuite générer les trajectoires d'articulations 3D sur des vidéos acquises sans capteurs inertiels, ce qui est essentiel pour utiliser les solutions développées à une grande échelle.

### **Proposition des métriques**

Par grandeurs mesurables, on entend des variables cinématiques (position, vitesse, accélération) obtenues à partir des trajectoires en 3 dimensions telles que fournies par les techniques identifiées ci-dessus.

Axe  $M_1$  :

Traduction des connaissances des experts en données mesurables.

Axe  $M_2$  :

Recherche de corrélation entre des grandeurs mesurables et des appréciations subjectives d'experts ou de données de performances plus globales (progression du temps, maintien dans le temps d'une performance ou d'une régularité de mouvement ...).

Axe  $M_3$  :

Proposition de métriques issues d'analyses « big data » qui ferait en particulier intervenir les matrices de Gram et la géométrie Riemannienne [Celozzi 2020].

Axe  $M_4$  :

En évaluant les données anthropométriques des athlètes et des patients, soit par mesure directe soit par analyse vidéo, il est possible d'avoir accès aux moments d'inerties des différents membres [Dumas 2007]. Il devient alors possible de calculer les efforts dans les articulations et au sol [Li 2019]. Ces données peuvent alors être exploitées suivant les 3 axes précédents. Elles peuvent également permettre d'améliorer la précision de la mesure des trajectoires des articulations.

### **Échéancier**

Les premiers mois de la thèse seront consacrés à l'étude bibliographique des différents aspects de la reconstitution des trajectoires en 3D. Une première méthode de reconstruction des trajectoires en 3D devra être fournie à la fin de la première année de thèse. Cette méthode sera alors exploitée pour la préparation de l'équipe de France d'athlétisme en vue de JO de 2024 et permettra d'obtenir des données pour la proposition de métriques.

Une deuxième phase d'analyse bibliographique des différents aspects de la proposition des métriques sera alors réalisée. Les 3 axes de cette partie seront alors explorés dans l'ordre proposé. Ce plan initial pourra être complété ou remis en cause par le candidat suite à l'analyse bibliographique. L'axe  $M_1$  sera impérativement

traité.

Des améliorations de la reconstruction des trajectoires en 3 dimensions pourront être apportées lors de cette deuxième phase (en particulier si l'axe  $M_4$  est abordé).

L'axe  $M_4$  ne sera abordé que si le calendrier le permet ou si le candidat manifeste un intérêt spécifique pour celui-ci. Il remplacerait alors  $M_3$ .

### 3- Candidature

Master ou école d'ingénieur à dominante informatique ou mathématiques appliquées

Expérience en machine learning et deep learning, en particulier réseaux convolutifs ou transformers. Une expérience en robotique ( $M_4$ ) permet également de candidater.

Très bonnes compétences en programmation, avec une expérience sur les bibliothèques de deep learning en python (Tensorflow, Pytorch)

Compétences rédactionnelles et de synthèse.

Une expérience de recherche ou une pratique personnelle de l'athlétisme serait un plus.

### Références

[Celozzi 2020] Ettore Maria Celozzi, Luca Ciabini, Luca Cultrera, Pietro Pala, Stefano Berretti, Mohamed Daoudi, Alberto Bimbo; "Modelling the Statistics of Cyclic Activities by Trajectory Analysis on the Manifold of Positive-Semi-Definite Matrices," FG 2020: 351-355.

[Dumas 2007] Dumas R, Chèze L, Verriest JP. Adjustments to McConville et al. and Young et al. body segment inertial parameters. J Biomech.; 40(3), 2007.

[Huang 2020] Fuyang Huang, Ailing Zeng, Minhao Liu, Qiuxia Lai, Qiang Xu, "DeepFuse: An IMU-Aware Network for Real-Time 3D Human Pose Estimation from Multi-View Image," WACV 2020.

[Khan 2021] Salman Khan, Muzammal Naseer, Munawar Hayat, Syed Waqas Zamir, Fahad Shahbaz Khan, and Mubarak Shah, "Transformers in Vision: A Survey," arXiv:2101.01169v2, Feb 2021.

[Li 2019] Zongmian Li, Jiri Sedlar Justin Carpentier Ivan Laptev Nicolas Mansard Josef Sivic (2019) Estimating 3D Motion and Forces of Person-Object Interactions from Monocular Video, arXiv:1904.02683, 2019.

[Llopart 2020] Adrian Llopart, "LiftFormer: 3D Human Pose Estimation using attention models," CoRR abs/2009.00348 (2020).

[Xiao 2018] B. Xiao, H. Wu, and Y. Wei. Simple Baselines for Human Pose Estimation and Tracking. In European Conference on Computer Vision (ECCV), 2018.

[Xu 2020] Jingwei Xu, Zhenbo Yu, Bingbing, Jiancheng Yang<sup>1,2</sup>, Xiaokang Yang, Wenjun Zhang, "Deep Kinematics Analysis for Monocular 3D Human Pose Estimation," CVPR 2020.

### Contact

Eric Fenaux                      Ingénieur de recherche      Telecom Paris | IP Paris [eric.fenaux@gmail.com](mailto:eric.fenaux@gmail.com)

Mounim A. El Yacoubi      Professeur                      Telecom SudParis | IP Paris [mounim.el\\_yacoubi@telecom-sudparis.eu](mailto:mounim.el_yacoubi@telecom-sudparis.eu)

Sao Mai, Nguyen              Enseignante chercheuse      ENSTA Paris | IP Paris [sao-mai.nguyen@ensta-paris.fr](mailto:sao-mai.nguyen@ensta-paris.fr)