

## II. Estimation de la cinématique tridimensionnelle du genou basée sur l'optimisation par essaim de particules

Badreddine Ben Nouma<sup>1</sup>, Neila Mezghani<sup>2,3</sup>, Youssef Ouakrim<sup>3</sup>, Amar Mitiche<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Énergie Matériaux Télécommunications - INRS, Institut national de la recherche scientifique, Montréal,

<sup>2</sup>Centre de recherche LICEF, TELUQ, Montréal, Québec,

<sup>3</sup>Laboratoire de recherche en imagerie et orthopédie, CRCHUM, Montréal, Québec

### Résumé :

Cette approche se repose sur le principe de la minimisation de la variance tout en conservant la forme réelle des courbes acquises. Le test de l'approche proposée a été appliqué sur une base de données de 42 patients répartie équitablement sur 2 classes : les sujets asymptomatiques (AS) et les patients souffrant de l'arthrose du genou (OA). L'évaluation de notre approche est assurée à travers la méthode d'ajustement linéaire. La validation de cette dernière est réalisée en fonction des instruments de mesure suivants : justesse, sensibilité, sensibilité et la fiabilité.

**Mots clés :** Estimation, OEP, genou, arthrose, asymptomatique

### I. Introduction

De nos jours, l'analyse des données biomécaniques et particulièrement des données cinématiques de la locomotion du genou est devenu le centre d'intérêt de plusieurs chercheurs. Le but de cet intérêt est l'automatisation de la classification des pathologies. Les données cinématiques du genou sont définies dans les trois plans suivants : le plan frontal qui correspond à la rotation de flexion-extension principale du genou, le plan sagittal qui représente la rotation interne et externe de cette articulation et le plan transversal qui représente la rotation d'abduction et adduction. Ces données sont collectées durant plusieurs cycle de marche à l'aide d'un exosquelette. L'acquisition des données cinématiques est confrontée à une variabilité interclasse c'est-à-dire au sein d'une même classe à cause de nombreux facteurs. La tendance s'oriente vers l'aboutissement à un ensemble d'essais, pour un seul candidat, relativement superposés. Par conséquent, le défi de la classification de formes est la recherche de la forme la plus représentative d'une classe et aussi bien d'un candidat. Deux méthodes fréquemment utilisées dans le domaine de la biomécanique du genou pour le choix du cycle de marche. La première consiste à prendre la moyenne des courbes d'essais, d'un seul sujet acquis dans les mêmes conditions, comme courbe représentative du candidat. La deuxième se repose sur le principe du coefficient de corrélation intraclasse pour

déterminer les cycles les plus représentatifs ( $x$ ). Ces méthodes ne sont pas adaptées à la complexité des signaux cinématiques.

Le but de cette étude est d'attaquer à la problématique de l'estimation de cycle de marche afin d'améliorer la qualité de représenter un sujet. Pour ce faire, nous emploierons la méthode de OEP pour la minimisation bi-objective d'une fonction de fitness. Cette dernière permet la minimisation simultanée de la variance et de la distance avec les courbes originales. Autrement dit, l'objective est de construire des courbes les plus proches à leur moyenne et les plus semblables aux courbes originales pour conserver la forme réelle des données. L'évaluation de nos résultats est basée sur le degré de similitude de nos courbes avec les originaux. Nous testons la similitude entre les courbes à travers une méthode d'ajustement linéaire (2).

## 2. Méthode

### Optimisation par essaim de particules

L'optimisation par essaim de particules est une méthode d'optimisation stochastique développée par (3) et (4). Elle est caractérisée par un ensemble de variables  $\{P_1, \dots, P_N\}$  appelées des particules. Cet algorithme permet, itérativement, de modifier les valeurs des particules afin de trouver les meilleures valeurs qui représentent les solutions optimales par rapport à la fonction de fitness suivante (1).

$$f(EC) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{\epsilon * d(EC_i - C_i)\} + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left\{ (1 - \epsilon) * d(EC_i - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N EC_j) \right\} \quad (1)$$

$EC$  est le patron représentatif à estimer (le cycle de marche à estimer),  $N$  le nombre des courbes cinématiques,  $C_i$  les courbes cinématiques collectées (originales) avec  $i$  l'indice du cycle et  $\epsilon$  un paramètre qui contrôle la pondération des deux termes à minimiser. Nous avons fixé la valeur de  $\epsilon$  à 0.5 afin d'assurer la parité entre ces deux termes.

### Base de données

L'estimation de la cinématique du genou en utilisant l'optimisation par essaim de particules a été testée sur une base de données contenant quarante-deux participants : 21 sujets ayant une arthrose au genou (OA) et 21 sujets asymptomatiques (AS). Les données cinématiques 3D (flexion-extension, adduction-abduction et la rotation interne-externe), de chaque sujet durant plusieurs cycles de marche, ont été enregistrées lors de la marche à une vitesse confortable sur un tapis roulant et en utilisant des marqueurs de mouvement fixés au genou à l'aide du système d'attache KneeKG [4].

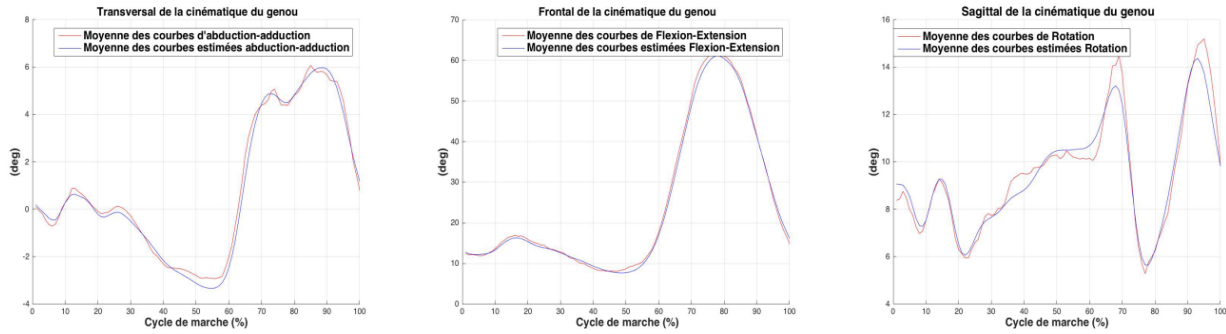


Figure 1: Illustration graphique de la correction d'un exemple

### Validation

La validation de la méthode proposée est basée sur les mesures suivantes : la justesse, la sensibilité et la spécificité et la fiabilité. La justesse est définie comme l'étroitesse de l'accord entre le patron représentatif estimé et l'ensemble des courbes cinématiques collectées. La sensibilité et la spécificité permettent, respectivement, de mesurer le taux d'une bonne classification pour les patients OA et le taux d'une bonne classification pour les sujets AS. Finalement, la fiabilité consiste à évaluer l'ensemble des données résultant en fonction de coefficient de corrélation inter-cycles (CCI).

### 3. Résultats

Le tableau 1 résume la justesse des données. La valeur de  $R^2 = 0,99$  élevée démontre la robustesse de la méthode utilisée. Pour la mesure de sensibilité et la spécificité, nous avons utilisé un perceptron multi-couche. Nous avons également comparé les résultats obtenus en utilisant le patron estimé par la méthode PSO à ceux obtenus en utilisant les méthodes standards telles que celles utilisant la moyenne des courbes ou le coefficient de corrélation intra-classe. Le tableau 2 résume les résultats de classification. Le taux de bonne classification s'élève à 78% avec une spécificité de 76% et une sensibilité de 81%. Ces résultats se comparent favorablement à ceux obtenus avec les méthodes standard (ligne 3 et 4 du tableau 2). Finalement, le tableau 3 montre une corrélation importante entre l'ensemble de courbes estimées par la méthode PSO et l'ensemble des courbes collectées ( $CCI = 0,99$ ).

Table 1: Les paramètres de justesse

|                  | $R^2$             | $a_1$            | $a_q$             |
|------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| OA subjects      |                   |                  |                   |
| Moyenne $\pm ET$ | $0.99 \pm 0.0097$ | $0.06 \pm 0.009$ | $0.9 \pm 0.097$   |
| AS subjects      |                   |                  |                   |
| Moyenne $\pm ET$ | $0.99 \pm 0.0094$ | $0.03 \pm 0.007$ | $0.99 \pm 0.0094$ |

**Table 2 : Taux de classification**

| Taux de bonne classification (%)                    | OA | AS | Total |
|---|----|----|-------|
| Patron représentatif en utilisant la méthode PSO    | 76 | 81 | 78    |
| Moyenne des courbes cinématiques                    | 71 | 71 | 71    |
| Moyenne des courbes cinématiques les plus corrélées | 66 | 76 | 71    |

**Table 3 : Coefficient de corrélation intra-class**

|                           | Base de données OA | Base de données AS |
|---------------------------|--------------------|--------------------|
| $r \pm \text{écart type}$ | (0.99±0.012)       | (0.99±0.0052)      |

#### 4. Conclusion

Dans cette étude, nous avons développé une nouvelle approche qui permet d'estimer un patron représentatif de la cinématique tridimensionnelle du genou en utilisant l'optimisation par essaim de particules. La méthode proposée a été testée et validée sur une base de données contenant deux classes : une classe de sujets asymptomatiques et une classe de sujets arthrosiques. Les résultats obtenus démontrent la pertinence, la justesse et la fiabilité de la méthode développée. Ils démontrent également de meilleures performances par rapport aux méthodes standards telles que celles utilisant la moyenne des courbes ou le coefficient de corrélation intra-classe.

#### Références bibliographiques

- [1] A. Duhamel, et al., *Gait & posture* 20, 204 (2004).
- [2] M. Iosa, et al., *BioMed research international* 2014 (2014).
- [3] J. Kennedy, R. Eberhart, *Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks* (1995), vol. 4, pp. 1942–1948.
- [4] S. Lustig, R. A. Magnussen, L. Cheze, P. Neyret, *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 20, 633 (2012).