

CARACTÉRISATION D'UN PLONGEOIR À PARTIR D'UNE MÉTHODE DE PRÉDICTION DES ACTIONS DU PLONGEUR: ÉTUDE PILOTE

Auteur: L. Demestre¹ louise.demestre@ens-rennes.fr
Co-auteur: Y. Audoux¹ ; S. Grange² ; N. Bideau, G. Nicolas³ ; C. Pontonnier, G. Dumont¹

¹ Univ Rennes, Inria, CNRS, IRISA

² Univ Lyon, INSA-Lyon, GEOMAS, Villeurbanne

³ Univ Rennes, Inria, Laboratoire M2S, Rennes

Conférence Sciences²⁰²⁴, saison 2021

<https://sciences2024.polytechnique.fr>

28 Mai 2021

Mots clés: Optimisation, éléments finis, dynamique corps complet, prédiction d'efforts.

1 Introduction

Ce résumé présente une nouvelle méthode d'étude de l'interaction entre un plongeur et un plongeur lors d'un plongeon sur tremplin ([6]). Il s'agit d'un couplage faible entre un modèle éléments finis du plongeur et un modèle de plongeur à 18 segments. Les forces et moments d'interaction (F&MI) entre le plongeur et le plongeur sont prédits à partir d'une méthode basée sur le mouvement humain. Les paramètres du plongeur sont optimisés pour minimiser les écarts entre les déplacements verticaux expérimentaux et numériques.

2 Méthodes utilisées

2.1 Capture de mouvement

Les données de capture de mouvement ont été enregistrées à l'aide d'un système optoélectronique (200 Hz, Qualisys). 50 marqueurs réfléchissants ont été placés sur le plongeur et 45 sur le sujet (1,65 m, 66,7 kg) en suivant les recommandations de l'ISB.

Lors de l'essai traité, le sujet a fait osciller l'extrémité libre du plongeur en effectuant des oscillations avec ses jambes.

2.2 Prédiction des F&MI

Cette méthode a été mise en oeuvre dans la bibliothèque Matlab CusToM [3].

Le plongeur a été considéré comme une succession de surfaces rectangulaires rigides. La surface de contact sous les pieds est discrétisée en 28 points de prédiction (PP).

La méthode suivante est appliquée à chaque instant. Pour chaque PP, le marqueur du plongeur le plus proche selon l'axe x (Figure 1) est détecté. Les marqueurs du plongeur détectés forment la surface de contact poten-

tielle (SCP) à laquelle on associe un référentiel mobile. Enfin, des critères en position et vitesse relatives sont vérifiés pour détecter si le contact est actif ou non entre chaque PP et la SCP. Les effort extérieurs appliqués sur chaque PP actif sont minimisés de façon à respecter l'équilibre dynamique du sujet [4].

2.3 Modélisation du plongeur

Le modèle de plongeur a été implémenté dans la bibliothèque Matlab ATLAS [2]. Le plongeur a été modélisé par une poutre 2D de Bernoulli homogène (Figure 1).

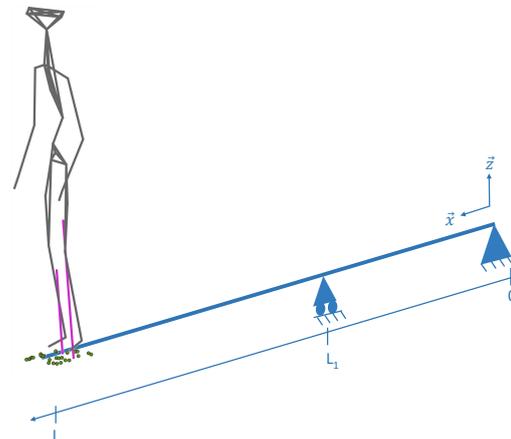


Figure 1: Modèles du plongeur (F&MI pour chaque pied en violet et PP en vert) et du plongeur

Les F&MI des deux pieds sont additionnés et appliqués sur le nœud relatif au milieu de la SCP. Une méthode de complémentarité [1] gère le contact entre le plongeur et l'appui unilatéral en $x = L_1$.

2.4 Caractérisation du modèle de plongeur

La méthode de caractérisation a pour but de déterminer les paramètres du modèle de plongeur (module de Young E (Pa), masse volumique ρ ($\text{kg}\cdot\text{m}^3$), épaisseur h (m), coefficient de restitution e) permettant d'approcher

au mieux le déplacement vertical expérimental.

Les déplacements des nœuds situés entre $x = 0$ et $x = L_1$ n'ont pas été pris en compte car ils étaient de l'ordre du mm, à savoir la précision du système optoélectronique utilisé.

La fonction objectif suivante a été minimisée en utilisant la méthode du recuit simulé:

$$\phi(E, \rho, h, e) = \sum_{m=S+1}^{n_m} \frac{1}{n_e |A(x_m)|} \sum_{k=1}^{n_e} (U_{exp}(x_m, t_k) - U_{num}(x_m, t_k))^2$$

tels que

$$\begin{cases} 1^{e8} Pa < E < 1^{e12} Pa \\ 10 kg.m^{-3} < \rho < 1^{e6} kg.m^{-3} \\ 0,01m < h < 0,1m \\ 0 < e < 1 \end{cases} \quad (1)$$

où n_m est le nombre de marqueurs, S le numéro du marqueur en $x = L_1$, n_e le nombre d'incrément temporels, A le déplacement maximal, U_{num} et U_{exp} respectivement les déplacements verticaux numériques et expérimentaux à l'abscisse x_m et à l'instant t_k .

2.5 Quantification des résultats

La métrique de Sprague et Geers [5] permet de séparer les erreurs en amplitude (M) et en phase (P). Cette métrique est aussi basée sur un facteur d'erreur C qui dépend de M et P. L'évolution des déplacements verticaux expérimentaux et numériques en fonction du temps pour chaque nœud pris en compte ont été comparés. Ainsi, une valeur de M, P et C a été obtenue pour chacun de ces nœuds. Enfin, les moyennes des valeurs absolues de M, P et C ont été calculées pour quantifier l'erreur sur le plongeur complet.

3 Résultats

Le tableau 1 reporte les paramètres estimés, avec b la largeur du plongeur (fixée à 0,5 m) et I le moment d'inertie.

Table 1: Paramètres optimisés du modèle de plongeur.

$\frac{EI}{b}$ (Pa.m ³)	ρ (kg.m ⁻³)	e
$1,5e^5$	26,7	0,15

Les déplacements verticaux expérimentaux et numériques en $x = L$ ont été comparés (Figure 2):

L'écart maximal entre les déplacements numérique et expérimental est observable quand le plongeur atteint son altitude minimal. Cet écart est de 2,9cm, soit 11% du déplacement expérimental maximal. Les valeurs moyennes de M, P et C sont respectivement 4,8%, 1,3% et 5,0%.

On peut conclure que la méthode permet d'obtenir un modèle avec un comportement dynamique proche de celui observé expérimentalement.

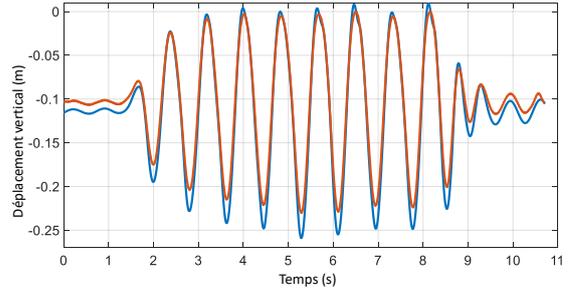


Figure 2: Déplacements verticaux expérimental (bleu) et numérique (rouge) en $x = L$

4 Conclusion et perspectives

La méthode de caractérisation présentée est un nouvel outil permettant d'obtenir un modèle d'un plongeur étudié expérimentalement. Cette méthode est appropriée pour les études couplées de dynamique des structures et d'analyse biomécanique.

Dans le futur, un tel modèle pourrait être utile pour étudier la synchronisation temporelle entre le plongeur et le plongeur.

Le modèle de plongeur pourrait être amélioré de façon à prendre en compte des F&MI variables dans l'espace. La méthode de caractérisation sera aussi améliorée pour prendre en compte plusieurs essais expérimentaux simultanément.

References

- [1] Vincent Acary. Projected event-capturing time stepping schemes for nonsmooth mechanical systems with unilateral contact and Coulomb's friction. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 256:224–250, 2013.
- [2] Stéphane Grange. ATL4S—A Tool and Language for Simplified Structural Solution Strategy. Technical report, GEOMAS INSA-Lyon, 2021.
- [3] Antoine Muller, Charles Pontonnier, Pierre Puchaud, and Georges Dumont. CusToM: a Matlab toolbox for musculoskeletal simulation. *Journal of Open Source Software, Open Journals*, 4(33):1–3, 2019.
- [4] Antoine Muller, Charles Pontonnier, and Georges Dumont. Motion-Based Prediction of Hands and Feet Contact Efforts during Asymmetric Handling Tasks. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 67(2):344–352, 2020.
- [5] Leonard E. Schwer. Validation metrics for response histories: Perspectives and case studies. *Engineering with Computers*, 23:295–309, 2007.
- [6] Maurice R. Yeadon, Pui W. Kong, and Mark A. King. Parameter determination for a computer simulation model of a diver and a springboard. *Journal of Applied Biomechanics*, 22(3):167–176, 2006.