

## **Extraction de la trajectoire d'une balle de tennis de table à partir d'une seule caméra**

Au sein de notre établissement, nous avons pu pour la première fois jouer au tennis de table. En observant le niveau avancé de nos pairs, nous avons été inspirés à développer nos compétences. L'idée d'analyser nos mouvements sportifs en examinant les trajectoires de la balle pendant le jeu a émergé.

Habituellement, l'analyse des mouvements sportifs se fait par vision par ordinateur dans un cadre de laboratoire loin des conditions réelles d'entraînement. Pour pallier à cela, il serait pertinent de développer une méthode d'analyse des trajectoires de la balle en utilisant une simple caméra, un outil plus accessible dans notre contexte.

**Ce TIPE fait l'objet d'un travail de groupe.**

**Liste des membres du groupe :**

- *ABOUTAHIR Ahmed*

**Positionnement thématique (ÉTAPE 1) :**

- *PHYSIQUE (Physique Ondulatoire)*

- *PHYSIQUE (Mécanique)*

- *INFORMATIQUE (Informatique pratique)*

**Mots-clés (ÉTAPE 1) :**

**Mots-clés (en français) Mots-clés (en anglais)**

*Tennis de table*                      *Table tennis*

*Calibration*                              *Calibration*

*Effet Magnus*                              *Magnus Effect*

*Vision monoculaire*                      *Monocular vision*

*Modélisation 3D*                              *3D Reconstruction*

**Bibliographie commentée**

La vision est le premier indicateur permettant aux entraîneurs d'évaluer la qualité d'un geste sportif. Toutefois, il est important de noter que l'analyse des mouvements via la vision par ordinateur est généralement confinée aux expérimentations en milieu de laboratoire, ce qui diverge significativement des conditions d'entraînement quotidiens des joueurs hors sphère

professionnelle. Dans cette perspective, nous introduisons l'analyse des trajectoires de balles en 3D à l'aide d'une seule caméra en essayant de minimiser les contraintes d'acquisition [4]. Un point clé de la proposition est l'estimation de la taille apparente de la balle pour obtenir la distance entre la balle et la caméra même en cas de flou de mouvement élevé. Cette distance servira donc par la suite en tant que profondeur pour le passage du modèle 2D des séquences d'images capturées au modèle 3D final.

Ce processus impose la calibration de la caméra à utiliser. Cette étape, cruciale pour extraire des données métriques des images 2D, est facilitée par la technique de Zhang [2], qui ne requiert qu'un motif plan sous différents angles. Cette méthode, pratique et adaptable au-delà des laboratoires, sera appliquée dans notre étude en utilisant OpenCV [3] pour déterminer les propriétés - matrices intrinsèques et extrinsèques - de la caméra et éviter les déformations d'images.

Après avoir déterminé les paramètres de calibration de la caméra, l'étape suivante dans la chaîne de traitement est la détection de l'objet que nous souhaitons suivre sur les images. Dans notre cas, il s'agit de la balle de tennis de table. Comme nous le verrons, sa taille estimée en pixels sur chacune des images permettra ensuite sa rétroprojection dans l'espace 3D. Nous avons opté pour une méthode de détection basée sur la bibliothèque CV2 de Python basant le traitement de la séquence sur la détection de contours de la balle mais aussi sa couleur, permettant d'avoir à la fois une bonne détection de balle, et une méthode globalement rapide : le suivi permet de ne pas avoir à détecter la balle sur chaque image.

Pour obtenir la succession des positions 3D de la balle au cours du temps, nous devons obtenir la distance caméra-balle en vision monoculaire. Il faut pour cela estimer la taille de la balle (son diamètre) dans le domaine image, malgré un flou de mouvement important. L'estimation de son diamètre en pixels dans le domaine image de la balle est alors intéressante, car elle fournit des informations sur la distance qui la sépare de la caméra.

Une fois la caméra calibrée, la balle détectée, et sa profondeur par rapport à la caméra retrouvée, une étude théorique s'impose. Le mouvement de la balle obéit au principe fondamental de la dynamique. Il s'agit ainsi de considérer les forces appliquées sur la balle lors de son mouvement : son poids et la force aérodynamique [1] décomposable en deux types d'effets : effet de traînée et celui de Magnus [5]. Sans cette dernière force aérodynamique, la trajectoire de la balle serait une parabole ; lorsque on en tient compte, la parabole est modifiée. La traînée agit comme une force de friction, proportionnelle à un coefficient de frottement, qui s'oppose au mouvement relatif de la balle. Ensuite, lorsque la balle tourne, la différence de pression d'air sur les côtés supérieur et inférieur de la balle provoque une modification de sa trajectoire, c'est ce qu'on appelle la force Magnus. Ainsi après l'application du principe fondamental de la dynamique, les équations différentielles du mouvement sont retrouvées. Une modélisation 3D de la trajectoire théorique est alors réalisée pour différentes conditions initiales.

Une fois les trois courbes : théorique, modélisée par une seule caméra et celle modélisée par la méthode de vision stéréoscopique obtenues, on procède à une comparaison entre les trois

courbes pour vérifier l'écart entre la trajectoire réelle -représentée par la méthode de vision stéréoscopique- et celle obtenue par la caméra pour en vérifier la justesse et la précision.

## Problématique retenue

Dans l'univers du tennis de table, la taille de la balle et sa rapidité représentent des défis de l'analyse des trajectoires: cruciale pour améliorer les compétences des joueurs. Comment, alors, peut-on déduire des trajectoires aussi précises que possible d'une balle de tennis de table en utilisant une unique caméra ?

## Objectifs du TIPE du candidat

1. Détection de la balle sur des séquences d'image obtenues à l'aide de la caméra étalonnée.
2. Modélisation 3D de la trajectoire de la balle à partir de la séquence d'image filmée et les paramètres intrinsèques et extrinsèques de la caméra.
3. Étude dynamique et modélisation théorique du mouvement de la balle de tennis de table.
4. Confronter les résultats obtenus par la méthode de vision stéréoscopique aux résultats de l'estimation 3D du mouvement par la vision monoculaire.

## Références bibliographiques (ÉTAPE 1)

- [1] LYMAN J. BRIGGS : Effect of Spin and Speed on the Lateral Deflection (Curve) of a Baseball ; and the Magnus Effect for Smooth Spheres. : *American Journal of Physics*, 1959.
- [2] ZHENGYOU ZHANG : A flexible new technique for camera calibration. : *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions*
- [3] OPEN CV : Camera Calibration : [https://docs.opencv.org/4.x/dc/dbb/tutorial\\_py\\_calibration.html](https://docs.opencv.org/4.x/dc/dbb/tutorial_py_calibration.html)
- [4] LEJUN SHEN, QING LIU, LIN LI, AND HAIPENG YUE : 3D reconstruction of ball trajectory from a single camera in the ball game. : *Chung, P., Soltoggio, A., Dawson, C., Meng, Q., Pain, M. (eds) Proceedings of the 10th International Symposium on Computer Science in Sports (ISCSS). Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 392. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-24560-7\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-24560-7_5)*
- [5] GERARDO J. ESCALERA SANTOS , MARIO A. AGUIRRE-L'ÓPEZ : On the Aerodynamic Forces on a Baseball, With Applications. : *Front. Appl. Math. Stat., 28 January 2019 Sec. Mathematics of Computation and Data Science.*

## DOT

- [1] : [Mars-Avril 2023] : Choix final du sujet, positionnement des différents objectifs et répartition des tâches, découverte de la notion du calibrage (matrice intrinsèque et extrinsèque), recherche d'une méthode efficace pour l'étalonnage.
- [2] : [Mai-Juin 2023] : Etude de la méthode de Zhang pour l'étalonnage et découverte de la bibliothèque OpenCv pour l'extraction des paramètres intrinsèques et extrinsèques de la caméra à partir des images de calibration prises par la caméra de l'Iphone 11 Pro à utiliser. Réussite de l'extraction des paramètres malgré les problèmes de détection des coins dans quelques images à faible contraste.
- [3] : [Septembre-Octobre 2023] : Étude physique du mouvement de la balle et l'obtention des équations de mouvements. Résolution numérique des équations, en prenant une vitesse de rotation constante pour simplification, et modélisation de la trajectoire pour différents types de coups classiques.
- [4] : [Novembre 2023] : Familiarisation avec les fonctions prédéfinies sur OpenCv utiles pour la détection de la balle sur l'échange filmé. Apparition des problèmes de détection sur plusieurs séquences à cause de la couleur des habits des joueurs ou la forme circulaire des éléments de l'espace .
- [5] : [Décembre 2023 - Janvier 2024] : Découverte de la méthode Ransac et l'adaptation de celle-ci dans le modèle de détection de la balle. Traçage et modélisation de la trajectoire de la balle pour plusieurs séquences filmées par la caméra étalonnée.
- [6] : [Février-Mars 2024] : Comparaison entre les deux modélisations (par la seule caméra et la méthode de vision stéréoscopique), et conclusion sur le pourcentage de réussite de l'extraction d'une trajectoire de la balle et d'une modélisation assez fidèle de la réalité.
- [7] : [Avril-Mai 2024] : Raffinement des études théoriques et finalisation des livrables.