

## Automatisation des décisions prises dans l'arbitrage sportif (exemple du tennis)

Au sein de notre établissement, le tennis occupe une place prépondérante parmi les activités sportives plébiscitées par les élèves. Toutefois, l'enthousiasme généré par ce sport est parfois entaché par les défis rencontrés lors de l'arbitrage, en particulier dans la détermination du statut "in" ou "out" de la balle.

Face à cette problématique récurrente, nous entreprenons une exploration sur la manière dont l'intelligence artificielle pourrait être déployée dans le but d'améliorer l'expérience du jeu et d'éliminer les controverses liées aux décisions humaines dans ce sport.

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

**Liste des membres du groupe :**

- BOUMESSAOUD Zakarya

**Positionnement thématique (ÉTAPE 1) :**

- MATHÉMATIQUES (*Mathématiques Appliquées*)

- MATHÉMATIQUES (*Analyse*)

- INFORMATIQUE (*Informatique pratique*)

**Mots-clés (ÉTAPE 1) :**

**Mots-clés (en français)**

*Algorithme du gradient*

*Perceptron multicouche*

*Rétropropagation*

*Réseau de neurones convolutif*

*Détection d'objet*

**Mots-clés (en anglais)**

*Gradient Descent Algorithm*

*Multilayer perceptron*

*Backpropagation*

*Convolutional Neural Networks*

*Object detection*

**Bibliographie commentée**

Depuis les premiers questionnements d'Alan Turing dans les années 1950 sur la possibilité pour les ordinateurs de manifester une forme d'intelligence humaine, l'intelligence artificielle a connu une évolution significative. Jusqu'aux années 1970, de nombreux algorithmes ont été

développés, principalement à des fins industrielles, marquant les premières avancées dans ce domaine. Une application emblématique de l'intelligence artificielle dans le domaine sportif est le *Hawk-Eye*. Développé en 2001 par les ingénieurs Paul Hawkins et David Sherry, ce système a révolutionné l'arbitrage sportif en offrant une analyse précise des trajectoires des balles. Cette technologie a été introduite au tennis en 2002 pour les tournois de L'ATP. Toutefois, ce modèle repose sur l'utilisation de 10 caméras et son coût peut atteindre 100000 dollars. [2]

Afin de détecter la position de la balle de tennis aux bordures du terrain, deux approches sont suggérées dans le cadre de cette démarche.

La première consiste à suivre la trajectoire de la balle en se référant à une étude physique basée sur ses conditions initiales. Par l'analyse des coordonnées de la balle, nous évaluons sa position en les comparant à celles des bordures du terrain. Cette étude se base sur des hypothèses simplificatrices, évaluées via une simulation et une expérience réelle dans des conditions spécifiques. [6]

La deuxième approche repose sur l'apprentissage supervisé, visant à développer des algorithmes capables d'apprendre des fonctions prédictives, telles que la classification d'images (*par exemple, déterminer si une balle de tennis est "in" ou "out"*). Cette méthode s'appuie sur l'utilisation d'un réseau de neurones formels inspiré du fonctionnement des neurones biologiques ; notamment le perceptron multicouche, inventé en 1957 par Frank Rosenblatt et qui est constitué de couches successives de neurones formels [1]. La clé de cette approche réside dans la propagation directe, où le perceptron calcule progressivement la sortie du réseau en fonction de l'entrée, assurant ainsi la réalisation des prédictions attendues. L'objectif est d'ajuster les paramètres du réseau de manière à minimiser l'écart entre la sortie calculée et la sortie souhaitée, en utilisant la rétropropagation pour calculer le gradient des couches et en mettant à jour les paramètres avec un taux d'apprentissage choisi. Ce processus itératif optimise les performances du réseau. [3]

Cependant, la performance d'un tel algorithme est limitée lorsqu'il est appliqué à des images en raison de la connectivité totale entre tous les neurones des couches adjacentes. Inspirés par le modèle du cortex visuel des vertébrés, les réseaux de neurones convolutifs (CNN) restreignent ces connexions en transformant les neurones formels en filtres, qui effectuent une opération de convolution en fonction d'hyperparamètres. Des couches de pooling sont également introduites pour réduire la dimension des images tout en préservant leurs caractéristiques essentielles, améliorant ainsi l'efficacité du réseau et prévenant le surapprentissage. [4]

Bien que les réseaux de neurones convolutifs (CNN) aient démontré leur efficacité dans la classification d'images, l'application directe de cette technologie aux vidéos du tennis pour déterminer si la balle est "in" ou "out" nécessite une approche plus nuancée. Dans ce contexte, une méthode basée sur les boîtes englobantes (*bounding boxes*) utilisées dans la détection d'objets est mise en œuvre. Cette méthode implique la définition de zones d'intérêt dans chaque cadre de la vidéo, facilitant l'extraction du cadre d'impact spécifique où la balle atteint le sol. Par le biais d'une subdivision de la vidéo en cellules dédiées, l'analyse de chaque cellule vise à

prédire les coordonnées associées à la position où la balle touche le terrain. Cette approche permet une détection du moment crucial de l'impact, permettant ensuite son intégration dans le modèle préalablement développé, rendant ainsi la solution pratique pour une application en temps réel. [5]

## Problématique retenue

Comment peut-on automatiser la détermination de la position relative de la balle de tennis par rapport à la bordure du terrain ? Et comment exploiter l'intelligence artificielle pour réaliser cette automatisation en temps réel ?

## Objectifs du TIPE du candidat

- Examiner comment les réseaux neuronaux artificiels peuvent reconnaître des motifs complexes à partir de données.
- Entraîner un réseau neuronal convolutif à classifier des images de terrain de tennis pour prédire si la balle est "in" ou "out".
- Explorer des techniques de détection d'objets pour repérer le cadre d'impact où la balle touche le sol près de la ligne du terrain.
- Comparer ces résultats avec ceux issus de l'étude physique de la trajectoire.

## Références bibliographiques (ÉTAPE 1)

[1] CLÉMENT DOUARRE, ROUSSEAU DAVID : Introduction à l'apprentissage profond (deep learning) de l'intelligence artificielle (2021) : <https://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/IA-apprentissage-Rousseau.xml>

[2] VINCENT BROUSSEAU-POULIOT : Le Hawk-Eye: l'arbitre absolu : <https://www.lapresse.ca/sports/tennis/atp/200908/10/01-891127-le-hawk-eye-larbitre-absolu.php>

[3] MICHAEL NIELSEN : The two assumptions we need about the cost function : <http://neuralnetworksanddeeplearning.com/chap2.html>

[4] STANFORD UNIVERSITY : CS231n Convolutional Neural Networks for Visual Recognition : <https://cs231n.github.io>

[5] WEIJIAN LI, XIAOFENG TAN, ZHIJIE WANG : Small Object Detection of Table Tennis Based on Deep Learning Network (2020) : <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9443773>

[6] JORDAN CALANDRE, RENAUD PETERI, LAURENT MASCARILLA, BENOIT TREMBLAIS : Extraction and analysis of 3D kinematic parameters of Table Tennis ball from a

single camera (2021) : [https://www.researchgate.net/publication/352831905\\_Extraction\\_and\\_analysis\\_of\\_3D\\_kinematic\\_parameters\\_of\\_Table\\_Tennis\\_ball\\_f](https://www.researchgate.net/publication/352831905_Extraction_and_analysis_of_3D_kinematic_parameters_of_Table_Tennis_ball_f)

## DOT

- [1] : Juin 2023: Sélection du sujet de projet alliant sport et technologie. Choix du tennis pour la détection du statut de la balle "in-out".
- [2] : Août 2023: Analyse de la faisabilité de la simulation de la trajectoire de la balle de tennis.
- [3] : Septembre 2023: Développement de la simulation de la trajectoire de la balle. Réalisation de tests pratiques sur le terrain de l'établissement. Analyse des échecs et formulation des conclusions.
- [4] : Décembre 2023: Recherche sur l'apprentissage supervisé et exploration de l'utilisation des réseaux de neurones pour la classification du statut "in-out".
- [5] : Janvier 2024: Visite de terrains en terre battue et terrains durs au club local Martennis pour collecte de données nécessaires.
- [6] : Février 2024: Identification des besoins en données et développement de méthodes de traitement pour la classification des images de l'impact de la balle.
- [7] : Mars-Avril 2024: Documentation sur la librairie OpenCV et son exploitation pour la détection des cadres d'impact au sol.
- [8] : Mai 2024: Préparation de la présentation finale et intégration des résultats obtenus.