



Université Rennes 2
Fédération Française d'Athlétisme

Optimisation de l'analyse vidéo pour l'amélioration des performances en course de Haies : application et évaluation de l'outil métavidéo

Mémoire de 1ère année de Master Sciences du Numérique et Sport
Année universitaire 2023-2024

Présenté par : Raphaël Peus

Encadré par : Canelle Poirier

Tuteur Universitaire : Françoise Rannou-Bekono

TABLE DES MATIÈRES

<u>INTRODUCTION</u>	3
<u>LA REVUE DE LITTÉRATURE</u>	5
2.1 Du manuel à l'automatique. Etat de l'art de l'analyse vidéo et l'analyse du mouvement dans le sport.....	5
2.1.1 Des solutions manuelles de plus en plus pratiques pour l'analyse de la performance	5
2.1.2 Des technologies automatisés : la computer vision	6
2.1.4 La computer vision dans l'athlétisme.....	8
2.1.3 Markerless : Une solution non invasive et viable pour l'analyse du mouvement ?	9
2.2 L'athlétisme, un sport de performance	11
2.2.1 L'athlétisme, la quête perpétuelle des limites humaines	11
2.2.2 Le 110, 400 m haie et marche athlétique : Quels paramètres de performance.	11
<u>PROBLEMATIQUE, OBJECTIFS</u>	13
<u>LA MÉTHODOLOGIE.....</u>	14
3.1 Travaux réalisés	14
3.2 Proposition de méthodologie.....	18
<u>CONCLUSION ET MISE EN PERSPECTIVE</u>	20
<u>BIBLIOGRAPHIE.....</u>	21
<u>RESUME</u>	24

INTRODUCTION

“Le sport est un domaine compétitif, où il constitue un élément de mesure pour le développement d'un pays. C'est pourquoi l'analyse sportive est devenue l'une des principales contributions à l'amélioration du niveau de performance. L'analyse vidéo est devenue un outil crucial utilisé dans l'analyse du sport par les entraîneurs et l'analyse des performances.” (Rangasamy et al.2020)

Notre société se numérise de plus en plus grâce à l'utilisation d'un vaste éventail de solutions numériques qui génèrent un flux constant de données, souvent regroupées sous le terme de Big Data, parmi lesquelles l'analyse vidéo joue un rôle crucial. Aujourd'hui, l'analyse vidéo est utilisée dans de nombreux domaines sportifs. Elle est essentielle dans l'analyse tactique, particulièrement dans les sports collectifs pour développer des stratégies efficaces et évaluer les faiblesses de l'adversaire, dans la prévention des blessures, ainsi que dans l'optimisation de l'entraînement, l'analyse biomécanique, cinétique et dynamique.

L'analyse vidéo, qui consiste en l'extraction, l'interprétation et l'exploitation de données à partir de séquences filmées pour fournir des informations précises sur les performances et les mouvements des athlètes, a évolué avec les systèmes de captation. Initialement basées sur des méthodes photographiques et des observations subjectives et manuelles, ces techniques ont considérablement progressé pour inclure des systèmes sophistiqués utilisant des caméras haute vitesse et des marqueurs optiques. Les avancées sont telles que la vision par ordinateur et l'apprentissage automatique ont permis de développer des systèmes sans marqueur, offrant une analyse plus naturelle et précise des mouvements pendant l'entraînement ou la compétition, sans préparation longue ni interférence avec la performance des athlètes.

Le monde de l'athlétisme bénéficie aujourd'hui de l'essor de ces nouvelles approches, largement exploitées par les managers, entraîneurs et chercheurs. Elles représentent une solution viable à court et à long terme pour réaliser des progrès significatifs dans la quête de performance, tant pour les clubs que pour les athlètes.

En tant que discipline sportive, l'athlétisme occupe une place centrale dans l'histoire de la performance sportive, étant l'une des premières disciplines olympiques. Avec le temps, l'athlétisme s'est diversifié et structuré pour inclure une variété d'épreuves allant des courses de fond aux épreuves de sprint, des concours de saut et de lancer, et des épreuves combinées. Chaque discipline exige une

préparation spécifique, des techniques précises et une condition physique optimale, faisant de l'athlétisme un domaine d'étude scientifique et technique approfondi.

Une utilisation optimisée de l'analyse vidéo reste donc une option très convoitée sur laquelle il faut miser et investir. Elle représente aujourd'hui un espoir collectif de pérenniser les performances de toutes les différentes parties de l'écosystème de l'athlétisme.

Notre étude de cas se portera principalement sur le 110, le 400 mètres haies, disciplines qui se distinguent par la combinaison unique qu'elles exigent entre vitesse, agilité et technique, et qui font déjà le sujet de nombreuses études dans la performance.

La Fédération française d'athlétisme est encore aux prémices de l'analyse vidéo en compétition et, jusqu'à aujourd'hui se sert de Kinovea, un logiciel d'analyse vidéo assez simple, pour évaluer divers paramètres essentiels lors des compétitions. Cependant, des efforts récents ont été faits pour optimiser plusieurs tâches. Des capteurs sont désormais utilisés lors des compétitions pour les disciplines de lancers. Pour les courses, un nouvel outil d'analyse vidéo, Méta-vidéo, a été développé et est maintenant disponible pour toutes les fédérations sportives françaises. Cet outil permet de baliser tous les paramètres souhaités à partir des vidéos.

L'objectif de mon stage était, dans un premier temps, de me familiariser avec l'application Méta-vidéo, en comprenant son fonctionnement et ses limites. Ensuite, j'ai dû développer et adapter cette application pour répondre aux besoins de la cellule d'optimisation de la performance de la fédération ainsi que des entraîneurs, afin qu'ils puissent l'utiliser de manière fonctionnelle pour chaque discipline demandée. Enfin, j'ai travaillé à automatiser l'extraction des valeurs des paramètres souhaités, pour qu'ils soient rapidement utilisables. Une fois Méta-vidéo totalement adopté par la fédération, l'objectif serait de faire une étude de recherche sur ce même outil.

Dans la première partie, nous mettrons en lumière l'importance de l'analyse vidéo dans le sport. Nous fournirons un état de l'art, soulignant que l'analyse vidéo dans le sport est une quête technologique perpétuelle. Nous examinerons les divers acteurs impliqués dans la recherche et le développement de ces technologies, ainsi que leurs applications pratiques dans le domaine sportif. Dans la deuxième partie, nous explorerons l'athlétisme, en mettant l'accent sur les disciplines précédemment mentionnées, en tant que sport de performance visant constamment à dépasser les limites humaines. Nous analyserons les différents paramètres de performance et l'impact potentiel de l'analyse vidéo sur ces aspects. La troisième partie de notre étude détaillera la méthodologie employée, en justifiant les choix effectués pour mener cette recherche à bien, et en précisant les objectifs de mon stage. Enfin, nous conclurons en résumant les principaux points abordés, en soulignant les limites rencontrées et en proposant des pistes pour de futures recherches.

LA REVUE DE LITTÉRATURE

2.1 Du manuel à l'automatique : Etat de l'art de l'analyse vidéo et de l'analyse du mouvement dans le sport

2.1.1 Des solutions manuelles de plus en plus pratiques pour l'analyse de la performance

L'analyse vidéo dans le sport est un processus clé qui utilise des techniques avancées pour interpréter et extraire des informations cruciales à partir des enregistrements vidéo des événements sportifs. Selon H. Shih (2017), cette méthode permet d'examiner les structures de contenu dans différentes situations sportives, en identifiant les objets, événements et contextes pertinents pour les athlètes, coachs ou analystes. Cette approche est particulièrement utile pour comprendre les dynamiques des jeux, améliorer les performances des athlètes et fournir des informations stratégiques pour les entraîneurs et les analystes sportifs.

Les études montrent que l'homme obtient environ 80 % de ses informations grâce à son système visuel (Shaofeng Xu & Junmen Chen, 2022). Les technologies d'imagerie sont donc cruciales pour recueillir des informations précises sur les athlètes. Ainsi, l'analyse vidéo est devenue un outil essentiel dans le coaching sportif, passant de méthodes manuelles et laborieuses à des systèmes automatisés sophistiqués. Les avancées en vision par ordinateur et en apprentissage automatique ont permis cette évolution, rendant l'analyse des performances sportives plus rapide et précise. La miniaturisation des appareils et la disponibilité de la technologie ont popularisé l'usage des caméras vidéo pour analyser les mouvements sportifs (Wilson, 2008).

Les premières méthodes d'analyse reposaient sur des photographies séquentielles prises par Eadweard Muybridge en 1878, cherchant à prouver que tous les pieds d'un cheval quittent le sol en même temps lors du trot. Cette innovation a marqué le début de l'utilisation des caméras pour l'analyse du mouvement humain (Basilio, 2016).

Au fil du temps, les caméras ont évolué et ont été miniaturisées pour capturer des images à des vitesses plus élevées, permettant une meilleure analyse des mouvements rapides. Diverses techniques d'observation manuelles en direct et post-événement ont été mises en place. L'annotation manuelle des images, utilisée pendant des décennies pour identifier les paramètres d'intérêt dans les séquences

vidéo et reconstruire les coordonnées spatiales des mouvements, est fondamentale mais longue et sujette à des erreurs dues à la subjectivité des observateurs et aux conditions de capture (Colyer et al., 2018). On parle ici d'analyse qualitative, qui contrairement à l'analyse quantitative est basée sur l'observation subjective, permettant de revoir des mouvements rapides ou complexes, par exemple en utilisant le ralenti ou la vue en arrêt sur image. (Basilio, 2016)

Les entraîneurs et les analystes doivent examiner les séquences vidéo image par image, une tâche chronophage avec des limitations significatives en termes de précision et de reproductibilité. Ces méthodes manuelles limitaient souvent les études à un petit nombre de joueurs ou à des problèmes spécifiques (Button et Barris, 2008). Cependant, des logiciels pratiques et économiques comme Kinovea offrent des valeurs similaires à celles de logiciels plus avancés comme CORTEX pour les données de performance et biomécaniques, bien que ces derniers ne soient pas toujours pratiques pour les analyses sportives (Nor Muaza Nor Adnan et al., 2018).

Pendant ce temps, la capture de mouvement a évolué, bien qu'elle soit un peu distincte de l'analyse vidéo. L'avènement des systèmes optoélectroniques, des IMU et des systèmes EMG ont marqué une avancée significative dans l'analyse des mouvements sportifs. Ces systèmes, reposant sur des marqueurs attachés aux athlètes, permettent de capturer les mouvements en 3D avec une grande précision. Cependant, ces systèmes à base de marqueurs présentent des défis tels que les déplacements des tissus mous introduisant des erreurs et les conditions de capture en extérieur pouvant affecter la qualité des données (Steffi L. Colyer, 2018). De plus, le placement des marqueurs peut varier selon les examinateurs, entraînant une variabilité inter-examinateur, et ces captures doivent être faites dans des environnements spécifiques, non en compétition.

2.1.2 Des technologies automatisées : la computer vision

Le sport implique des mouvements rapides et précis, difficiles à maîtriser pour les athlètes et à analyser pour les entraîneurs. La surveillance par capteurs ou dispositifs fixés aux joueurs n'est généralement pas possible, ce qui ouvre la voie aux techniques de vision par ordinateur, une forme d'intelligence artificielle (IA) (Graham Thomas et al., 2017). La "computer vision" permet aux ordinateurs de comprendre et d'interpréter le contenu visuel des images et des vidéos, automatisant ainsi les tâches manuelles. Elle joue un rôle clé dans l'analyse des performances des athlètes, l'aide à l'arbitrage et l'amélioration des techniques d'entraînement, par exemple, tout cela grâce à des algorithmes de deep learning et de traitement d'images.

Les techniques de vision par ordinateur sont explorées dans de nombreuses revues incluant celles de Wang & Parameswaran(2004), Shih (2018) . Wang et Parameswaran expliquent que le traitement de l'image joue un rôle crucial dans de nombreux domaines sportifs. Des algorithmes classent les vidéos selon les schémas de jeu pour créer des tactiques gagnantes. Le suivi des objets occupe une place centrale dans les études scientifiques car il pose de nombreux défis de par l'apparence similaire de sujets, les occlusions complexes, un fond, des mouvements imprévisibles, un mouvement de caméra instable, des problèmes avec l'étalonnage de bas champs texturés, une résolution de pixels inférieure des joueurs qui sont distants et plus petits dans le cadre, et le flou de mouvement (Naik & al,2022). Réalisé grâce à la détection de clusters de couleur (Xu & al.2003), de trajectoires de balles (Hua-Tsung Chen & al. 2009) avec une précision supérieure à 96% dans le football (Yu et al. 2003)(figure 1), et à l'estimation multi-caméra utilisée par exemple dans l'arbitrage avec le Hawk-Eye qui permet de prédire la trajectoire exacte de la balle avec un système complexe de caméra (Jenny & al, 2004), le suivi est un des sujets principaux de la vision par ordinateur. Des systèmes tels que TRAKUSTM, SoccerMan, *TRAK PERFORMANCE*, Pfinder et Prozone fournissent tous des informations de retour extrinsèques aux entraîneurs et aux athlètes. Toutefois, les systèmes de suivi commerciaux nécessitent encore une importante intervention de l'opérateur pour traiter les données après la saisie et sont souvent limités par les environnements de capture restreints qui peuvent être utilisés et par la nécessité pour les individus de porter des dispositifs de suivi. Bien que certains systèmes de suivi en ligne réduisent les exigences du suivi manuel, nous ne disposons pas encore, à notre connaissance, d'un système entièrement automatisé adapté aux performances sportives. (Chris & barris, 2008).

Event	Precision	Recall	# events
Touching	95.6%	81.5%	27
Passing	100%	77.8%	18
Goal	100%	100%	5
just-missing	81.2%	100%	16

Figure 1 : Taux de précision pour différents types d'événements dans le suivi de balle
basé sur les trajectoires

L'extraction d'objets ou de phases précises, comme la detection des temps forts par des systèmes audio, est spécialement traitée dans des sports avec beaucoup de temps faibles (Rui & al,2000) et ce sont aussi des sujets très traités dans la vision par ordinateur.

Shih (2018) met l'accent sur l'analyse du contenu à l'aide de systèmes hiérarchiques et de modèles de détection d'événements et de reconnaissance d'actions. Shih propose un modèle pyramidal divisé en

couches vidéo, objets, actions et événements, chaque couche représentant différents niveaux de connaissance sémantique (figure 2). Dans le domaine du sport, la méthode par pyramides permet de structurer l'analyse de vidéos de matchs en capturant les informations importantes à différents niveaux de détail, facilitant ainsi la détection des événements clés et la génération de résumés automatiques. Les méthodes incluent l'extraction et le suivi des objets à l'aide de réseaux bayésiens dynamiques et de modèles de structure picturale 3D, ainsi que la reconnaissance d'actions avec des techniques d'apprentissage profond, notamment le suivi par réseaux de neurones convolutifs. Dans leur revue sur l'analyse vidéo sportive basée sur l'apprentissage profond, Rangasamy et al. (2020), soulignent que ces dernières, basés sur les réseaux de neurones convolutifs (CNN), conçus pour traiter les données sous forme de grille, comme les images, les réseaux de neurones récurrents (RNN), utilisés pour traiter des données séquentielles en capturant les relations temporelles entre les éléments de la séquence, et les réseaux de mémoire à long terme (LSTM) permettent une analyse plus précise et exhaustive des performances sportives grâce à la classification automatique des actions directement à partir des images ou de séquences vidéo.

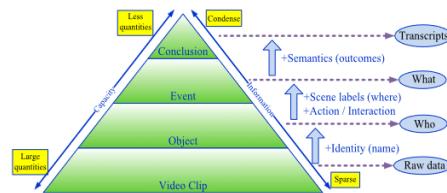


Figure 2 : Pyramide de contenu : un modèle de contenu hiérarchique

Les techniques de vision par ordinateur, bien qu'encore imparfaites et pas entièrement automatiques, bénéficient d'une recherche intensive et en constante évolution. Elles permettent d'automatiser de nombreuses tâches, réduisant ainsi les erreurs humaines et accélérant considérablement l'analyse vidéo. Cette avancée est cruciale pour l'analyse des performances sportives. Les chercheurs s'efforcent continuellement d'améliorer les modèles de deep learning pour l'analyse vidéo sportive, en se concentrant sur l'extraction d'informations sémantiques de haut niveau et leur application à divers sports.

2.1.4 La computer vision dans l'athlétisme

L'analyse de la performance et l'analyse vidéo en athlétisme sont un sujet central de la recherche. Néanmoins, la vision par ordinateur est un sujet relativement discret dans le domaine de l'athlétisme, avec peu de recherches s'y intéressant. Comme le démontre l'étude de Naik et al. (2022) (Figure 3), l'athlétisme n'est pas parmi les sports les plus étudiés en matière de vision par ordinateur.

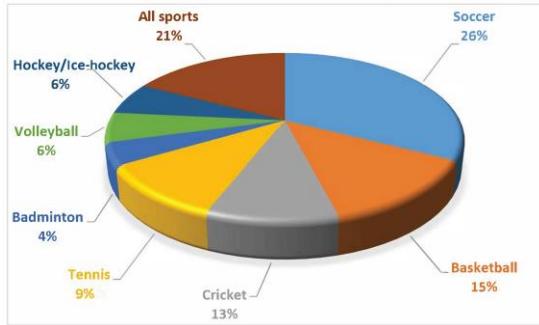


Figure 3 : Progrès de la recherche dans la computer vision

Cependant, certaines études (Smith & Nicole) se penchent sur le suivi et la prédiction des mouvements, comme dans le cas du lancer de poids, afin de développer des systèmes informatiques capables de prédire les trajectoires, à l'image du Hawk-Eye. Toutefois, ces systèmes restent encore très imparfaits. Ils présentent une erreur moyenne de 82 % après élimination des valeurs aberrantes, un temps de détection moyen de 2,9 ms par image, et une durée totale moyenne de 4,5 minutes à partir du moment où le poids quitte la main du lanceur.

Il existe d'autres études (Hanley et al.2017) montrant que les méthodes par ordinateur pour déterminer les angles lors de la marche athlétique sont encore moins puissantes que les systèmes de capture de mouvements et qu'ils ont toujours besoin d'une numérisation manuelle pour être plus précis.

2.1.3 Markerless : une solution non-invasive et viable pour l'analyse du mouvement ?

L'étude de Steffi L. Colyer (2018) suggère qu'une avancée future prometteuse dans l'analyse du mouvement se dirige vers une approche entièrement automatique, non invasive et sans marqueurs. Cette évolution permettrait une percée majeure dans la recherche et la pratique en biomécanique sportive et en réadaptation, facilitant l'analyse des mouvements dans des environnements d'entraînement et de compétition normaux, sans les longs temps de préparation des sujets associés aux systèmes à base de marqueurs ou aux traitements laborieux des méthodes manuelles.

En outre, ces techniques pourraient offrir une solution potentielle à un dilemme courant des biomécaniciens : le compromis entre la précision des analyses en laboratoire et la validité externe des analyses sur le terrain. Actuellement, les méthodes sans marqueurs ne sont pas encore largement adoptées en biomécanique, et seules quelques entreprises proposent des systèmes commerciaux dans ce domaine.

Malgré les progrès significatifs, plusieurs défis subsistent pour les systèmes sans marqueurs. La précision et la robustesse de ces systèmes doivent encore être améliorées pour une utilisation de routine dans les environnements d'entraînement et de réhabilitation. La collaboration entre experts en vision par ordinateur et biomécaniciens est essentielle pour répondre aux exigences de précision et de praticité des analyses de mouvement.

L'étude de Van Hooren (2023) explore la précision de la capture de mouvement sans marqueurs combinée à des techniques de vision par ordinateur pour mesurer la cinématique de course. Les résultats montrent que le logiciel OpenPose présente des différences comparables ou moindres par rapport aux méthodes d'analyse cinématique basées sur des marqueurs, tandis que le logiciel DeepLabCut montre des différences plus grandes. La capture de mouvement sans marqueurs, notamment avec OpenPose, pourrait être une méthode viable pour faciliter des études à grande échelle et des mesures sur le terrain, malgré des erreurs plus importantes pour certaines analyses individuelles. Des améliorations techniques, comme une fréquence d'échantillonnage plus élevée des caméras et l'utilisation de plusieurs caméras, pourraient améliorer la précision des méthodes sans marqueurs.

Les méthodes d'analyse de mouvement basées sur la vision par ordinateur dans les applications sportives et de réadaptation ont considérablement évolué récemment, permettant à la recherche biomécanique de fournir des informations significatives à ces domaines. Cependant, les techniques de capture de données cinématiques les plus répandues, comme les technologies basées sur les marqueurs et la numérisation manuelle, présentent des inconvénients. Les développements en vision par ordinateur ont suscité un intérêt croissant pour l'analyse du mouvement sans marqueurs et ses applications possibles. Bien que prometteuse, la précision exacte de ces systèmes et leur efficacité dans des environnements de terrain restent à déterminer.

Les recherches futures devraient se concentrer sur le développement de systèmes hybrides combinant des méthodes discriminatives et des modèles cinématiques pour une précision accrue. De plus, l'intégration de technologies d'apprentissage automatique pourrait permettre des avancées significatives dans l'analyse automatisée des performances sportives.

En conclusion, l'analyse vidéo des actions des athlètes est devenue un outil essentiel pour l'entraînement sportif. Elle présente l'avantage de ne pas nécessiter d'intervention directe sur les athlètes et permet de tirer parti des nombreuses données archivées disponibles (Li et al., 2007). L'étude de P. Bertram souligne que pour être efficace, l'analyse vidéo doit être réalisée par des professionnels qualifiés, faute de quoi elle peut entraver le processus d'entraînement. L'étude de Napolitano montre que l'utilisation régulière de l'analyse vidéo, qu'elle soit automatisée ou non, lors

de chaque entraînement, peut augmenter le score des gymnastes de 0,30 à 0,40 points, ce qui constitue une avancée significative. Ainsi, l'analyse vidéo reste au cœur des recherches et continue de se perfectionner, devenant chaque jour de plus en plus automatisée.

2.2 L'athlétisme, un sport de performance

2.2.1 L'athlétisme, la quête perpétuelle des limites humaines

La performance dans le sport est un terme complexe à définir. C'est un concept multidimensionnel qui inclut des éléments physiques, mentaux, sociaux et contextuels, et se réfère au résultat ou au rendement lors d'une compétition. Des études montrent qu'elle est influencée par diverses situations, telles que jouer à l'extérieur ou à domicile, ou arriver en tant que favori (Lago-Peñas, 2012). Elle est également affectée par le stress et la condition mentale (Abdelkader, 2016), et peut être améliorée par des compétences techniques et biomécaniques en constante progression. La performance est au cœur des recherches dans de nombreux domaines, mais particulièrement dans le sport, où l'humain cherche sans cesse à progresser pour se dépasser et atteindre les limites de ses capacités.

L'athlétisme, un sport olympique depuis ses débuts, englobe un vaste éventail de disciplines qui capturent tous les aspects de la performance humaine. Il est au cœur des recherches visant à repousser les limites humaines. Des revues scientifiques explorent l'optimisation de l'alimentation et des compléments alimentaires pour améliorer les fonctions et les performances athlétiques (Peeling et al., 2018). D'autres sujets sont également étudiés comme la détermination de l'âge optimal pour des performances maximales concluant que l'âge optimal est entre 23 et 28 ans (Hollings et al., 2014), l'exploration des facteurs biomécaniques optimaux (Bezodis et al., 2019), et à la prévention des blessures (Meron & Saint-Phard, 2017). L'athlétisme demeure donc un domaine crucial dans les recherches sur la performance, visant à repousser, voire dépasser, les frontières humaines... comme l'explique Marcellini, Anne, et al. Avec son ouvrage, « La chose la plus rapide sans jambes. Oscar Pistorius ou la mise en spectacle des frontières de l'humain »

2.2.2 Le 110, 400 m haie et marche athlétique : Quels paramètres de performances ?

Le 110 mètres haies est une discipline où la performance dépend principalement de l'athlète lui-même. Chaque coureur fait face aux mêmes contraintes et variables extérieures, transformant la course en un véritable combat contre soi-même où il faut surpasser ses adversaires en étant plus performant. La clé du succès réside dans l'amélioration continue des compétences techniques, cinématiques et biomécaniques. De nombreuses études ont déjà exploré l'ensemble des facteurs nécessaires pour exceller dans le 110 mètres haies ainsi que dans le 400 mètres haies, fournissant des bases solides pour optimiser la performance.

Plusieurs études se sont penchées sur le franchissement des haies pour améliorer la performance des athlètes en 110 mètres haies. L'étude de Iwasaki et al. (2022b) a révélé que la hauteur du centre de masse joue un rôle crucial dans le toucher des haies. En effet, un centre de masse plus bas augmente la probabilité de toucher les haies. Pour optimiser la performance, Nagahara et al. (2021) recommandent de minimiser le temps de freinage, d'augmenter l'impulsion propulsive et de réduire le temps de propulsion.

Les recherches de Papadopoulos (1994) et de Mansour et al. (2024) offrent des analyses détaillées des phases de décollage et d'atterrissement, mettant en avant l'importance des modèles biomécaniques pour identifier et entraîner les caractéristiques techniques essentielles au franchissement des haies. Ces modèles permettent d'améliorer la performance des athlètes en se concentrant sur les paramètres clés des impulsions et des réceptions.

Par ailleurs, les études de Chin-Shan (2019) et de Lorian & Popa (2018) utilisent des outils avancés comme MATLAB pour analyser l'évolution des paramètres cinématiques et des vitesses tout au long de la course. Ces recherches montrent que les coureurs accélèrent constamment jusqu'à la cinquième haie, après quoi leur vitesse tend à stagner, voire à régresser. Des études utilisant un modèle statistique (Iwasaki et al, 2022a) ont même permis de prédire les temps de "touchdown" après chaque haie en fonction du résultat final.

Enfin, les recherches de Spiegel & Mureika (2003) montrent comment les performances peuvent varier en fonction de différentes variables extérieures, offrant des perspectives pour ajuster les programmes d'entraînement en fonction des conditions spécifiques. Pour 2 m.s de vent dans la direction de la performance, la performance augmente de 0.19 secondes. Chaque 625 m d'altitudes, la performance augmente de 0.03 secondes. Ces études combinées apportent une compréhension approfondie des facteurs influençant la performance dans le 110 mètres haies et proposent des stratégies pour aider les athlètes à atteindre leur plein potentiel.

Pour la marche athlétique, les paramètres principaux règnent dans le temps de contact et le temps de vol, il faut avoir un temps de vol optimal sans dépasser la limite et une cadence élevée et minimiser le temps de contact comme le montre l'étude de Hanley & al (2011).

Problématique, objectif(s)

L'analyse de la performance sportive, et plus spécifiquement l'analyse vidéo et du mouvement, a connu une évolution spectaculaire, passant de méthodes manuelles laborieuses à des systèmes automatisés sophistiqués. Ces nouvelles technologies, qu'elles soient utilisées pour l'arbitrage, le coaching ou la recherche, offrent une précision accrue et un gain de temps considérable, des éléments essentiels pour améliorer les performances sportives. Dans un contexte où l'analyse de données est centrale pour optimiser les résultats, il est crucial que les fédérations sportives adoptent progressivement ces innovations pour rester compétitives et maximiser le potentiel des athlètes.

Actuellement, dans les fédérations françaises, et notamment dans le domaine de l'athlétisme, il est important de comprendre que l'utilisation de l'analyse vidéo pour évaluer les performances en compétition en est encore qu'à ses débuts et est appelée à se développer progressivement. La fédération en est encore à la numérisation manuelle pour les compétitions et malgré le développement de l'IA pour l'analyse des vidéos de saut en longueur, ces efforts en sont encore à leurs premices et les algorithmes actuels ne sont pas encore suffisamment fiables.

Récemment, un nouvel outil d'analyse vidéo, Méta-vidéo, a été développé et mis à disposition des fédérations qui souhaitent en bénéficier. C'est le cas de la Fédération Française d'athlétisme qui souhaite privilégier cet outil par rapport à l'utilisation de Kinovéa. Cet outil permet de baliser les paramètres souhaités pour chaque discipline, optimisant ainsi certaines tâches auparavant chronophages. Méta-vidéo, constitue un sujet d'étude particulièrement intéressant pour notre projet car il n'a encore fait l'objet d'aucune recherche.

Il convient alors de se poser les questions suivantes : "Les outils technologiques comme Méta-vidéo permettent-ils d'améliorer les performances cinématiques des athlètes de haut niveau en course de haies et en marche athlétique ? L'implémentation de cet outil peut-elle optimiser l'analyse des performances pour les athlètes ?"

Il s'agit d'examiner l'état actuel de l'analyse vidéo dans l'athlétisme français, de développer l'application Méta-vidéo pour automatiser certaines tâches en réponse aux besoins des entraîneurs, puis de faciliter l'extraction automatique des données afin qu'elles puissent être directement analysées par les analystes après, voire pendant la course. Cette étude vise également par la suite à évaluer l'efficacité de l'outil Méta-vidéo sur les performances athlétiques dans des recherches futures, ainsi qu'à explorer d'autres projets, comme la détermination du temps de vol optimal pour une course parfaite.

Méthodologie

Avant de pouvoir réaliser des recherches sur l'outil Méta-vidéo, il était nécessaire de pouvoir le mettre en place au sein de la Fédération Française d'Athlétisme, ce qui a constitué le sujet de mon stage. Je n'ai pas mené directement un projet de recherche direct lors de ce stage, car il s'agit d'un stage de terrain où j'ai eu l'opportunité de développer un outil d'analyse vidéo pour la cellule performance de la fédération d'athlétisme. À ce stade, il m'est impossible d'évaluer concrètement l'impact de mon travail. Cependant, cet outil sera utilisé par la capsule performance et pourrait servir de base à des études pour de futures recherches. C'est pourquoi j'ai rédigé une section pour expliquer brièvement les activités menées durant ce stage, avant de proposer une méthodologie que j'ai mis en place grâce à la revue scientifique pour un futur projet de recherche sur l'outil Méta-vidéo.

Travaux Réalisés au Cours du Stage

Lorsque je suis arrivé à la fédération, j'ai dû évaluer l'état de l'analyse vidéo dans l'athlétisme, en particulier dans les disciplines de haies. J'ai pris en main le logiciel Kinovéa, en travaillant avec des vidéos de courses de haies et en observant les paramètres d'intérêt cinématiques préalablement établis et voulu par les entraîneurs.

J'ai constaté les limites de la numérisation manuelle : noter manuellement chaque valeur en procédant image par image demande beaucoup de temps. J'ai également relevé les problèmes spécifiques à l'analyse vidéo des haies. Par exemple, si la qualité vidéo est insuffisante ou si le nombre d'images par seconde est trop faible, le flash du pistolet de départ peut ne pas être visible, ce qui complique le chronométrage des valeurs. De plus, certaines vidéos ne permettent pas d'observer tous les paramètres d'intérêt pour tous les athlètes (figure 4). (Ici il est impossible de déterminer le temps à l'impulsion de la haie pour le coureur du dernier couloir.)



Figure 4

C'est pourquoi, lors des compétitions, plusieurs caméras avec différents points de vue sont mises en place. Il est essentiel de synchroniser ces caméras sur un même point de référence pour assurer un chronométrage précis.

Développement et adaptation de Méta-vidéo

Ensuite, j'ai pris en main Méta-vidéo avec les mêmes vidéos pour en comprendre le fonctionnement, son interface étant assez complexe à maîtriser. J'ai commencé à réfléchir aux les paramètres de l'application sur lesquels je pouvais agir pour optimiser l'analyse vidéo dans la course de haies, de sprint et la marche athlétique.

J'ai ensuite eu une réunion avec Bertrand Valcin, entraîneur national d'athlétisme et ancien entraîneur de Kevin Mayer, et Yohann Morillo, l'un des développeurs de l'application. Lors de cette réunion, nous avons discuté des différentes demandes spécifiques aux disciplines d'athlétisme et des fonctionnalités qu'ils souhaitaient voir sur l'application. Bertrand Valcin a notamment exprimé le besoin d'analyser la vidéo en direct pour la marche athlétique afin de pouvoir fournir un retour immédiat aux athlètes pendant leur performance.

Méta-vidéo est donc un outil d'analyse vidéo et de tagging, exclusivement disponible pour les fédérations. Chaque fédération dispose de son propre compte pour ajuster les différents paramètres spécifiques à chaque sport ou discipline. Cet outil permet de modifier, ajouter et supprimer chaque paramètre selon les besoins.

Pour créer une session d'analyse vidéo, deux phases sont nécessaires :

1. Phase de Préparation de la Session

Cette phase permet de configurer tous les détails nécessaires avant l'analyse vidéo et le tagging pendant la course. J'ai donc créé une série de paramètres, tels que le nom et le lieu de l'événement, la vitesse du vent, et l'association de chaque athlète à un couloir et à un résultat final.

À noter que le nom des athlètes, le lieu et le nom de l'événement doivent être préalablement entrés manuellement dans la base de données de l'application. J'ai donc saisi un grand nombre d'athlètes pour que l'entraîneur n'ait pas à les ajouter individuellement, rendant ainsi le processus plus simple pour lui. Il en va de même pour les lieux et les événements. Dans la case "Discipline", il faut choisir la discipline concernée, ce qui ajustera la phase de tagging de la vidéo en conséquence. Enfin, dans la section "Vidéo", il est possible d'ajouter soit une URL, soit un fichier local. (Figure 5).

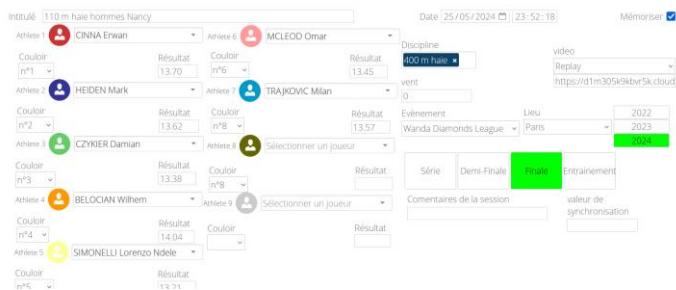


Figure 5 préparation de la session

2. Phase de tagging

C'est ici que l'ensemble des paramètres d'intérêt sera taggé lors de l'analyse vidéo. Le tag "départ" permettra, après traitement, de marquer le point de départ à 00"00. À ce stade, j'ai réfléchi à la meilleure manière de disposer les différents paramètres pour que chaque tag soit associé à un athlète et à une haie.

J'ai donc développé les panneaux de tagging pour le 110 m haies, le 60 m haies et le 400 m haies, en intégrant les différents paramètres spécifiques à chacun, tels que demandés par les entraîneurs. Ces paramètres permettent de capturer précisément les informations essentielles pour chaque discipline et d'associer correctement chaque tag aux performances des athlètes.

- 110 et 60 m haies : temps à l'impulsion et à la réception de chaque haie, haies touchées (desquels découlent le temps de vol, le temps de course et l'intervalle entre chaque haies).

- 400 m haie : temps à la réception de chaque haie, jambe d'attaque à chaque haies, nombres de foulées entre chaque haie
- Marche athlétique : en cours de développement en essayant le tagging en direct. Utilisation d'un flux vidéo en live, calcul automatique des paramètres d'intérêt. Possibilité de revenir en arrière sur le flux live si un tag a été oublié.

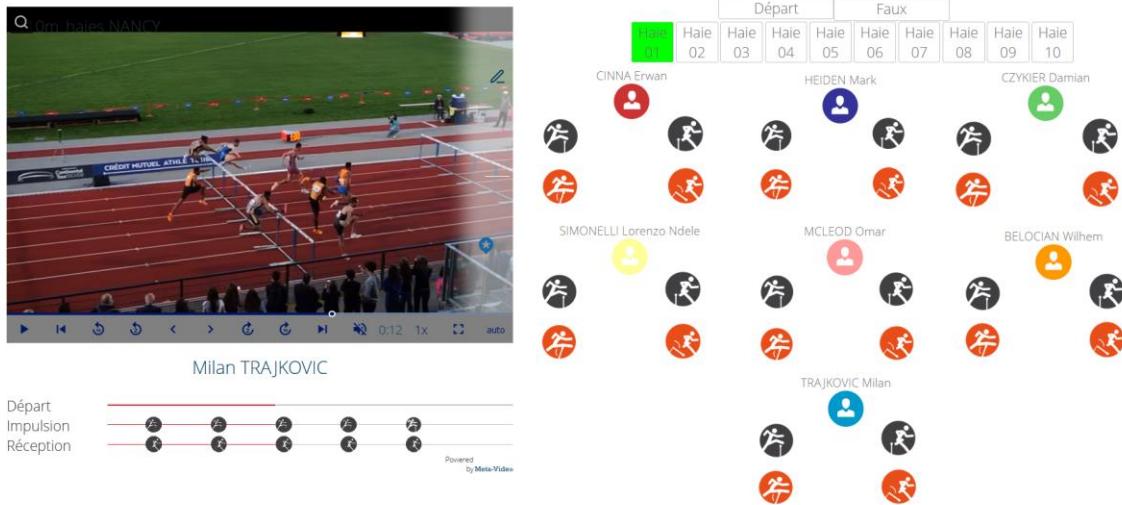


Figure 6 Phase de tagging

TIMECODE	PANNEAU	TYPE	JOUEUR	VIDEO	DÉPART	FAUX DÉPART	IMPULSION	RÉCEPTION	TOUCHÉ	FAUTE	HAIES
00:00:11	110 m haie	Impulsion	HEIDEN Mark						Impulsion		Haie 08
00:00:11	110 m haie	Réception	SIMONELLI Lorenzo Ndele						Réception		Haie 08
00:00:11	110 m haie	Impulsion	CINNA Erwan						Impulsion		Haie 08
00:00:11	110 m haie	Réception	CZYKIER Damian						Réception		Haie 08
00:00:12	110 m haie	Réception	TRAJKOVIC Milan						Réception		Haie 08

Figure 7 Phase de tagging

Automatisme de l'extraction de données :

Une fois la session de tagging terminée, il est nécessaire d'extraire les données, mais celles-ci se présentent sous la forme de plusieurs classeurs Excel quand elles sont extraites directement de l'application. Il y a un fichier pour la session de tagging où les données taggées sont associées à des timecodes plutôt qu'à des valeurs en secondes ou millisecondes, et ces timecodes ne sont pas dépendants du début de la session. De plus, les tags d'impulsion et de réception sont simplement notés par un "1" ou un "null" s'il n'y a pas de tags. Toutes les autres données non numériques sont stockées

dans différents fichiers Excel et sont associées à un identifiant qui correspond à leur place dans la base de données.

C'est pourquoi il a été nécessaire de créer un code en R permettant de formater un fichier Excel clair avec plusieurs feuilles, ne contenant que les données nécessaires pour l'entraîneur et l'analyste (voir Figure 8). (Ce classeur contient plusieurs autres feuilles pour le temps de vol, le temps de course et les intervalles). Cette phase permet donc d'automatiser l'extraction des données auparavant manuelle et permet aux entraîneurs de visualiser directement les données après la course.

Figure 8 Classeur final

Ces données sont directement redirigées vers l'application Shiny de la fédération, disponible pour toute la cellule performance. Cette application présente toutes les données de chaque joueur, leurs progrès, leurs meilleures performances, leurs performances maximales dans chaque paramètre de la discipline, ainsi que les points nécessaires pour se qualifier aux Jeux Olympiques.

La visualisation comprend des sections permettant de simuler le classement d'un joueur lors d'une course en entrant un certain temps. Cela aide les joueurs à se projeter pour de futures échéances et à comprendre leurs performances par rapport aux exigences compétitives. C'est donc à partir de ces données que de futures recherches peuvent voir le jour.

Proposition de méthodologie

Une fois l'outil développé et mis en place dans la fédération d'athlétisme, notamment dans les sections de 60 m, 110 m et 400 m haies, des recherches répondant aux problématiques précédentes peuvent voir le jour. Pour répondre aux questions de recherche posées, nous adopterons une approche expérimentale avec des groupes contrôlés, permettant une évaluation rigoureuse de l'impact des outils d'analyse vidéo, tel que Méta-vidéo, sur les performances des athlètes et l'efficacité de l'analyse des vidéos entre différents outils. C'est pourquoi, pour cette recherche, deux études expérimentales seront menées pour évaluer l'impact de Méta-vidéo. Ces études, basées sur des groupes contrôlés, visent à répondre à deux problématiques distinctes : l'application de terrain et l'usage métier.

Objectifs, échantillon, KPIs

L'objectif de la première étude est de comparer les performances des athlètes avec et sans l'utilisation de l'outil Métavidéo. Cette étude inclura 40 athlètes français évoluant dans les disciplines du 60 m, 110 m et 400 m haies, répartis en deux groupes de 20. Le groupe A, le groupe contrôle, comprendra des athlètes n'utilisant pas d'analyse vidéo, tandis que le groupe B utilisera l'outil Métavidéo. Les indicateurs de performance (KPIs) pour cette étude incluront le résultat moyen des courses, les temps de "take-off" et "touchdown" à chaque haie, les temps de vol, les temps de course et les temps d'intervalles entre les haies.

La deuxième étude se concentrera sur l'usage métier, en comparant le temps passé sur l'outil d'analyse vidéo entre Kinovea, l'ancien outil, et Métavidéo, le nouvel outil. L'échantillon de cette étude comprendra 20 entraîneurs/analystes, répartis en deux groupes de 10. Le groupe A, le groupe contrôle, utilisera Kinovea, tandis que le groupe B utilisera Métavidéo. L'indicateur de performance pour cette étude sera le temps moyen passé sur les logiciels d'analyse vidéo, et une étude qualitative à partir d'un questionnaire.

Les deux études se dérouleront sur une période de six mois afin d'observer des changements significatifs. Les performances des athlètes seront mesurées avant le début de l'étude, puis observés pendant et après l'intervention. Le temps d'utilisation de l'outil d'analyse vidéo sera chronométré et observé à la fin de l'étude.

Analyses

Pour chaque étude, nous commencerons par un test de Levene afin de vérifier l'homogénéité des variances entre les groupes. Si les variances sont similaires, un t-test de Student sera utilisé pour déterminer s'il existe des différences significatives entre les groupes. Si les variances sont inégales, le test de Welch, une variante du t-test, sera utilisé pour comparer les groupes.

En complément des analyses quantitatives, une analyse qualitative sera réalisée pour chaque étude. Les réponses des enquêtes et des interviews seront analysées pour identifier les perceptions des utilisateurs concernant Kinovea et Métavidéo. Cette approche mixte permettra de fournir une évaluation complète et nuancée de l'impact des outils d'analyse vidéo sur les performances des athlètes et leur efficacité.

Conclusion

Ces deux études, combinant analyses quantitatives et qualitatives, offriront une vision globale et approfondie de l'impact de Métavidéo sur les performances des athlètes et sur l'efficacité des outils d'analyse vidéo. En tenant compte des perceptions des utilisateurs et des données de performance, nous pourrons mieux comprendre les avantages et les limites de chaque outil dans le cadre de l'entraînement et de l'analyse sportive.

Conclusion et Mise en perspective

Les résultats attendus de cette étude sont multiples. Nous prévoyons de démontrer que l'utilisation d'outils d'analyse vidéo, tel que Métavidéo, peut significativement améliorer les performances des athlètes en optimisant leur technique et en offrant un retour d'information précis et exploitable. En comparant les performances entre les athlètes n'utilisant pas d'analyse vidéo et ceux utilisant ces outils, nous espérons identifier des différences notables qui justifient l'intégration systématique de l'analyse vidéo dans les programmes d'entraînement de haut niveau.

Sur le plan scientifique, cette étude ouvre des perspectives intéressantes pour la recherche en sciences du sport et en technologies de l'information appliquées à l'entraînement sportif. Les données recueillies pourront alimenter de futures recherches sur l'efficacité des différentes technologies d'analyse vidéo et leur impact sur les performances athlétiques. Professionnellement, les résultats de cette étude pourront guider les entraîneurs et les fédérations dans la sélection des outils les plus appropriés pour améliorer les performances de leurs athlètes.

Pour les industriels et les développeurs de logiciels d'analyse vidéo, cette étude fournira des données précieuses sur les attentes et les besoins des utilisateurs finaux, ouvrant ainsi la voie à des améliorations et innovations technologiques. Les fédérations et centres d'évaluation pourront quant à eux bénéficier de recommandations basées sur des preuves pour optimiser leurs investissements en technologies de performance sportive.

La réalisation de cette étude présente une balance favorable entre les risques et les bénéfices pour toutes les entités impliquées :

- Pour les sportifs, l'usage d'outils d'analyse vidéo offre un potentiel d'amélioration significative de leurs performances sans les solliciter personnellement, cela ne leurs rajoutera pas ou très peu de temps d'entraînement.
- Pour les techniciens et entraîneurs, l'adoption de ces technologies facilite l'analyse technique, rendant le processus plus précis et moins chronophage.
- Pour le personnel médical, une meilleure analyse des performances et techniques des athlètes peut aider à prévenir les blessures en identifiant les mouvements à risque.

- Pour les chercheurs, cette étude offre une opportunité de collecter des données empiriques sur l'impact des technologies d'analyse vidéo dans le sport de haut niveau, contribuant à la littérature scientifique existante.

En termes de coûts, cette étude peut être réalisée de manière économique, utilisant principalement les ressources humaines et matérielles déjà disponibles dans les structures sportives. L'accessibilité des logiciels comme Kinovea et Métavidéo permet une mise en œuvre à faible coût tout en respectant des normes éthiques rigoureuses. Pour une recherche future, l'idée serait de recueillir l'ensemble des données recueillies dans le 100 m haie et de déterminer à la manière d'Iwasaki et al (2022a), les temps de vols et les temps de courses optimaux.

Références bibliographiques

Abd-el-Kader,B., Fatiha,B., Khalida,B.(2016). Why Mental Preparation is so important on directing of athletic performance. European Journal of Physical Education and Sport Science 141-150.

Barris S, Button C. A review of vision-based motion analysis in sport. Sports Med. 2008;38(12):1025-43. doi: 10.2165/00007256-200838120-00006. PMID: 19026019 Barris S, Button C. A review of vision-based motion analysis in sport. Sports Med. 2008;38(12):1025-43. doi: 10.2165/00007256-200838120-00006. PMID: 19026019

Bertram, C. P., Marteniuk, R. G., & Guadagnoli, M. A. (2007). On the Use and Misuse of Video Analysis. International Journal of Sports Science & Coaching, 2(1_suppl), 37-46.
<https://doi.org/10.1260/174795407789705406>

Bezdodis NE, Willwacher S, Salo AIT. The Biomechanics of the Track and Field Sprint Start: A Narrative Review. Sports Med. 2019 Sep;49(9):1345-1364. doi: 10.1007/s40279-019-01138-1. PMID: 31209732; PMCID: PMC6684547.

Chen,H., Tien,M-C., Chen,Y-W., Tsai,W-J., Lee,S-Y. Physics-based ball tracking and 3D trajectory reconstruction with applications to shooting location estimation in basketball video, Journal of Visual Communication and Image Representation, Volume 20, Issue 3,2009, Pages 204-216, ISSN 1047-3203.<https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2008.11.008>.

Chin-san, H., Chi-Yao, C., Kuo-Chan, L. The wearable devices application for evaluation of 110.Journal of Human Sport and Exercise. 2020, 15(1): 34-42. doi:10.14198/jhse.2020.151.04

Colyer, S.L., Evans, M., Cosker, D.P. et al. A Review of the Evolution of Vision-Based Motion Analysis and the Integration of Advanced Computer Vision Methods Towards Developing a Markerless System (Examen de l'évolution de l'analyse des mouvements fondés sur la vision et de

l'intégration de méthodes avancées de vision par ordinateur pour développer un système sans marqueurs Sports Med - Open 44, 24 (2018). <https://doi.org/10.1186/s40798-018-0139-y>

Hanley B, Bissas A, Drake A. Kinematic characteristics of elite men's and women's 20 km race walking and their variation during the race. *Sports Biomech.* 2011 Jun;10(2):110-24. doi: 10.1080/14763141.2011.569566. PMID: 21834395.

Hanley, B., Tucker, C. B., & Bissas, A. (2017). Differences between motion capture and video analysis systems in calculating knee angles in elite-standard race walking. *Journal of Sports Sciences*, 36(11), 1250–1255. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1372928>

Hollings, S. C., Hopkins, W. G., & Hume, P. A. (2014). Age at Peak Performance of Successful Track & Field Athletes. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 9(4), 651-661. <https://doi.org/10.1260/1747-9541.9.4.651>

Iwasaki R, Nunome H, Nozawa K. New predictive model of the touchdown times in a high level 110 m hurdles. *PLoS One.* 2022 Dec 2;17(12):e0278651. doi: 10.1371/journal.pone.0278651. PMID: 36459532; PMCID: PMC9718393.

Iwasaki R, Shinkai H, Nunome H, Ito N. Kinematic Factors Associated with Hitting Hurdles During the Initial Phase of a 110-m Hurdle Race. *J Hum Kinet.* 2022 Sep 8;83:5-12. doi: 10.2478/hukin-2022-0048. PMID: 36157946; PMCID: PMC9465757.

Jenny R. Wang, N. Parameswaran.(2004) Survey of Sports Video Analysis: Research Issues and Applications. Pan-Sydney Area Workshop on Visual Information Processing. Corpus ID: 32039469

Lago-Peñas C. The role of situational variables in analysing physical performance in soccer. *J Human Kinetic.* 2012 Dec;35:89-95. doi: 10.2478/v10078-012-0082-9. Epub 2012 Dec 30. PMID: 23487326; PMCID: PMC3588697.

Larion, A., Popa, C. SPEED DYNAMICS IN 60 M HURDLES EVENT. *Journal of Sport and Kinetic Movement*. Vol. II, No. 32/2018.

H. Li, S. Lin, Y. Zhang and K. Tao, "Automatic Video-based Analysis of Athlete Action," 14th International Conference on Image Analysis and Processing (ICIAP 2007), Modena, Italy, 2007, pp. 205-210, doi: 10.1109/ICIAP.2007.4362780.

Mansour, H., Ben Chaifa, M., Atta, I. I., Alhumaid, M. M., Said, M. A. (2024). Efficiency factors in 110-metre hurdle clearance techniques: kinematics among specialist hurdlers and decathletes. *Human Movement*, 25(1), 84-96. <https://doi.org/10.5114/hm.2024.136058>

MARCELLINI Anne, VIDAL Michel, FEREZ Sylvain et al., « La chose la plus rapide sans jambes ». Oscar Pistorius ou la mise en spectacle des frontières de l'humain », *Politix*, 2010/2 (n° 90), p. 139-165. DOI : 10.3917/pox.090.0139.

Meron A, Saint-Phard D. Track and Field Throwing Sports: Injuries and Prevention. *Curr Sports Med Rep.* 2017 Nov/Dec;16(6):391-396. doi: 10.1249/JSR.0000000000000416. PMID: 29135636.

Nagahara, R., Wakamiya, M., Shinohara, Y., Nagano, A.(2021) Ground reaction forces during sprint hurdles. *Journal of sports sciences*39(23):1-10. DOI:10.1080/02640414.2021.1954325

Naik, B.T.; Hashmi, M.F.; Bokde, N.D. A Comprehensive Review of Computer Vision in Sports: Open Issues, Future Trends and Research Directions. *Appl. Sci.* **2022**, *12*, 4429. <https://doi.org/10.3390/app12094429>

Napolitano,S. USING THE VIDEO ANALYSIS IN AEROBIC GYMNASTICS. JOURNAL OF SOCIAL SCIENCE RESEARCH 5(2):779-783. DOI:10.24297/jssr.v5i2.3383

Nor Adnan, N. M., Ab Patar, M. N. A., Lee, H., Yamamoto, S. I., Jong-Young, L., & Mahmud, J. (2018). Biomechanical analysis using Kinovea for sports application. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 342(1), Article 012097. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/342/1/012097>

Padadopoulos, C. THE APPLICATION OF THE BIOMECHANICS MODELS FOR THE CONTROL OF THE " IMPROVEMENT TARGETS" IN 1 10m MEN'S HURDLES. 12 International Symposium on Biomechanics in Sports (1994) .

Peeling P, Castell LM, Derave W, de Hon O, Burke LM. Sports Foods and Dietary Supplements for Optimal Function and Performance Enhancement in Track-and-Field Athletes. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2019 Mar 1;29(2):198-209. doi: 10.1123/ijsnem.2018-0271. Epub 2019 Feb 17. PMID: 30299192.

G. Pingali, A. Opalach and Y. Jean, "Ball tracking and virtual replays for innovative tennis broadcasts," Proceedings 15th International Conference on Pattern Recognition. ICPR-2000, Barcelona, Spain, 2000, pp. 152-156 vol.4, doi: 10.1109/ICPR.2000.902885.

Pueo, B. (2016). High speed cameras for motion analysis in sports science. Journal of Human Sport and Exercise, 11(1), 53–73. <https://doi.org/10.14198/jhse.2016.111.05>

Rangasamy, K., As'Ari, M., Rahmad, N., Ghazali, N., Saharudin, I.(2020). Deep learning in sport video analysis: a review. TELKOMNIKA Telecommunication, Computing, Electronics and Control, Vol. 18, No. 4, August 2020, pp. 1926~1933. DOI:10.12928/TELKOMNIKA.v18i4.14730

Rui, Y., Gupta, A., Acero, A. Automatically extracting highlights for TV Baseball programs Proceedings of the eighth ACM international conference on Multimedia. October 2000. Pages 105–115. <https://doi.org/10.1145/354384.354443>

H. -C. Shih, "A Survey of Content-Aware Video Analysis for Sports," in IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 28, no. 5, pp. 1212-1231, May 2018, doi: 10.1109/TCSVT.2017.2655624.

Smith, Nicole, A. Tracking and Measuring Objects in Obscure Image Scenarios Through the Lens of Shot Put in Track and Field. *University Libraries*. 560 Drillfield Drive Blacksburg, VA 24061 (540) 231-6170

Spiegel, J., Mureika, J. A Model of Wind and Altitude Effects on 110-m Hurdles. SPORTSCIENCE . sportsci.org/jour/03/jsjrm.htm.

Thomas, G., Gade, R., Moeslund, T., Carr, P. (2017)Computer vision for sports: Current applications and research topics. Computer Vision and Image Understanding p-159 . DOI:10.1016/j.cviu.2017.04.011

Van Hooren B, Pecasse N, Meijer K, Essers JMN. The accuracy of markerless motion capture combined with computer vision techniques for measuring running kinematics. Scand J Med Sci Sports. 2023 Jun;33(6):966-978. doi: 10.1111/sms.14319. Epub 2023 Feb 9. PMID: 36680411.

Wilson, B.(2008). Development in video technology for coaching. Sports Technology 1(1):34 - 40. DOI:10.1002/jst.9

Xu, R Y D; Allen, J & Jin, J S (2003). Robust real-time tracking of non-rigid objects, Conferences in Research and Practice in Information Technology, VIP'03, Sydney

Xu S, Chen J. Application of Multiprocessing Technology of Motion Video Image Based on Sensor Technology in Track and Field Sports. Comput Intell Neurosci. 2022 Feb 11;2022:4430742. doi: 10.1155/2022/4430742. PMID: 35186063; PMCID: PMC8856803.

Yu, X; Xu, C S; Leong, H W; Tian, Q; Tang, Q & Wan,K W (2003). Trajectory-based ball detection and tracking with applications to semantic analysis of broadcast soccer video, Proc. of ACM MM'03, Berkeley, pp.11-20DOI:10.1145/957013.957018

Zhang, Y., Zhang, M., Cui, Y. et al. Detection and tracking of human track and field motion targets based on deep learning. *Multimed Tools Appl* **79**, 9543–9563 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11042-019-08035-9>

Résumé

“Optimisation de l'analyse vidéo pour l'amélioration des performances en course de Haies : application et évaluation de l'outil métavidéo”

Bien que l'analyse vidéo soit très développée dans la recherche, elle en est encore à ses prémisses dans les fédérations sportives pour l'évaluation des performances en compétition. Cette étude se concentre sur l'évaluation de l'outil Méta-vidéo, développé dans ce cadre. Les questions posées sont : "Les outils technologiques comme Méta-vidéo permettent-ils d'améliorer les performances cinématiques des athlètes de haut niveau en course de haies et en marche athlétique ? L'implémentation de cet outil peut-elle optimiser l'analyse des performances pour les athlètes ?".

Trois groupes distincts seront comparés : un groupe sans analyse vidéo, un groupe utilisant l'ancien outil d'analyse vidéo "Kinovea", et un groupe utilisant Méta-vidéo. Une analyse qualitative et quantitative sera réalisée, incluant des tests statistiques comme l'ANOVA et le t-test, pour évaluer les performances et le temps d'analyse vidéo.

Cette recherche peut ouvrir la voie à d'autres études et, si les résultats sont significatifs, contribuer à développer l'analyse vidéo dans les fédérations sportives et au-delà. Les résultats attendus pourraient démontrer que l'utilisation d'outils d'analyse vidéo, tels que Méta-vidéo, optimise l'évaluation des performances et améliore la préparation des athlètes.

Mots-clés : Athlétisme, Analyse vidéo, Performance sportive, Méta-vidéo, Technologie sportive.