

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
École Supérieure en Informatique (ESI)

Sidi Bel-Abbès



Mémoire de fin d'études
présenté en vue de l'obtention du diplôme de
Master en Informatique
Spécialité : Systèmes d'Information et Web (SIW)
Ingénierie des systèmes d'informations (ISI)

Conception d'un système de prédiction et de détection des blessures sportives à partir de vidéos d'entraînement

par estimation de pose humaine et apprentissage profond

Réalisé par :

KAHLERRAS Assil (SIW)
HALLOUCHE Abdessamed (ISI)

Encadré par :

Dr. KECHAR Mohamed

Membres du jury :

Dr. BEKKOUCHE Mohammed	Président
Dr. LOUHAB Zouaoui	Examineur
Dr. KECHAR Mohamed	Encadreur
Dr. KECHAR Mohamed	Représentant de l'incubateur
Dr. MILOUA Salah	Invité

Année universitaire 2025–2026

Résumé

Les blessures liées à la pratique sportive représentent un enjeu majeur de santé, de performance et de coût, aussi bien pour les athlètes de haut niveau que pour les pratiquants amateurs. Leur prévention repose traditionnellement sur l’expertise clinique, des tests fonctionnels et des systèmes de capture de mouvement coûteux, peu accessibles en dehors des laboratoires. L’essor récent de la vision par ordinateur et de l’estimation de pose humaine ouvre la voie à une analyse biomécanique *sans marqueur*, réalisable à partir d’une simple vidéo d’entraînement filmée avec un smartphone.

Ce mémoire propose une étude approfondie et un cadre conceptuel pour un système de prédiction et de détection des blessures sportives fondé sur l’analyse de vidéos fournies par l’athlète. Après avoir posé les fondements théoriques relatifs aux blessures sportives, à leurs facteurs de risque, à l’analyse biomécanique du mouvement et aux méthodes d’intelligence artificielle, nous dressons un état de l’art critique des approches existantes : capteurs inertiels, capture de mouvement, vision par ordinateur, apprentissage automatique et apprentissage profond. Nous comparons les principales méthodes d’estimation de pose (OpenPose, MediaPipe, AlphaPose) et les architectures temporelles (CNN, RNN, LSTM, Transformers, réseaux de neurones sur graphes).

À partir de cette synthèse, nous proposons une architecture conceptuelle end-to-end articulant l’acquisition vidéo, l’estimation de pose, l’extraction de caractéristiques biomécaniques (angles articulaires, asymétries, dynamique du mouvement), un modèle de prédiction et la génération d’un score de risque interprétable. Les limites techniques, méthodologiques et cliniques sont discutées, ainsi que les enjeux éthiques liés à la vie privée des athlètes et à l’explicabilité des modèles. Ce travail constitue une base méthodologique pour le développement d’outils de prévention accessibles, non invasifs et exploitables sur le terrain.

Mots-clés : blessures sportives, prévention, estimation de pose humaine, vision par ordinateur, biomécanique, apprentissage profond, analyse vidéo, score de risque, intelligence artificielle.

Abstract

Sport-related injuries are a major concern in terms of health, performance and cost, for elite athletes and recreational practitioners alike. Their prevention has traditionally relied on clinical expertise, functional testing and expensive motion-capture systems that are hardly accessible outside the laboratory. The recent progress of computer vision and human pose estimation paves the way for *markerless* biomechanical analysis, which can be carried out from a simple training video recorded with a smartphone.

This thesis provides an in-depth study and a conceptual framework for a system aimed at predicting and detecting sport injuries from videos supplied by the athlete. After establishing the theoretical foundations related to sport injuries, their risk factors, the biomechanical analysis of human movement and artificial-intelligence methods, we present a critical review of existing approaches: inertial sensors, motion capture, computer vision, machine learning and deep learning. We compare the main pose-estimation methods (OpenPose, MediaPipe, AlphaPose) and the temporal architectures (CNN, RNN, LSTM, Transformers, graph neural networks).

Building on this synthesis, we propose an end-to-end conceptual architecture that links video acquisition, pose estimation, biomechanical feature extraction (joint angles, asymmetries, movement dynamics), a prediction model and the generation of an interpretable risk score. Technical, methodological and clinical limitations are discussed, together with the ethical issues related to athletes' privacy and model explainability. This work offers a methodological basis for developing accessible, non-invasive and field-deployable prevention tools.

Keywords: sport injuries, prevention, human pose estimation, computer vision, biomechanics, deep learning, video analysis, risk score, artificial intelligence.

المخلص

تمثل الإصابات المرتبطة بممارسة الرياضة تحدياً كبيراً على مستوى الصحة والأداء والتكلفة، سواء بالنسبة للرياضيين المحترفين أو الممارسين الهواة. تعتمد الوقاية منها تقليدياً على الخبرة السريرية، والاختبارات الوظيفية، وأنظمة التقاط الحركة باهظة الثمن، والتي يصعب الوصول إليها خارج المختبرات. يفتح التطور الأخير في الرؤية الحاسوبية (Computer Vision) وتقدير الوضعية البشرية (Human Pose Estimation) الطريق أمام تحليل ميكانيكي حيوي (بيوميكانيكي) بدون علامات استشعار (Markerless)، والذي يمكن إجراؤه باستخدام مقطع فيديو تدريبي بسيط يتم تصويره بواسطة هاتف ذكي.

تقترح هذه المذكرة دراسة معمقة وإطاراً مفاهيمياً لنظام تنبؤ واكتشاف للإصابات الرياضية يعتمد على تحليل مقاطع الفيديو التي يقدمها الرياضي. بعد إرساء الأسس النظرية المتعلقة بالإصابات الرياضية وعوامل الخطر المرتبطة بها، والتحليل البيوميكانيكي للحركة وطرق الذكاء الاصطناعي، نقدم مراجعة نقدية (حالة الفن) للأساليب الحالية: أجهزة الاستشعار بالقصور الذاتي، النقاط الحركية، الرؤية الحاسوبية، التعلم الآلي، والتعلم العميق. كما نقارن بين الطرق الرئيسية لتقدير الوضعية (OpenPose، AlphaPose، MediaPipe) والبنى الزمنية (الشبكات العصبية التلافيفية CNN، الشبكات العصبية المتكررة RNN، الذاكرة قصيرة وطويلة المدى LSTM، المحولات Transformers، والشبكات العصبية البيانية Graph Neural Networks). بناءً على هذا التوليف، نقترح بنية مفاهيمية شاملة (End-to-End) تربط بين التقاط الفيديو، وتقدير الوضعية، واستخراج الخصائص البيوميكانيكية (زوايا المفاصل، عدم التماثل، ديناميكية الحركة)، ونموذج التنبؤ، وتوليد درجة خطر (Risk Score) قابلة للتفسير. كما نناقش القيود الفنية والمنهجية والسريرية، بالإضافة إلى التحديات الأخلاقية المتعلقة بخصوصية الرياضيين وقابلية تفسير النماذج. يمثل هذا العمل أساساً منهجياً لتطوير أدوات وقاية يسهل الوصول إليها، وغير تداخلية، وقابلة للاستخدام ميدانياً.

الكلمات المفتاحية: الإصابات الرياضية، الوقاية، تقدير الوضعية البشرية، الرؤية الحاسوبية، الميكانيكا الحيوية (البيوميكانيك)، التعلم العميق، تحليل الفيديو، درجة الخطر، الذكاء الاصطناعي.