

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE
N° :



DOMAINE : SCIENCE ET TECHNOLOGIE
FILIERE : ELECTRONIQUE
OPTION : INSTRUMENTATION

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique
Dans le cadre du décret ministériel 1275**

Par:

BOUSSADIA Oussama

GHODBANE Abdelmadjed

BENTALAH Abdallah Baha Eddine

Intitulé

Assistant d'Entraînement Intelligent

Soutenu devant le jury composé de:

Pr. GUERMAT Noubel	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Président
Dr. TABBAKH Mostefa	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Rapporteur
Pr. HAMLAOUI Ameer	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Rapporteur
Dr. KAHLOUCHE Ahmed	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Examineur
Pr. BENDAKFEL Rachid	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Examineur
Dr. ATTALLAH Billal	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Incubateur
Mr ALI ARIOUA Abdelkarim	Salle de sport (Judo)	Partenaire Economique

Année universitaire : 2024 / 2025

REMERCIEMENTS

« *Au nom d'Allah le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux* »

Nous remercions **Allah**, le tout puissant de nous avoir Pour nous avoir donné le courage et la volonté pour réaliser ce mémoire. Symbole de notre accomplissement scientifique.

Nous adressons nos sincères remerciements à Monsieur **Tabbakh Mostefa**, notre encadreur, pour ses conseils et ses recommandations tous le long de la rédaction et des recherches de ce manuscrit. Nos tenon à remercier Monsieur **Hamlaoui Ameer**, pour ses directives et ses encouragement tous le long de notre étude pour la compréhension des exigences sportives.

Nous sommes très reconnaissantes aux membres du jury, le professeur Dr. **Guermat Noubeil**, Dr. **Kahlouche Ahmed**, et le professeur **Dr Bendakfel Rachid** qui nous ont fait l'honneur d'examiner notre travail. Nous les remercions pour le temps et l'attention qu'ils ont consacrée à la lecture de notre manuscrit et pour les nombreuses améliorations qu'ils y ont apportées. Nous tenons à remercier le **Dr ATTALLAH Billal** pour son rôle autant que représentant de l'incubateur et son dévouement à cette tâche. Aussi nous remercions vont à **Mr ALI ARIOUA Abdelkarim**, pour son intervention et ses conseils comme représentant économique de notre projet.

Nous plus sincères remerciements à tous **nos enseignants** de la spécialité **instrumentation** chacun par son nom.

Nos vifs remerciements à nos collègues du département d'électronique et plus spécialement ceux de la spécialité **Instrumentation** de l'université de Mohamed Boudiaf de M'sila promotion **2025**.

Pour finir, nous tenons à remercier toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réussite de ce travail.

Dédicace

A mes très chers parents.

A mes frères et sœurs

*A toute Ma famille **Bentallah,***

A tous Mes camarades

A tous ceux que je connais et qui me sont chers

Je dédie ce travail.

Bentallah A.

Dédicaces

Ce mémoire est dédié

A mon père, qu'il repose en paix

A ma mère, source d'amour et de tendresse

A mes très cher frères et sœurs

A Tous ceux qui me sont chers.

Ghodbane A.

Dédicace

A mes très chers parents.

A mes frères et sœurs

*A toute Ma famille **BOUSSADIA**,*

A tous Mes camarades

A tous ceux que je connais et qui me sont chers

Je dédie ce travail.

BOUSSADIA O.

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION GENERAL.....	1
II. Problématique scientifique	2
III. Objectifs de la recherche	3
IV. Organisation du mémoire.....	3
CHAPTER I La vision artificielle	
Introduction.....	5
I. Définition de la vision artificielle	5
I.1. Évolution du domaine de la vision artificielle	7
I.1.1 Phase initiale (1960-1980) : l'analyse manuelle des images	7
I.1.2 Phase des algorithmes basés sur les caractéristiques (1990-2010)	7
I.1.3 Phase de l'apprentissage profond (2012 à aujourd'hui).....	8
I.2. Tendances actuelles et futures... ..	9
I.3. Les tâches fondamentales de la vision artificielle	9
I.3.1. Détection des contours et des caractéristiques.....	10
I.3.2. Classification des objets.....	11
I.3.3. Détection d'objets.....	12
I.3.4. Segmentation d'image.....	13
I.3.5. Extraction de texte (OCR).....	14
I.4. Conclusion.....	12
CHAPTER II Entraînement de la vision artificielle à partir d'images ou de vidéos	
II.1. Introduction	16
II.2. Définition de l'entraînement en vision artificielle	16
II.3. Préparation des données.....	18
II.3.1. Importance de la préparation des données	18
II.3.2. Collecte des données.....	19
II.3.3. Nettoyage des données	19
II.3.4. Annotation des données.....	20
II.3.5. Division des données.....	20
II.3.6. Défis liés à la préparation des données	20
II.4. Techniques d'entraînement.....	21
II.4.1. Apprentissage supervisé (Supervised Learning)	21

II.4.2.Apprentissage non supervisé (Unsupervised Learning)	22
II.4.3.Apprentissage par renforcement (Reinforcement Learning).....	22
II.4.4.Techniques hybrides	23
II.4.5.Choix de la technique d'entraînement.....	23
II.5.Réseaux neuronaux utilisés	24
II.5.1.Réseaux neuronaux convolutionnels (CNNs)	24
II.5.2.Réseaux à mémoire à long terme (LSTMs)	25
II.5.3.Modèles pré-entraînés	25
II.6.Conclusion	26

Chapitre III : Aspect Pratique (Le Programme)

III.1.Vue d'ensemble du programme.....	27
III.2.Objectifs du programme	27
III.3.Architecture du programme	28
III.4.Fonctionnement du système.....	29
III.5. Interface utilisateur	30
III.5.1. Interface du programme smart training, analyse des postures	31
III.5.1.1. Analyse de posture individuelle.....	31
III.5.1.2. Analyse de postures en groupe	32
III.6. Technologies utilisées.....	33
III.7. Interfaces de l'application mobile "Smart Training Assistant"	33
III.8. Améliorations possibles/ Perspectives	36
III.9. Conclusion	37

Chapter IV : côté commercial

INTRODUCTION.....	39
I.dée de projet.....	39
II.Valeurs proposées du projet.....	40
III.équipe de travail.....	41
IV. Objectifs du projet.....	42
V. Objectifs innovants	42

VI. Délai de réalisation du projet.....	43
VII. Présentation du segment de marché du projet.....	46
VII. 1.Marché potentiel.....	46
VII. 2 .Marché cible.....	48
VII. 3.Possibilité de conclure des contrats avec des clients clés.....	48
VIII. Analyse l'intensité concurrentielle.....	49
VIII. 1. Concurrents directs.....	49
VIII. 2. Concurrents indirects.....	49
VIII. 3. Points forts des concurrents.....	50
VIII. 4.Points faibles des concurrents.....	50
VIII. 5.Conclusion.....	51
IX. Coûts et charges.....	52
X. Chiffre d'affaires.....	53
XI. Business Model Canvas.....	54
Conclusion general.....	55
RESUME.....	82

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'avènement de la quatrième révolution industrielle, marquée par l'essor de l'intelligence artificielle (IA), du Big Data, de l'Internet des objets (IoT) et de la vision par ordinateur, a profondément modifié la structure de nombreux secteurs, dont celui du sport. Longtemps dominé par l'expérience empirique des entraîneurs et l'observation visuelle des performances, le domaine de l'entraînement sportif évolue désormais vers une approche scientifique, quantitative et prédictive, basée sur les technologies intelligentes. Cette évolution est motivée non seulement par la recherche d'excellence, mais aussi par une exigence de sécurité, de personnalisation et d'efficacité.

Dans ce contexte, les avancées en vision par ordinateur et en apprentissage automatique ont ouvert de nouvelles perspectives dans l'analyse du mouvement humain. Grâce à des algorithmes capables de détecter, suivre et interpréter les postures du corps en temps réel, il est désormais possible de quantifier la qualité d'un geste sportif, d'identifier les erreurs techniques, de proposer des corrections automatisées, voire de prévenir les blessures avant qu'elles ne surviennent [1][2]. Ces innovations permettent une transition radicale, allant d'un coaching intuitif à un coaching assisté par l'intelligence artificielle, où les décisions sont guidées par des données objectives et mesurables.

Selon McKinsey & Company (2023), plus de 62 % des clubs sportifs professionnels utilisent aujourd'hui des technologies basées sur l'IA pour optimiser les performances, contre seulement 20 % en 2015 [3]. Ce bond technologique illustre la rapidité avec laquelle les outils intelligents s'imposent comme des piliers de la préparation physique et mentale. Leur succès repose sur plusieurs atouts majeurs :

- Une précision supérieure à l'œil humain dans la détection des défauts techniques
- La possibilité d'assurer un suivi en temps réel et en continu sans fatigue ni biais
- L'objectivation de l'analyse : les données remplacent les impressions subjectives
- L'accès à une personnalisation extrême de l'entraînement selon les besoins, les capacités, et les antécédents de chaque individu.

Les domaines d'application sont multiples : yoga, arts martiaux, musculation, athlétisme, rééducation fonctionnelle, danse, et même l'éducation physique à l'école. Dans chacun de ces contextes, la posture, la précision des mouvements, la régularité et la sécurité sont des éléments essentiels à surveiller. Un système intelligent basé sur la reconnaissance de pose humaine (Human Pose Estimation), tel que ceux proposés par MediaPipe [1], YOLO [4], ou OpenPose [2]

II. Problématique scientifique

Les progrès récents en vision par ordinateur, et en particulier en reconnaissance de la pose humaine (*Human Pose Estimation*), permettent d'analyser les mouvements corporels de manière fine, rapide et précise. Des algorithmes comme **MediaPipe Pose** (Lugaresi et al., 2019) [5], **OpenPose** (Cao et al., 2019) [6], ou encore les variantes basées sur **YOLOv7-Pose** (Wang et al., 2022) [7] sont capables de détecter et suivre les articulations humaines en temps réel à partir d'une simple webcam. Ces systèmes permettent :

- La quantification de la qualité du mouvement ;
- L'identification des erreurs techniques ;
- La correction automatisée et personnalisée ;
- La prévention des blessures par détection précoce de mauvaises postures (Pfister et al., 2014) [8].

Cependant, malgré la disponibilité de certaines plateformes de coaching virtuel (ex. FitXR, Freeletics, Nike Training Club), **le suivi postural en temps réel à domicile demeure un point faible majeur**, notamment en raison :

- De la latence dans le retour correctif ;
- De l'évaluation subjective basée sur la visioconférence ;
- De l'inaccessibilité des systèmes professionnels de capture de mouvement (*Motion Capture*) en raison de leur coût élevé (Ghasemzadeh & Jafari, 2011) [9].

III. Objectifs de la recherche

Ce travail vise à concevoir un **système intelligent d'analyse posturale en temps réel**, basé sur la reconnaissance de pose humaine, capable de détecter et corriger automatiquement les erreurs posturales pendant une séance d'exercice physique.

Les objectifs spécifiques sont :

- Étudier et comparer les outils open-source de *Human Pose Estimation* ;
- Développer une application légère fonctionnant avec une webcam classique ;
- Valider l'efficacité du système sur plusieurs types d'activités sportives (fitness, yoga, musculation légère, rééducation).

IV. Organisation du mémoire

Ce mémoire est structuré de manière logique et progressive afin de guider le lecteur à travers les fondements théoriques, les aspects techniques et les considérations commerciales du projet "Assistant d'Entraînement Intelligent". Il est organisé en quatre chapitres complémentaires :

Chapitre 1 – La vision artificielle :

Ce chapitre explore les concepts fondamentaux de la vision artificielle, son évolution historique, ses tâches principales (détection, classification, segmentation, etc.), ainsi que les technologies modernes telles que YOLO, MediaPipe et les réseaux de neurones profonds. Il fournit le socle théorique nécessaire à la compréhension du système développé.

Chapitre 2 – Entraînement de la vision artificielle à partir d'images ou de vidéos :

Ce chapitre détaille les méthodes d'apprentissage utilisées pour entraîner les systèmes de vision artificielle, avec un accent particulier sur la préparation des données, les techniques d'apprentissage supervisé et non supervisé, les modèles de réseaux neuronaux utilisés (CNN, LSTM), ainsi que l'utilisation de modèles pré-entraînés. Il met en évidence le processus rigoureux de construction d'un modèle fiable et performant.

Chapitre 3 – Aspect pratique (Le Programme) :

Il présente la mise en œuvre du système intelligent développé. Ce chapitre décrit l'architecture

logicielle du programme, les modules fonctionnels (analyse vidéo, comparaison, évaluation), les étapes opérationnelles, ainsi que le code source développé en Python. Il montre comment les concepts théoriques ont été traduits en une solution fonctionnelle, évaluée dans un contexte réel.

Chapitre 4 – Côté commercial :

Ce dernier chapitre analyse les perspectives entrepreneuriales du projet. Il aborde l'idée de produit, les valeurs ajoutées, l'étude du marché cible, les stratégies de différenciation face à la concurrence, le modèle économique, les prévisions financières, ainsi que la planification du développement. Il reflète l'ambition de transformer cette innovation technologique en une solution viable sur le marché, avec un potentiel de dépôt de brevet et de lancement d'une startup.

Ce découpage structurel vise à articuler de manière cohérente les apports scientifiques, techniques et applicatifs du projet, tout en ouvrant des perspectives concrètes d'innovation et de valorisation industrielle. Le lecteur est ainsi accompagné depuis la genèse de l'idée jusqu'à sa concrétisation, avec une vision intégrée de la recherche, du développement et de la valorisation.

REFERENCES

- [1] Lugaresi, C., Tang, J., Puppo, E., Chang, C., Yong, M., Lee, J., ... & Kothari, R. (2019). *MediaPipe: A framework for building perception pipelines*. arXiv preprint arXiv:1906.08172. <https://arxiv.org/abs/1906.08172>
- [2] Cao, Z., Hidalgo Martinez, G., Simon, T., Wei, S. E., & Sheikh, Y. (2019). *OpenPose: Realtime multi-person 2D pose estimation using Part Affinity Fields*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 43(1), 172–186. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2019.2929257>
- [3] McKinsey & Company. (2023). *AI in sports: Revolutionizing performance through data and technology*. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com>
- [4] Bochkovskiy, A., Wang, C. Y., & Liao, H. Y. M. (2020). *YOLOv4: Optimal speed and accuracy of object detection*. arXiv preprint arXiv:2004.10934. <https://arxiv.org/abs/2004.10934>
- [5] Lugaresi, C., Tang, J., Puppo, E., Chang, C., Yong, M., Lee, J., ... & Kothari, R. (2019). *MediaPipe: A framework for building perception pipelines*. arXiv preprint arXiv:1906.08172. <https://arxiv.org/abs/1906.08172>
- [6] Cao, Z., Hidalgo Martinez, G., Simon, T., Wei, S. E., & Sheikh, Y. (2019). *OpenPose: Realtime multi-person 2D pose estimation using Part Affinity Fields*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 43(1), 172–186. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2019.2929257>
- [7] Wang, C. Y., Bochkovskiy, A., & Liao, H. Y. M. (2022). *YOLOv7: Trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors*. arXiv preprint arXiv:2207.02696. <https://arxiv.org/abs/2207.02696>
- [8] Pfister, T., Charles, J., & Zisserman, A. (2014). *Flowing convnets for human pose estimation in videos*. In *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision* (pp. 1913–1921). <https://doi.org/10.1109/ICCV.2015.221>
- [9] Ghasemzadeh, H., & Jafari, R. (2011). *Body sensor networks for posture and human movement detection: A review*. IEEE Sensors Journal, 11(6), 1129–1136. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2010.2100810>

REFERENCES

- [10] Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2010). *Digital Image Processing* (3rd ed.). Pearson Education.
- [11] Szeliski, R. (2010). *Computer Vision: Algorithms and Applications*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-84882-935-0>
- [12] Hendriks, E., & O'Connor, N. E. (2019). *Computer Vision in Medical Imaging and Robotics*. Springer.
- [13] Long, J., Shelhamer, E., & Darrell, T. (2015). Fully convolutional networks for semantic segmentation. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 3431–3440). <https://doi.org/10.1109/CVPR.2015.7298965>
- [14] Delmas, P., & Boulanger, P. (2015). *Analyse d'images et vision par ordinateur*. Presses de l'Université du Québec.
- [15] Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press. <https://www.deeplearningbook.org>
- [16] Canny, J. (1986). *A computational approach to edge detection*. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 8(6), 679–698.
- [17] Lowe, D. G. (2004). *Distinctive image features from scale-invariant keypoints*. *International Journal of Computer Vision*, 60(2), 91–110.
- [18] Bay, H., Tuytelaars, T., & Van Gool, L. (2006). *SURF: Speeded up robust features*. *European Conference on Computer Vision (ECCV)*, 404–417.
- [19] Dalal, N., & Triggs, B. (2005). *Histograms of Oriented Gradients for Human Detection*. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 886–893.

REFERENCES

- [20] Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). *ImageNet classification with deep convolutional neural networks*. Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS), 25, 1097–1105.
- [21] LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). *Deep learning*. Nature, 521(7553), 436–444.
- [22] Hassabis, D., Kumaran, D., Summerfield, C., & Botvinick, M. (2017). *Neuroscience-inspired artificial intelligence*. Neuron, 95(2), 245–258.
- [23] Azuma, R. T. (1997). *A survey of augmented reality*. Presence: Teleoperators & Virtual Environments, 6(4), 355–385.
- [24] Sobel, I., & Feldman, G. (1968). *A 3x3 isotropic gradient operator for image processing*. Presented at a talk at Stanford Artificial Intelligence Project (SAIL).
- [25] Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). *You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection*. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR).
- [26] Liu, W., et al. (2016). *SSD: Single Shot MultiBox Detector*. In European Conference on Computer Vision (ECCV).
- [27] Wojke, N., Bewley, A., & Paulus, D. (2017). *Simple online and realtime tracking with a deep association metric*. In ICIP.
- [28] Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015). *U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation*. In MICCAI.
- [29] He, K., Gkioxari, G., Dollár, P., & Girshick, R. (2017). *Mask R-CNN*. In Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV).
- [30] Kipf, T. N., & Welling, M. (2016). *Semi-Supervised Classification with Graph Convolutional Networks*. arXiv preprint arXiv:1609.02907.
- [31] Shi, B., Bai, X., & Yao, C. (2016). *An End-to-End Trainable Neural Network for Image-Based Sequence Recognition and Its Application to Scene Text Recognition*. IEEE Transactions on

REFERENCES

Pattern Analysis and Machine Intelligence.

[32] Smith, R. (2007). *An overview of the Tesseract OCR engine*. In Ninth International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR).

[33] LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). *Deep learning*. *Nature*, 521(7553), 436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>

[34] Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.

[35] Zhao, Z. Q., Zheng, P., Xu, S. T., & Wu, X. (2019). *Object detection with deep learning: A review*. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 30(11), 3212–3232. <https://doi.org/10.1109/TNNLS.2018.2876865>

[36] Karpathy, A., Toderici, G., Shetty, S., Leung, T., Sukthankar, R., & Fei-Fei, L. (2014). *Large-scale video classification with convolutional neural networks*. In *Proceedings of the IEEE conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 1725–1732.

[37] Lin, T. Y., Maire, M., Belongie, S., Hays, J., Perona, P., Ramanan, D., ... & Dollár, P. (2014). *Microsoft COCO: Common Objects in Context*. In *European conference on computer vision* (pp. 740–755). Springer.

[38] Kingma, D. P., & Ba, J. (2015). *Adam: A method for stochastic optimization*. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Learning Representations (ICLR)*.

[39] Esteva, A., Kuprel, B., Novoa, R. A., Ko, J., Swetter, S. M., Blau, H. M., & Thrun, S. (2017). Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature*, 542(7639), 115–118. <https://doi.org/10.1038/nature21056>

[40] Bojarski, M., Testa, D. D., Dworakowski, D., Firner, B., Flepp, B., Goyal, P., ... & Zieba, K. (2016). *End to End Learning for Self-Driving Cars*. arXiv preprint arXiv:1604.07316.

[41] Donahue, J., Anne Hendricks, L., Guadarrama, S., Rohrbach, M., Venugopalan, S., Saenko, K., & Darrell, T. (2015). Long-term Recurrent Convolutional Networks for Visual Recognition and Description. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2625–2634.

REFERENCES

- [42] Sun, C., Shrivastava, A., Singh, S., & Gupta, A. (2017). Revisiting Unreasonable Effectiveness of Data in Deep Learning Era. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 843–852.
- [43] Zhang, Y., Su, H., Shen, C., & Wang, J. (2017). Learning from Weakly Labeled Web Data with Category-Specific Label Noise. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 39(3), 515–528.
- [44] Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *Communications of the ACM*, 60(6), 84–90.
- [45] Shorten, C., & Khoshgoftaar, T. M. (2019). A survey on image data augmentation for deep learning. *Journal of Big Data*, 6(1), 1–48.
- [46] Deng, J., Dong, W., Socher, R., Li, L.-J., Li, K., & Fei-Fei, L. (2009). ImageNet: A Large-Scale Hierarchical Image Database. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 248–255).
- [47] Lin, T.-Y., Maire, M., Belongie, S., Hays, J., Perona, P., Ramanan, D., ... & Zitnick, C. L. (2014). Microsoft COCO: Common Objects in Context. In *European Conference on Computer Vision* (pp. 740–755). Springer.
- [48] Torralba, A., & Efros, A. A. (2011). Unbiased look at dataset bias. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 1521–1528).
- [49] Barz, B., & Denzler, J. (2020). Do we train on test data? Purging CIFAR of near-duplicates. *Journal of Imaging*, 6(6), 41.
- [50] Russakovsky, O., Deng, J., Su, H., Krause, J., Satheesh, S., Ma, S., ... & Fei-Fei, L. (2015). ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge. *International Journal of Computer Vision*, 115(3), 211–252.
- [51] Zhou, Z.-H., & Li, M. (2018). Semi-Supervised Learning by Disagreement. *Knowledge and Information Systems*, 14(1), 1–28.

REFERENCES

- [52] Buda, M., Maki, A., & Mazurowski, M. A. (2018). A systematic study of the class imbalance problem in convolutional neural networks. *Neural Networks*, 106, 249–259.
- [53] Chawla, N. V., Bowyer, K. W., Hall, L. O., & Kegelmeyer, W. P. (2002). SMOTE: Synthetic Minority Over-sampling Technique. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 16, 321–357.
- [54] Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.
- [55] Géron, A. (2019). *Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras & TensorFlow*. O'Reilly Media.
- [56] Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (4th ed.). Pearson.
- [57] Murphy, K. P. (2012). *Machine Learning: A Probabilistic Perspective*. MIT Press.
- [58] Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). *Reinforcement Learning: An Introduction* (2nd ed.). MIT Press.
- [59] Zhu, X., & Goldberg, A. B. (2009). Introduction to Semi-Supervised Learning. *Synthesis Lectures on Artificial Intelligence and Machine Learning*, 3(1), 1–130.
- [60] van Engelen, J. E., & Hoos, H. H. (2020). A survey on semi-supervised learning. *Machine Learning*, 109(2), 373–440.
- [61] Pan, S. J., & Yang, Q. (2010). A survey on transfer learning. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 22(10), 1345–1359.
- [62] Tan, C., Sun, F., Kong, T., Zhang, W., Yang, C., & Liu, C. (2018). A Survey on Deep Transfer Learning. *Proceedings of the 27th International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN)*.
- [63] Hossain, M. R. I., & Little, J. J. (2018). Exploiting temporal information for 3D human pose estimation. *European Conference on Computer Vision (ECCV)*.
- [64] McCulloch, W. S., & Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5(4), 115–133.
- [65] Schmidhuber, J. (2015). Deep learning in neural networks: An overview. *Neural Networks*, 61, 85–117.
- [66] LeCun, Y., Bottou, L., Bengio, Y., & Haffner, P. (1998). Gradient-based learning applied to document recognition. *Proceedings of the IEEE*, 86(11), 2278–2324.
- [67] Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). ImageNet Classification with Deep

REFERENCES

- Convolutional Neural Networks. *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*.
- [68] Scherer, D., Müller, A., & Behnke, S. (2010). Evaluation of Pooling Operations in Convolutional Architectures for Object Recognition. *International Conference on Artificial Neural Networks*.
- [69] Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural Computation*, 9(8), 1735–1780.
- [70] Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*.
- [71] Bochkovskiy, A., Wang, C. Y., & Liao, H. Y. M. (2020). YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection. *arXiv preprint arXiv:2004.10934*.
- [72] Lugaresi, C., Tang, J., Nash, H., et al. (2019). MediaPipe: A Framework for Building Perception Pipelines. *arXiv preprint arXiv:1906.08172*.
- [73] Shorten, C., & Khoshgoftaar, T. M. (2019). A survey on Image Data Augmentation for Deep Learning. *Journal of Big Data*, 6(1), 1–48.
- [74] Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., & Williams, R. J. (1986). Learning representations by back-propagating errors. *Nature*, 323(6088), 533–536.
- [75] LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436–444.
- [76] Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.
- [77] Szeliski, R. (2022). *Computer vision: Algorithms and applications* (2nd ed.). Springer.
- [78] Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT Press.
- [79] Ibid.
- [80] Zhou, X., Wang, D., & Krähenbühl, P. (2019). Objects as points. *arXiv preprint arXiv:1904.07850*.
- [81] Cao, Z., Simon, T., Wei, S. E., & Sheikh, Y. (2017). Realtime multi-person 2D pose estimation using part affinity fields. *CVPR*.
- [82] Redmon, J., & Farhadi, A. (2018). YOLOv3: An incremental improvement. *arXiv preprint arXiv:1804.02767*.
- [83] Mathis, A., Mamidanna, P., Cury, K. M., Abe, T., Murthy, V. N., Mathis, M. W., & Bethge, M. (2018). DeepLabCut: Markerless pose estimation of user-defined body parts with deep

REFERENCES

- learning. *Nature Neuroscience*, 21(9), 1281–1289.
- [84] Szeliski, R. (2022). *Computer vision: Algorithms and applications* (2nd ed.). Springer.
- [85] Cao, Z., Simon, T., Wei, S. E., & Sheikh, Y. (2017). Realtime multi-person 2D pose estimation using part affinity fields. *CVPR*.
- [86] Mathis, A., Mamidanna, P., Cury, K. M., Abe, T., Murthy, V. N., Mathis, M. W., & Bethge, M. (2018). DeepLabCut: Markerless pose estimation of user-defined body parts with deep learning. *Nature Neuroscience*, 21(9), 1281–1289.
- [87] Lugaresi, C., Tang, J., Poulain, T., Chang, C. Y., Hadsell, R., & Murphy, K. (2019). MediaPipe: A Framework for Building Perception Pipelines. *arXiv preprint arXiv:1906.08172*.
- [88] Redmon, J., & Farhadi, A. (2018). YOLOv3: An Incremental Improvement. *arXiv preprint arXiv:1804.02767*.
- [89] Bradski, G. (2000). The OpenCV Library. *Dr. Dobbs's Journal of Software Tools*.
- [90] Ibid.
- [91] Harris, C. R., Millman, K. J., van der Walt, S. J., Gommers, R., Virtanen, P., Cournapeau, D., ... & Oliphant, T. E. (2020). Array programming with NumPy. *Nature*, 585(7825), 357–362.
- [92] Szeliski, R. (2022). *Computer vision: Algorithms and applications* (2nd ed.). Springer.
- [93] Redmon, J., & Farhadi, A. (2018). YOLOv3: An Incremental Improvement. *arXiv preprint arXiv:1804.02767*.
- [94] Lugaresi, C., Tang, J., Poulain, T., Chang, C. Y., Hadsell, R., & Murphy, K. (2019). MediaPipe: A Framework for Building Perception Pipelines. *arXiv preprint arXiv:1906.08172*.
- [95] Szeliski, R. (2022). *Computer vision: Algorithms and applications* (2nd ed.). Springer.
- [96] Zhang, J., & Tao, D. (2012). Slow Feature Analysis for Human Action Recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 34(3), 436–450.
- [97] Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2018). *Digital Image Processing* (4th ed.). Pearson.
- [98] Google. (2023). *MediaPipe Pose Documentation*. Retrieved from <https://developers.google.com/mediapipe>
- [99] Duda, R. O., Hart, P. E., & Stork, D. G. (2012). *Pattern Classification* (2nd ed.). Wiley-Interscience.
- [100] Bradski, G., & Kaehler, A. (2008). *Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV*

REFERENCES

Library. O'Reilly Media.

[101] Lutz, M. (2013). *Learning Python* (5th ed.). O'Reilly Media.

[102] Géron, A. (2019). *Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow* (2nd ed.). O'Reilly Media.

[103] Sommerville, I. (2016). *Software Engineering* (10th ed.). Pearson Education.

[104] Redmon, J., & Farhadi, A. (2018). YOLOv3: An Incremental Improvement. arXiv preprint arXiv:1804.02767.

[105] Raschka, S., & Mirjalili, V. (2022). *Python Machine Learning* (3rd ed.). Packt Publishing.

[106] OpenCV. (2024). *cv2.waitKey* — *OpenCV documentation*. Retrieved from <https://docs.opencv.org/>

[107] Müller, B., & Krause, D. (2020). Intelligent Personal Training Assistants Using Real-Time Feedback. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 15(2), 234–248.

REFERENCES D'IMAGES

[1] <https://www.avnet.com/apac/solutions/reference-solutions/embedded-vision/smart-security-made-simple/>

[2] Capture d'écran du programme

[3] Fabriqué avec l'intelligence artificielle

[4] <https://depositphotos.com/video/cctv-camera-real-time-tracking-of-vehicles-and-people-on-the-street-authentic-pixelated-image-364374710.html>

[5] <https://iq.opengenius.org/object-detection-using-r-cnn>

[6] <https://medium.com/@techmayank2000/object-detection-using-ssd-mobilenetv2-using-tensorflow-api-can-detect-any-single-class-from-31a31bbd0691>

Résumé

Ce mémoire présente le développement d'un **système intelligent d'analyse posturale en temps réel**, conçu pour évaluer la qualité des mouvements corporels lors d'activités sportives ou de rééducation. Le système repose sur des technologies de **vision par ordinateur** et d'**intelligence artificielle**, en exploitant notamment **MediaPipe**, **YOLO** et **OpenCV**, et a été entièrement implémenté en **Python**.

À partir d'une simple webcam ou d'une vidéo, le système détecte automatiquement les **points articulaires** du corps (landmarks), les compare à une posture de référence et calcule un **score de similarité** exprimé sur 100. Une **interface graphique conviviale** permet à l'utilisateur de visualiser sa posture, d'obtenir un retour instantané, et d'interagir facilement avec les options d'analyse.

Les **résultats expérimentaux** obtenus montrent une **bonne précision de détection**, une **fiabilité dans divers contextes** (mouvement seul ou en groupe), et une **réactivité satisfaisante** pour une utilisation en temps réel. Le système s'est révélé efficace dans l'analyse d'exercices de yoga, de fitness et de judo.

Ce travail ouvre des perspectives concrètes d'amélioration, notamment l'ajout de corrections automatisées, l'adaptation aux disciplines sportives spécifiques, et le développement d'une version mobile. Il constitue une **base prometteuse** pour des applications pratiques dans le sport, la santé et l'enseignement.

الملخص

يعرض هذا البحث تطوير نظام ذكي لتحليل الوضعيات الجسدية في الوقت الحقيقي، تم تصميمه لتقييم جودة الحركات البدنية أثناء التمارين الرياضية أو جلسات إعادة التأهيل. يعتمد هذا النظام

على تقنيات الرؤية بالحاسوب والذكاء الاصطناعي، باستخدام مكتبات مثل **MediaPipe** و **OpenCV** و **YOLOv8**، وتم تنفيذه بالكامل بلغة **Python**.

انطلاقاً من كاميرا ويب بسيطة أو مقطع فيديو، يقوم النظام باكتشاف النقاط المفصلية في جسم الإنسان بشكل تلقائي، ثم يقارنها مع وضعية مرجعية ويحسب درجة التشابه بينهما على مقياس من 100. كما يوفر واجهة رسومية سهلة الاستخدام، تتيح للمستخدم رؤية وضعياته، والحصول على ملاحظات فورية، والتفاعل بسهولة مع أدوات التحليل.

أظهرت النتائج التجريبية دقة جيدة في الاكتشاف، واعتمادية في مختلف السياقات (التحليل الفردي أو الجماعي)، بالإضافة إلى استجابة فعالة في الوقت الحقيقي. وقد أثبت النظام فعاليته في تحليل تمارين مثل اليوغا، واللياقة البدنية، والجودو.

يفتح هذا المشروع أفقاً عملية للتطوير، مثل إضافة تصحيحات تلقائية، وتكييفه حسب التخصصات الرياضية المختلفة، وتطوير نسخة خاصة بالهواتف المحمولة. ويمثل هذا العمل قاعدة واعدة لتطبيقات عملية في مجالات الرياضة، الصحة والتعليم.