

“ Rapport Général de Projet

Système de reconnaissance faciale

pour la billetterie de la Coupe du Monde 2030

Maroc

Réalisé par :

Ranine Walid

Salim Haytem

Encadré par :

Abderrahim Larhlimi

Table des matières

1	Introduction générale	2
2	Contexte et justification du projet	3
3	Présentation générale du concept	4
4	Objectifs du projet	5
5	Étude de l'existant	6
6	Choix technologiques	7
7	Architecture générale du système	8
8	Description du Front-End	9
9	Description du Back-End	10
10	Gestion des utilisateurs	11
11	Reconnaissance faciale	12
12	Sécurité et limites	13
13	Méthodologie	14
14	Tests et validation	15
15	Perspectives d'évolution	16
16	Conclusion générale	17
	Webographie	19

1. Introduction générale

La Coupe du Monde de football 2030 représente un événement sportif d'envergure mondiale, mobilisant des moyens humains, techniques et organisationnels considérables. En tant que pays hôte, le Maroc sera amené à accueillir des millions de supporters provenant de différents pays, cultures et contextes sociaux. Une telle affluence pose des défis majeurs liés à la sécurité, à la gestion des flux de personnes, à la prévention de la fraude et à l'amélioration de l'expérience globale des spectateurs.

Dans ce contexte, la gestion des accès aux stades constitue un élément stratégique. Les systèmes traditionnels de billetterie, qu'ils soient papier ou numériques, reposent principalement sur des contrôles visuels ou des codes QR. Bien que largement utilisés, ces systèmes présentent plusieurs limites, notamment la duplication des billets, l'usurpation d'identité, les temps d'attente prolongés aux points d'entrée et la dépendance à des contrôles humains.

L'essor de l'intelligence artificielle et des technologies biométriques ouvre la voie à des solutions plus avancées et plus sécurisées. Parmi celles-ci, la reconnaissance faciale se distingue par sa capacité à identifier une personne de manière rapide et non intrusive. Ce projet académique s'inscrit dans cette dynamique et vise à concevoir un prototype de système de billetterie sécurisé basé sur la reconnaissance faciale, entièrement fonctionnel en environnement local et destiné à une démonstration pédagogique.

2. Contexte et justification du projet

L'organisation d'événements sportifs internationaux impose des exigences strictes en matière de sécurité et de fluidité d'accès. Les incidents liés à la fraude aux billets, aux intrusions non autorisées ou aux mouvements de foule peuvent avoir des conséquences graves, tant sur le plan humain que médiatique.

Les solutions classiques de contrôle d'accès reposent sur des vérifications manuelles ou semi-automatisées, ce qui engendre des files d'attente importantes et une charge de travail élevée pour le personnel. De plus, ces méthodes ne garantissent pas toujours que le détenteur du billet est bien son propriétaire légitime.

La reconnaissance faciale permet de lier un ticket à une identité biométrique unique, difficilement falsifiable. Cette approche réduit considérablement les risques de fraude tout en accélérant le processus de validation à l'entrée des stades. D'un point de vue académique, ce projet se justifie également par la richesse des compétences mobilisées : vision par ordinateur, intelligence artificielle, développement web, sécurité des données et conception d'architectures logicielles.

3. Présentation générale du concept

Le concept proposé repose sur l'association directe entre un ticket numérique et l'empreinte faciale de son détenteur. Lors de la phase d'inscription, l'utilisateur capture une image de son visage via une webcam ou téléverse une photo. Cette image est ensuite traitée afin d'extraire des caractéristiques biométriques sous forme d'un vecteur numérique appelé *embedding facial*.

Lors de l'accès au stade, une caméra capture en temps réel le visage du spectateur. Le système compare alors l'empreinte faciale capturée avec celle stockée dans la base de données locale. Si le score de similarité dépasse un seuil prédéfini, l'accès est autorisé automatiquement. Dans le cas contraire, l'accès est refusé.

Ce mécanisme permet un contrôle rapide, fiable et sans contact physique, tout en améliorant l'expérience utilisateur et la sécurité globale de l'événement.

4. Objectifs du projet

L'objectif principal de ce projet est de concevoir et de mettre en œuvre un prototype fonctionnel de système de billetterie sécurisé basé sur la reconnaissance faciale. Ce système vise à démontrer comment les technologies d'intelligence artificielle peuvent être exploitées afin d'améliorer la sécurité, la rapidité et la fiabilité du contrôle d'accès lors des grands événements sportifs.

Contrairement aux solutions classiques reposant uniquement sur des billets papier ou des codes QR, ce projet introduit une dimension biométrique en associant chaque ticket à une identité faciale unique. Cette approche permet de réduire considérablement les risques de fraude, d'usurpation d'identité et de duplication des billets.

Les objectifs spécifiques du projet sont multiples. Tout d'abord, il s'agit de comprendre les principes fondamentaux de la reconnaissance faciale moderne, notamment la notion d'empreinte faciale (*facial embedding*) et les techniques de comparaison basées sur des mesures de similarité. Ensuite, le projet vise à expérimenter des modèles de reconnaissance faciale reconnus tels que FaceNet ou ArcFace, afin d'évaluer leurs performances dans un contexte réel simulé.

Par ailleurs, ce projet a pour objectif de concevoir une architecture logicielle complète intégrant un Front-End, un Back-End et une base de données locale, tout en respectant des contraintes strictes de confidentialité. Enfin, une analyse critique des limites du système est menée, notamment en termes de précision, de conditions d'éclairage et de sécurité des données biométriques.

5. Étude de l'existant

La reconnaissance faciale est aujourd’hui largement utilisée dans divers domaines tels que la sécurité, la surveillance, le contrôle d'accès et les services numériques. Plusieurs solutions commerciales proposent des services de reconnaissance faciale performants, parmi lesquelles Amazon Rekognition, Microsoft Face API ou encore Face++.

Ces solutions présentent de nombreux avantages, notamment une grande précision, des algorithmes avancés et des fonctionnalités supplémentaires telles que la détection de vivacité ou l'analyse d'émotions. Cependant, elles reposent majoritairement sur des infrastructures cloud, ce qui implique l'envoi et le stockage des données biométriques sur des serveurs distants.

Dans un contexte académique et pédagogique, cette approche pose plusieurs problèmes. D'une part, elle soulève des questions liées à la confidentialité et à la protection des données personnelles. D'autre part, elle entraîne une dépendance vis-à-vis de services tiers souvent payants, ce qui limite leur accessibilité pour un projet étudiant.

Face à ces contraintes, le choix s'est orienté vers des solutions open-source fonctionnant entièrement en local. Des bibliothèques telles qu'OpenCV, Dlib, FaceNet et ArcFace offrent une alternative fiable et flexible, permettant de concevoir un système de reconnaissance faciale sans dépendance au cloud. Cette approche garantit un meilleur contrôle des données et une meilleure compréhension des mécanismes internes des algorithmes utilisés.

6. Choix technologiques

Le choix des technologies utilisées dans ce projet a été guidé par plusieurs critères : la performance, la simplicité d'intégration, la disponibilité en open-source et l'adéquation avec un cadre académique.

Le Front-End du système est développé à l'aide de technologies web standards telles que HTML, CSS et JavaScript. Ces technologies permettent de concevoir une interface utilisateur simple, accessible via un navigateur et compatible avec la majorité des systèmes. L'utilisation de l'API *getUserMedia* de JavaScript permet notamment l'accès à la webcam pour la capture des images faciales.

Le Back-End repose sur le langage Python, largement utilisé dans le domaine de l'intelligence artificielle et du traitement d'images. Des frameworks légers comme Flask ou FastAPI sont utilisés pour exposer des services REST assurant la communication entre le Front-End et le moteur de reconnaissance faciale.

Pour la reconnaissance faciale, OpenCV est utilisé pour la détection des visages, tandis que des modèles avancés comme FaceNet ou ArcFace sont employés pour l'extraction des empreintes faciales. Enfin, une base de données locale SQLite est utilisée pour stocker les informations nécessaires au fonctionnement du prototype, notamment les embeddings faciaux associés aux tickets.

7. Architecture générale du système

L'architecture générale du système repose sur une structure modulaire, facilitant la compréhension, la maintenance et l'évolution future du projet. Elle est composée de trois blocs principaux : le Front-End, le Back-End et la base de données locale.

Le Front-End constitue le point d'interaction avec l'utilisateur. Il permet la capture des images faciales, la gestion des inscriptions et l'affichage des résultats de validation. Le Back-End joue un rôle central en assurant le traitement des images, l'extraction des empreintes faciales et la prise de décision lors de la validation des tickets.

Un module spécifique de reconnaissance faciale est intégré au Back-End. Ce module est responsable de la détection des visages, de la normalisation des images et de la comparaison des embeddings. La base de données locale stocke les informations essentielles, sans conserver inutilement les images brutes, afin de limiter les risques liés à la confidentialité.

Cette architecture permet une séparation claire des responsabilités et garantit un fonctionnement entièrement local, conforme aux objectifs académiques du projet.

8. Description du Front-End

Le Front-End du système a été conçu dans un souci de simplicité et d'ergonomie. Il comprend plusieurs interfaces destinées à différents usages, notamment une page d'accueil présentant le projet, une page d'inscription pour l'enrôlement des utilisateurs et une interface de validation des tickets.

Lors de l'inscription, l'utilisateur est invité à capturer une image de son visage à l'aide de la webcam de son appareil. Cette image est ensuite transmise au Back-End pour traitement. L'interface guide l'utilisateur tout au long du processus afin de garantir une capture de qualité suffisante pour la reconnaissance faciale.

Le Front-End inclut également une interface de démonstration simulant l'entrée du stade. Cette interface permet de capturer le visage en temps réel et d'afficher le résultat de la validation (accès autorisé ou refusé). L'ensemble de l'interface est conçu pour être responsive et facilement utilisable, même par des utilisateurs non techniques.

9. Description du Back-End

Le Back-End constitue le cœur fonctionnel du système. Il est responsable de l'ensemble des traitements liés à la reconnaissance faciale et à la gestion des tickets. Il reçoit les images envoyées par le Front-End, les traite et renvoie les résultats de validation.

Le processus commence par la détection du visage dans l'image à l'aide d'OpenCV. Une fois le visage détecté, celui-ci est prétraité (redimensionnement, alignement) avant d'être transmis au modèle de reconnaissance faciale. Le modèle génère alors un embedding représentant les caractéristiques biométriques du visage.

Lors de la phase de vérification, l'embedding extrait est comparé aux embeddings stockés dans la base de données locale à l'aide d'une mesure de similarité. Si le score obtenu dépasse un seuil prédéfini, le ticket est considéré comme valide et l'accès est autorisé. Ce mécanisme permet une prise de décision rapide et automatisée, avec une latence inférieure à une seconde dans des conditions normales.

10. Gestion des utilisateurs

La gestion des utilisateurs constitue un élément fondamental du système de billetterie basé sur la reconnaissance faciale. Elle permet de structurer les accès, de sécuriser les fonctionnalités sensibles et de garantir une utilisation contrôlée de l'application.

Deux types d'utilisateurs sont définis dans le cadre de ce projet : les administrateurs et les clients. Les administrateurs disposent de priviléges avancés leur permettant de superviser le fonctionnement global du système. Ils peuvent consulter les journaux d'accès, gérer les inscriptions, vérifier l'état des tickets et s'assurer du bon déroulement des opérations de validation.

Les clients représentent les utilisateurs finaux du système. Lors de leur inscription, ils fournissent les informations nécessaires à la création de leur compte et procèdent à l'enrôlement de leur visage via une capture d'image. Chaque compte client est associé à un ou plusieurs tickets, eux-mêmes liés à une empreinte faciale unique. Ce mécanisme garantit que seul le détenteur légitime du ticket peut accéder à l'événement.

Un système d'authentification est mis en place afin de contrôler l'accès aux différentes interfaces. Il permet de différencier les droits selon le type d'utilisateur et d'assurer une séparation claire entre les fonctionnalités administratives et celles destinées aux clients.

11. Reconnaissance faciale

La reconnaissance faciale constitue le cœur technologique de ce projet. Elle repose sur un ensemble de techniques issues de la vision par ordinateur et de l'apprentissage profond, visant à identifier ou vérifier l'identité d'une personne à partir de son visage.

Le processus débute par la détection du visage dans l'image capturée. Cette étape permet d'identifier la zone contenant le visage et d'éliminer les informations non pertinentes de l'image. Une fois le visage détecté, celui-ci est normalisé afin de réduire l'impact des variations de pose, d'éclairage ou de distance par rapport à la caméra.

L'étape suivante consiste à extraire les caractéristiques biométriques du visage à l'aide de modèles de reconnaissance faciale avancés tels que FaceNet ou ArcFace. Ces modèles génèrent un vecteur numérique, appelé *embedding facial*, qui représente de manière compacte et discriminante l'identité du visage.

Lors de la phase de vérification, l'embedding extrait est comparé à ceux stockés dans la base de données locale. La comparaison repose sur une mesure de similarité, généralement basée sur la distance cosinus ou euclidienne. Si le score obtenu dépasse un seuil prédéfini, le système considère que les deux visages correspondent et autorise l'accès.

12. Sécurité et limites

Bien que la reconnaissance faciale apporte un niveau de sécurité supérieur aux systèmes de billetterie traditionnels, elle présente néanmoins certaines limites qu'il convient d'analyser. La performance du système peut être affectée par des facteurs externes tels que la qualité de la caméra, les conditions d'éclairage ou les variations d'apparence du visage.

Par ailleurs, les systèmes de reconnaissance faciale peuvent être vulnérables à certaines tentatives de fraude, notamment l'utilisation de photos ou de vidéos. Dans ce projet académique, des mécanismes simples de détection de vivacité, tels que la demande de mouvements ou de clignements des yeux, peuvent être envisagés afin de limiter ces risques.

La gestion des données biométriques constitue également un enjeu majeur. Les empreintes faciales sont des données sensibles qui nécessitent une protection renforcée. C'est pourquoi ce projet adopte une approche entièrement locale, sans transmission des données vers des serveurs externes. Les données sont utilisées uniquement à des fins de test et de démonstration, dans le respect des principes éthiques et réglementaires.

13. Méthodologie

La réalisation de ce projet a suivi une méthodologie structurée et progressive, visant à garantir la cohérence et la qualité du prototype développé. La première étape a consisté en une analyse approfondie des besoins et des contraintes liées à la mise en place d'un système de billetterie sécurisé basé sur la reconnaissance faciale.

Une étude de l'existant a ensuite été menée afin d'identifier les solutions disponibles sur le marché et de justifier les choix technologiques retenus. La phase de conception a permis de définir l'architecture générale du système, les interactions entre les différents modules et les flux de données.

Le développement a été réalisé de manière incrémentale, en commençant par les fonctionnalités de base avant d'intégrer progressivement les modules avancés de reconnaissance faciale. Enfin, une phase de tests et de validation a permis de vérifier le bon fonctionnement du système et d'identifier les axes d'amélioration possibles.

14. Tests et validation

Les tests constituent une étape essentielle pour évaluer la fiabilité et les performances du système développé. Plusieurs types de tests ont été réalisés afin de couvrir l'ensemble des fonctionnalités du prototype.

Des tests fonctionnels ont permis de vérifier le bon déroulement des scénarios d'inscription, d'enrôlement du visage, de génération des tickets et de validation à l'entrée. Chaque scénario a été testé dans différentes conditions afin d'évaluer la robustesse du système.

Des tests techniques ont également été effectués pour mesurer la précision de la reconnaissance faciale et le temps de réponse du système. Les résultats obtenus montrent que le prototype est capable de reconnaître un utilisateur enregistré et de valider son ticket en moins d'une seconde, dans des conditions normales d'utilisation.

15. Perspectives d'évolution

Bien que le prototype développé réponde aux objectifs fixés dans le cadre de ce projet académique, plusieurs pistes d'amélioration peuvent être envisagées pour une évolution future du système.

L'intégration de mécanismes avancés de détection de vivacité permettrait de renforcer la sécurité face aux tentatives de fraude. De même, l'ajout de solutions de secours, telles que des codes QR temporaires ou des badges physiques, offrirait une alternative en cas de défaillance du système biométrique.

À plus grande échelle, un déploiement du système sur une infrastructure distribuée, associée à des équipements matériels plus performants, permettrait de gérer un volume important de spectateurs. Ces évolutions ouvrent la voie à une utilisation réelle du système dans des événements de grande envergure comme la Coupe du Monde 2030.

16. Conclusion générale

Ce projet académique a permis de démontrer de manière concrète la faisabilité de l'utilisation de la reconnaissance faciale pour la validation sécurisée des tickets lors de grands événements sportifs. À travers la conception et le développement d'un prototype fonctionnel, il a été possible d'explorer l'ensemble des étapes nécessaires à la mise en œuvre d'un tel système, depuis l'acquisition des données jusqu'à la prise de décision automatique.

Au-delà de l'aspect technique, ce travail a mis en lumière les enjeux organisationnels, sécuritaires et éthiques liés à l'utilisation des technologies biométriques. Il souligne également le rôle central de l'intelligence artificielle et de l'ingénierie logicielle dans la transformation numérique des services événementiels.

Bien que limité à un cadre académique et à un fonctionnement local, ce projet constitue une base solide pour des développements futurs plus avancés. Il ouvre la voie à des réflexions approfondies sur l'intégration responsable et sécurisée de la reconnaissance faciale dans des contextes réels à grande échelle, tels que la Coupe du Monde 2030.

Bibliographie

- [1] Schroff, F., Kalenichenko, D., Philbin, J. *FaceNet : A Unified Embedding for Face Recognition and Clustering*. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2015.
- [2] Deng, J., Guo, J., Xue, N., Zafeiriou, S. *ArcFace : Additive Angular Margin Loss for Deep Face Recognition*. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2019.
- [3] Bradski, G., Kaehler, A. *Learning OpenCV : Computer Vision with the OpenCV Library*. O'Reilly Media, 2008.
- [4] Jain, A. K., Ross, A., Prabhakar, S. *An Introduction to Biometric Recognition*. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2004.
- [5] Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. *Deep Learning*. MIT Press, 2016.
- [6] ISO/IEC 2382-37. *Information Technology – Vocabulary – Part 37 : Biometrics*. International Organization for Standardization, 2022.

Webographie

- OpenCV Documentation : <https://docs.opencv.org>
- FaceNet (Implementation GitHub) : <https://github.com/davidsandberg/facenet>
- ArcFace (InsightFace) : <https://github.com/deepinsight/insightface>
- Dlib Face Recognition : http://dlib.net/face_recognition.py.html
- FastAPI Documentation : <https://fastapi.tiangolo.com>
- Flask Documentation : <https://flask.palletsprojects.com>
- SQLite Documentation : <https://www.sqlite.org/docs.html>
- Python Official Documentation : <https://docs.python.org/3/>
- IEEE Xplore Digital Library : <https://ieeexplore.ieee.org>
- Overleaf Documentation : <https://www.overleaf.com/learn>