République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A

Faculté des mathématiques et de l'informatique



MÉMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme

Master en informatique

Spécialité : Technologies de l'Information et de la Communication

THEME

Système intelligent de gestion de présence des étudiants basé sur la reconnaissance faciale

Présenté par Les Etudients :

- Khedara Issam Eddine
- Souahlia Yacine
- Zemrak Anis
- Madoui Athmane

Devant le jury composé de :

Président : Dr BENAOUDA Nadjib

Examinateur : Dr SENOUCI Oussama

Encadreur : Dr BELAZZOUG Mouhoub

2025/2026

Remerciements

Toute notre gratitude, grâce et remerciements vont à Dieu Tout-Puissant qui nous a donné la force, la patience, le courage et la volonté pour élaborer ce travail.

C'est avec une profonde reconnaissance et considération particulière que nous remercions notre encadreur :
Dr. BELAZZOUG Mouhoub
pour la sollicitude avec laquelle il nous a suivi et guidé tout au long de ce travail.

Notre gratitude va aussi à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Nous souhaitons également exprimer nos sincères remerciements aux membres du jury qui nous ont honorés en participant à l'évaluation de ce travail et en l'enrichissant de leurs remarques et suggestions constructives : Monsieur

Dr.*BENAOUDA Nadjib**, ***Président du jury,

et

Dr.* SENOUCI Oussama**, ***Examinateur.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A mon très cher père Khedara Lakhdar. Tu as toujours été pour moi un exemple du père respectueux, honnête, de la personne méticuleuse, je tiens à honorer l'homme que tu es. Je voudrais te remercier pour ton amour, ta générosité, ta compréhension...Ce modeste travail est le fruit de tous les sacrifices que tu as déployés pour mon éducation et ma formation. Je t'aime papa.

A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureux : À la plus belle créature que Dieu a créée sur terre, À cette source de tendresse, de patience et de générosité, A ma mère que j'aime.

A mon cher frère Khedara Ameur Rami, A tous les moments d'enfance passés avec toi mon frère, en gage de ma profonde estime pour l'aide que tu m'as apportée.

A mon frère que je trouve toujours à mes côtés Abida Bachir. Ta présence est le plus beau des cadeaux Que Dieu m'a donnés ... Merci d'être toujours là pour moi, dans les bons comme dans les mauvais moments.

À mon cher ami Manaa Nouh, pour sa présence précieuse, ses encouragements constants et les moments de partage tout au long de ce parcours universitaire.

A mon frère Azzam Mostafa Merci pour les bons moments passés ensemble Merci d'être à mes côtés et de faire partie de ma vie. Je demande à Dieu de vous accorder la réussite dans votre vie et de devenir un grand médecin à l'avenir. N'oubliez pas de préserver notre message fraternel.

À mes chers binômes et amis, Athmane, Yacine et Anis, en souvenir des innombrables heures de travail partagées, de votre sérieux et de l'esprit d'équipe exemplaire qui nous a permis de réaliser ce projet. Merci pour cette belle aventure humaine et scientifique.

A toute la famille Harzallah et mes proches (Ma tante Lilya, Toufik, Midou et Lina, Ma tante Fatiha, dady et Rayane).

Sans oublier : mes deux frères Hakou et Amar.

A tous mes amis et tous ceux que j'aime et qui m'aiment

Merci infiniment.

Khedara Issam Eddine

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

qui représente l'aboutissement de plusieurs années d'efforts, de patience et de persévérance,

À mes très chers parents,
ma mère et mon père, qui ont toujours été une source d'amour, de soutien et de motivation. Merci pour tous les sacrifices consentis, pour vos conseils précieux, votre confiance et votre présence à chaque étape de mon parcours. Je vous exprime toute ma reconnaissance et mon profond respect. Que Dieu vous protège et vous accorde santé, bonheur et longue vie.

À mon cher frère,
pour son soutien, ses encouragements et sa présence à mes côtés.

À mes trois chères sœurs,
pour leur affection, leur soutien moral et tous les moments de joie qu'elles m'ont apportés.

À toute ma famille,
qui a toujours cru en moi et m'a accompagné avec amour et encouragement.

Une pensée particulière à mes chers amis et collègues de parcours :
Issam, Athmane et Anis,
avec qui j'ai partagé des moments inoubliables, des défis, des efforts et une belle expérience universitaire. Merci pour votre esprit d'entraide, votre amitié sincère et tous les souvenirs que nous avons construits ensemble.

Enfin, je dédie ce travail à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ma réussite et à mon parcours académique.

Avec mes sincères remerciements et mon profond respect.

Souahlia Yacine

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail,

fruit d'efforts, de patience et de persévérance,

À ma très chère mère,
source inépuisable d'amour, de tendresse et de sacrifices.
Merci pour ton soutien constant, tes prières, ton affection et tous les efforts que tu as accomplis pour me voir réussir. Aucun mot ne saurait exprimer ma profonde gratitude ni la place immense que tu occupes dans mon cœur. Que Dieu te protège, te garde en bonne santé et te comble de bonheur.

À mes cinq sœurs bien-aimées,
pour leur présence, leurs encouragements, leur affection et tous les moments de soutien qu'elles m'ont apportés tout au long de mon parcours.

À mes trois chers frères,
pour leur aide, leur soutien moral et leur confiance. Merci d'avoir toujours été présents dans les moments difficiles comme dans les moments heureux.

À toute ma famille,
qui m'a entouré de son amour, de ses encouragements et de son soutien durant toutes ces années.

J'adresse également une pensée particulière à mes camarades et compagnons de parcours :
Yacine, Athmane et Issam,
avec qui j'ai partagé des moments inoubliables, des défis, des efforts et de magnifiques souvenirs universitaires. Que notre amitié demeure forte et que chacun de nous trouve la réussite et l'épanouissement dans son avenir.

Je dédie enfin ce travail à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ma formation et à ma réussite.

Avec toute ma reconnaissance et mon profond respect.

Merci infiniment.

Zemrak Anis

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A mes très chers parents, pour leur amour inconditionnel, leurs innombrables sacrifices et leurs prières précieuses qui m'ont toujours éclairé le chemin de la réussite. Que Dieu les préserve et leur accorde une longue vie.

À ma chère sœur jumelle, ma moitié, pour ce lien unique et fusionnel qui nous unit et pour son soutien de chaque instant.

Ainsi qu'à ma deuxième sœur et à mon cher frère pour leur affection et leurs encouragements constants.

Enfin, je dédie ce travail à mes formidables binômes et fidèles compagnons de route, Issam, Anis et Yacine, en souvenir des longues heures de labeur, des défis relevés ensemble et de notre merveilleux esprit d'équipe.

Ce projet n'aurait pas été la même aventure sans votre précieuse amitié.

Merci infiniment.

Madoui Athmane

Résumé

La reconnaissance faciale est une technologie d'intelligence artificielle et de vision par ordinateur qui permet d'identifier ou de vérifier l'identité d'une personne à partir de son visage. Elle est largement utilisée dans les systèmes de sécurité et les applications biométriques, et elle joue aujourd'hui un rôle important dans l'automatisation des services numériques.Ce travail de mémoire présente la conception et la réalisation d'un système intelligent de gestion de présence des étudiants basé sur la reconnaissance faciale. Ce système vise à améliorer et automatiser la gestion académique au sein des établissements universitaires.Le système est organisé autour de trois profils principaux : l'administrateur, l'enseignant et l'étudiant. L'administrateur dispose des fonctionnalités de gestion des utilisateurs, notamment l'ajout, la modification et la suppression des étudiants et des enseignants, ainsi que la gestion des matières et des groupes. Il peut également consulter les statistiques relatives à la présence et à l'absence des étudiants.L'enseignant utilise le système pour effectuer le suivi de la présence des étudiants grâce à la reconnaissance faciale, ainsi que pour gérer les notes des travaux dirigés (TD) et des travaux pratiques (TP). Il peut également consulter des statistiques sur l'assiduité des étudiants. L'étudiant peut accéder à son espace personnel afin de consulter ses informations, ses matières, ses enseignants, ainsi que les notes attribuées par les enseignants. Il peut également suivre son statut de présence. Le système repose sur des techniques de vision par ordinateur et d'apprentissage automatique afin d'assurer une reconnaissance rapide et fiable des visages, contribuant ainsi à l'amélioration de l'efficacité et de la qualité de la gestion universitaire.

Mots-clés : reconnaissance faciale, intelligence artificielle, vision par ordinateur, gestion de présence, système académique, étudiants, gestion universitaire.

Abstract

Facial recognition is a technology based on artificial intelligence and computer vision that enables the identification or verification of a person's identity from their face. It is widely used in security systems and biometric applications and plays an important role today in the automation of digital services.This thesis presents the design and implementation of an intelligent student attendance management system based on facial recognition. The system aims to improve and automate academic management within university institutions. The system is organized around three main roles: the administrator, the teacher, and the student. The administrator has user management functionalities, including adding, modifying, and deleting students and teachers, as well as managing subjects and groups. The administrator can also access statistics related to student attendance and absence.The teacher uses the system to track student attendance through facial recognition, as well as to manage grades for tutorials (TD) and practical work (TP). The teacher can also view attendance statistics. The student can access a personal space to view their information, subjects, teachers, and grades assigned by instructors. They can also monitor their attendance status.The system relies on computer vision and machine learning techniques to ensure fast and reliable face recognition, thereby improving the efficiency and quality of university management.

Keywords : facial recognition, artificial intelligence, computer vision, attendance management, academic system, students, university management.

الملخص

تُعدّ تقنية التعرف على الوجه من تقنيات الذكاء الاصطناعي ورؤية الحاسوب، والتي تسمح بتحديد أو التحقق من هوية الشخص انطلاقاً من وجهه. تُستخدم هذه التقنية على نطاق واسع في أنظمة الأمن والتطبيقات البيومترية، وتلعب اليوم دوراً مهماً في أتمتة الخدمات الرقمية .
يقدم هذا العمل تصميم وإنجاز نظام ذكي لإدارة حضور الطلاب يعتمد على التعرف على الوجه، ويهدف إلى تحسين وأتمتة التسيير الأكاديمي داخل المؤسسات الجامعية .يتكوّن النظام من ثلاثة أطراف رئيسية: المدير، الأستاذ، والطالب. حيث يمتلك المدير صلاحيات إدارة المستخدمين مثل إضافة وتعديل وحذف الطلاب والأساتذة، بالإضافة إلى إدارة المواد والمجموعات، كما يمكنه الاطلاع على إحصائيات الحضور والغياب .يستخدم الأستاذ النظام لمتابعة حضور الطلاب عبر تقنية التعرف على الوجه، بالإضافة إلى إدارة نقاط الأعمال الموجهة (TD) والأعمال التطبيقية(TP) ، كما يمكنه الاطلاع على إحصائيات الحضور .أما الطالب فيمكنه الدخول إلى حسابه الشخصي للاطلاع على معلوماته، مواده، أساتذته، وكذلك النقاط المسندة إليه، إضافة إلى متابعة حالة حضوره .يعتمد النظام على تقنيات رؤية الحاسوب والتعلم الآلي لضمان التعرف السريع والدقيق على الوجوه، مما يساهم في تحسين فعالية وجودة التسيير الجامعي.

الكلمات المفتاحية :التعرف على الوجه، الذكاء الاصطناعي، رؤية الحاسوب، إدارة الحضور، النظام الأكاديمي، الطلاب، الإدارة الجامعية.

Table des matières

Introduction générale	01
Chapitre I : Biométrie et reconnaissance faciale	**02**
I.1 Introduction	03
I.2 Généralités sur la biométrie	03
I.3 Types de biométrie	04
I.3.1 Biométrie physiologique	04
I.3.2 Biométrie comportementale	05
I.3.3 Comparaison	05
I.4 Systèmes biométriques	06
I.5 Gestion des absences en milieu universitaire	07
I.6 Reconnaissance faciale	07
I.6.1 Les approches de reconnaissance faciale	08
I.6.2 Modes de reconnaissance faciale	08
I.6.3 Prétraitement des images faciales	08
I.7 Intelligence artificielle et vision par ordinateur	10
I.8 État de l'art des systèmes existants	11
I.8.1 Plateformes de reconnaissance faciale dans les établissements académiques	12
I.8.2 Analyse des solutions existantes	12
I.9 Étude comparative	13
I.10 Conclusion	13
Chapitre II : Technologies et fondements théoriques du système de reconnaissance faciale	**14**
II.1 Introduction	15
II.2 Machine Learning et Deep Learning	15
II.2.1 Machine Learning	15
II.2.2 Deep Learning	16
II.2.3 Comparaison entre ML vs DL	16
II.3 Réseaux de neurones convolutionnels (CNN)	17
II.3.1 Définition	17
II.3.2 Architecture CNN	17
II.3.3 Rôle dans la reconnaissance faciale	17
II.4 Processus de reconnaissance faciale	18
II.4.1 Définition	18
II.4.2 Pipeline complet	18

II.4.3 Face encoding (embedding)	18
II.4.4 Méthodes de comparaison	19
II.5 Architecture du système Rak Hader	19
II.6 Outils et technologies utilisées	19
II.6.1 Technologies frontend	20
II.6.2 Technologies backend	20
II.6.3 Technologies d'intelligence artificielle	20
II.6.4 Systèmes de gestion de bases de données	21
II.6.5 Communication temps réel	21
II.7 Comparaison des systèmes d'identification	21
II.8 Avantages du système proposé	23
II.9 Limites	23
II.10 Conclusion	23
Chapitre III : Méthodologie et conception du système « RakHader »	**24**
III.1 Introduction	25
III.2 Analyse des besoins	25
III.2.1 Besoins fonctionnels	25
III.2.2 Besoins non fonctionnels	26
III.3 Architecture globale du système	26
III.4 Conception UML	27
III.4.1 Diagramme de cas d'utilisation	27
III.4.2 Diagramme de séquence	31
III.4.3 Diagramme de classes	32
III.4.4 Diagramme d'activité	35
III.5 Base de données	35
III.6 Fonctionnement du système	37
III.7 Technologies utilisées	38
III.7.1 React.js	38
III.7.2 Node.js / Express.js	39
III.7.3 Face-api.js	39
III.7.4 SQLite	39
III.7.5 Socket.io	40
III.8 Conclusion	41
Chapitre IV : Implémentation et Analyse des Résultats	**42**
IV.1 Introduction	43
IV.2 Environnement de développement	43
IV.2.1 Environnement matériel et logiciel	43
IV.2.2 Outils de développement	43
IV.3 Implémentation du système	43

IV.3.1 Architecture implémentée	43
IV.3.2 Module d'authentification	44
IV.3.3 Module de gestion des étudiants	45
IV.3.4 Module de reconnaissance faciale	46
IV.3.5 Module de gestion des présences	47
IV.3.6 Module des statistiques	48
IV.4 Tests et résultats	49
IV.4.1 Tests fonctionnels	49
IV.4.2 Performance du système	49
IV.5 Étude de performance	50
IV.6 Discussion technique	51
IV.7 Conclusion	52
Chapitre V : Étude du projet,Business Model et Perspectives du système « Rak Hader »	**53**
V.1 Introduction	54
V.2 Idée du projet	54
V.3 Problématique et motivation	54
V.4 Valeur ajoutée du projet	55
V.4.1 Valeur organisationnelle	55
V.4.2 Valeur technologique	55
V.4.3 Valeur économique	55
V.4.4 Valeur pédagogique	55
V.5 Objectifs du projet	56
V.5.1 Objectifs généraux	56
V.5.2 Objectifs spécifiques	56
V.6 Analyse du marché	56
V.6.1 Marché potentiel	56
V.6.2 Marché cible	56
V.6.3 Analyse de la concurrence	57
V.7 Business Model (Modèle économique)	57
V.8 Stratégie marketing	58
V.9 Plan de développement et perspectives	59
V.10 Limites du projet	60
V.11 Conclusion	61
Conclusion générale	62
Bibliographie	64
Webographie	65

Table des figures

Figure I.1 : Vue générale d'un système biométrique	04
Figure I.2 : comparaison biométrie physiologique vs comportementale	06
Figure I.3 : Architecture d'un système biométrique	06
Figure I.4 : pipeline de reconnaissance faciale	08
Figure I.5 : Étapes du prétraitement des images faciales	09
Figure I.6 : Pipeline de la vision par ordinateur et du Deep Learning	10
Figure II.1 : Domaine de l'intelligence artificielle	15
Figure II.2 : comparaison Machine Learning et Deep Learning	16
Figure II.3 : architecture d'un CNN	17
Figure II.4 : architecture théorique du système	19
Figure III.1 : Architecture conceptuelle du système Rak Hader	27
Figure III.2 : Diagramme de cas d'utilisation du système « Rak Hader »	30
Figure III.3 : Diagramme de séquence du processus de reconnaissance faciale et d'enregistrement de présence	31
Figure III.4 : Diagramme de classes du système « Rak Hader »	34
Figure III.5 : Diagramme d'activité du processus d'identification et de gestion des présences	35
Figure III.6 : Processus global du système de reconnaissance faciale et de gestion des présences	38
Figure IV.1 : Architecture implémentée du système	44
Figure IV.2 : Interface de connexion (page login)	45
Figure IV.3 : Interface gestion étudiants	46
Figure IV.4 : Interface reconnaissance faciale en temps réel	47
Figure IV.5 : Interface de paramétrage de la séance de présence	47
Figure IV.6 : Interface de prévisualisation et d'impression de la feuille de présence	48
Figure IV.7 : Interface feuille de présence	48
Figure IV.8 : Dashboard statistiques (graphique)	49
Figure V.1: Business Model Canvas du projet « Rak Hader »	58

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Comparaison des systèmes de reconnaissance faciale existants	12
Tableau I.2 : Comparaison des méthodes de gestion de présence	13
Tableau II.1: comparaison Machine Learning vs Deep Learning	16
Tableau II.2 : pipeline de la reconnaissance faciale	17
Tableau III.1 : Besoins fonctionnels du système Rak Hader	26
Tableau III.2 : Description des tables de la base de données	36
Tableau III.3 : Technologies utilisées dans le système « Rak Hader »	40
Tableau IV.1 : Résultats des tests fonctionnels	49
Tableau IV.2 : Résultats de performance	51

Introduction générale

Dans un contexte marqué par la transformation numérique croissante des établissements d'enseignement supérieur, les universités sont amenées à moderniser leurs méthodes de gestion afin d'améliorer l'efficacité des services administratifs et pédagogiques. Parmi ces processus, la gestion de la présence des étudiants constitue une tâche essentielle pour assurer le suivi académique et évaluer l'assiduité.Cependant, les méthodes traditionnelles de pointage, telles que l'appel manuel ou les feuilles d'émargement, présentent plusieurs limites. Elles sont souvent chronophages, perturbent le déroulement du cours et ne garantissent pas une fiabilité totale. En effet, des problèmes tels que le pointage par un camarade ou la fraude de présence peuvent compromettre la crédibilité du système de suivi.Face à ces contraintes, l'automatisation du processus de gestion de présence devient une nécessité. Elle s'inscrit également dans une dynamique globale de transformation digitale des institutions éducatives.Dans ce cadre, les technologies biométriques offrent des solutions innovantes pour l'identification des individus sur la base de caractéristiques physiques uniques. Parmi ces technologies, la reconnaissance faciale occupe une place importante grâce à son caractère non intrusif et sa facilité d'utilisation.La reconnaissance faciale repose sur l'analyse des traits du visage afin d'identifier un individu à partir d'une base de données préenregistrée. Grâce aux progrès récents en intelligence artificielle et en vision par ordinateur, cette technologie connaît aujourd'hui une amélioration significative.Dans ce contexte, ce mémoire propose la conception et la réalisation d'un système intelligent de gestion de présence des étudiants basé sur la reconnaissance faciale.L'objectif principal est d'automatiser le processus de pointage, de réduire les erreurs humaines et d'améliorer le suivi pédagogique des étudiants.Enfin, ce projet s'inscrit également dans une perspective d'innovation pouvant être exploitée dans les établissements universitaires.

Chapitre I
Biométrie et reconnaissance faciale

I.1 Introduction

La biométrie constitue aujourd'hui une discipline scientifique en pleine expansion jouant un rôle fondamental dans les systèmes modernes d'identification et d'authentification des individus. Elle repose sur l'analyse de caractéristiques biologiques ou comportementales propres à chaque personne afin de permettre une identification automatique, fiable et rapide.

Avec l'évolution rapide des technologies de l'information et de la communication et la généralisation des systèmes numériques dans les domaines éducatifs, administratifs et sécuritaires, les méthodes traditionnelles d'authentification telles que les mots de passe, les cartes magnétiques ou les codes PIN montrent aujourd'hui leurs limites en termes de sécurité, de gestion et de fiabilité.

En effet, ces méthodes peuvent être perdues, partagées ou facilement usurpées, ce qui crée un besoin croissant pour des solutions plus robustes. Dans ce contexte, les systèmes biométriques apparaissent comme une alternative efficace puisqu'ils reposent sur des caractéristiques intrinsèques à l'être humain.

Parmi les différentes technologies biométriques existantes, la reconnaissance faciale occupe une place centrale grâce à son caractère non intrusif, sa facilité d'utilisation, sa rapidité de traitement et son intégration dans les systèmes intelligents modernes.

Ce chapitre présente les fondements théoriques de la biométrie, les systèmes biométriques, la reconnaissance faciale, les approches de l'intelligence artificielle utilisées, ainsi qu'une étude des solutions existantes dans le domaine.

I.2 Généralités sur la biométrie

La biométrie peut être définie comme l'ensemble des techniques permettant l'identification ou la vérification de l'identité d'un individu à partir de caractéristiques mesurables, uniques et difficilement falsifiables.

Ces caractéristiques peuvent être :

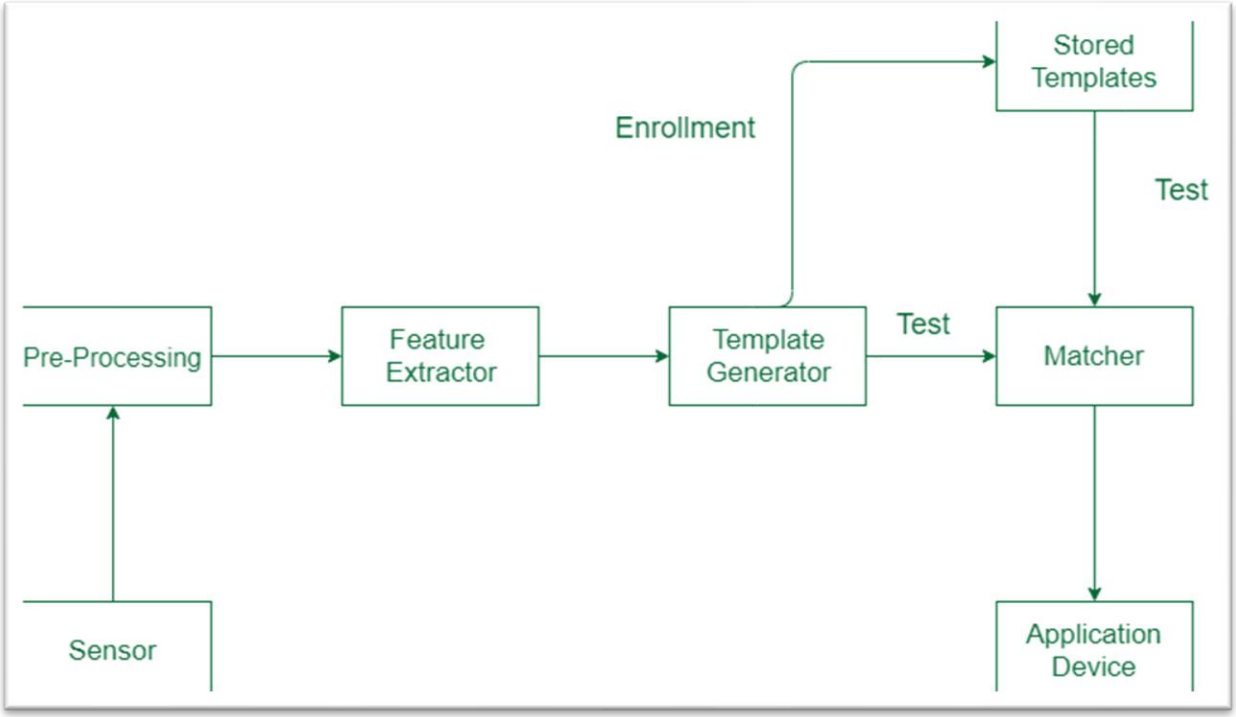
- Physiologiques (visage, empreintes digitales, iris, etc.)
- Comportementales (voix, signature, dynamique de frappe, démarche)

L'intérêt principal de la biométrie réside dans sa capacité à offrir un niveau élevé de sécurité par rapport aux méthodes classiques. Contrairement aux mots de passe ou aux cartes d'accès, les données biométriques sont directement liées à l'individu et ne peuvent pas être facilement oubliées, perdues ou partagées.

Cependant, malgré ses avantages, la biométrie présente certaines limites, notamment :

- Sensibilité aux conditions environnementales (lumière, bruit, angle)
- Variations naturelles des caractéristiques humaines (âge, expressions)
- Besoin de matériel et d'algorithmes performants.

Aujourd'hui, la biométrie est largement utilisée dans plusieurs domaines grâce à son efficacité et à sa fiabilité dans l'identification des individus. Elle est notamment intégrée dans les systèmes de sécurité afin de contrôler l'accès aux bâtiments et aux données sensibles, dans les banques et les services financiers pour renforcer la protection des transactions et l'authentification des utilisateurs, ainsi que dans les smartphones modernes à travers la reconnaissance faciale ou l'empreinte digitale. Elle est également employée dans les systèmes de surveillance pour identifier et suivre des personnes, ainsi que dans les systèmes de gestion académique pour contrôler la présence, l'accès aux services et la gestion des informations des étudiants.



Figyre I.1 : Vue générale d'un système biométrique

I.3 Types de biométrie

I.3.1 Biométrie physiologique

La biométrie physiologique repose sur les caractéristiques physiques propres à chaque individu. Ces caractéristiques sont généralement stables dans le temps et permettent une identification fiable.

Exemples :

- Empreintes digitales
- Reconnaissance faciale
- Iris et rétine

- Géométrie de la main

Avantages :

- Haute précision
- Stabilité dans le temps

Inconvénients :

- Coût matériel parfois élevé
- Sensibilité aux conditions d'acquisition

I.3.2 Biométrie comportementale

La biométrie comportementale repose sur l'analyse des comportements humains.

Examples:

- Voix
- Signature manuscrite
- Démarche
- Dynamique de frappe

Avantages :

- Facile à collecter
- Non intrusif

Inconvénients :

- Variabilité dans le temps
- Moins stable que la biométrie physiologique

I.3.3 Comparaison

La biométrie physiologique est généralement plus fiable et stable, tandis que la biométrie comportementale est plus flexible mais moins constante. Le choix dépend donc de l'application visée et du niveau de sécurité souhaité.

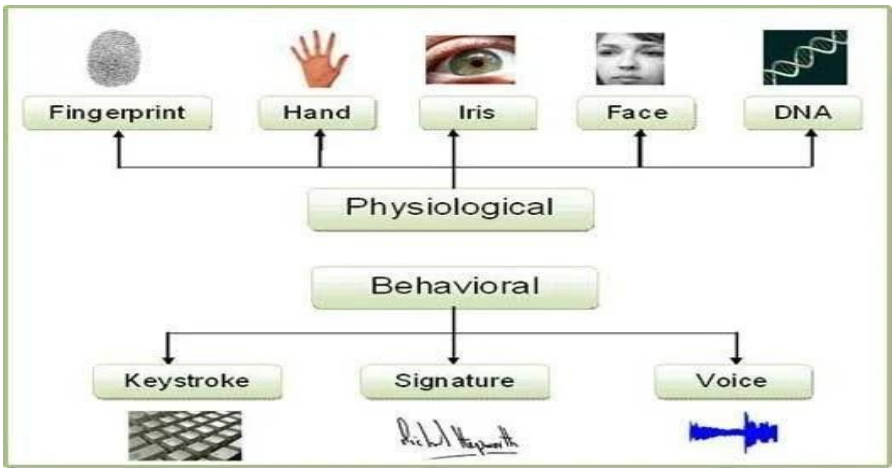


Figure I.2 : comparaison biométrie physiologique vs comportementale

I.4 Systèmes biométriques

Un système biométrique est un système automatique capable de capturer, analyser et comparer des données biométriques afin d'identifier ou de vérifier une personne.

Il fonctionne selon un processus structuré :

1. Acquisition des données
2. Prétraitement
3. Extraction des caractéristiques
4. Génération du modèle (template)
5. Stockage dans la base de données
6. Comparaison
7. Décision finale

Chaque étape joue un rôle crucial dans la performance globale du système.

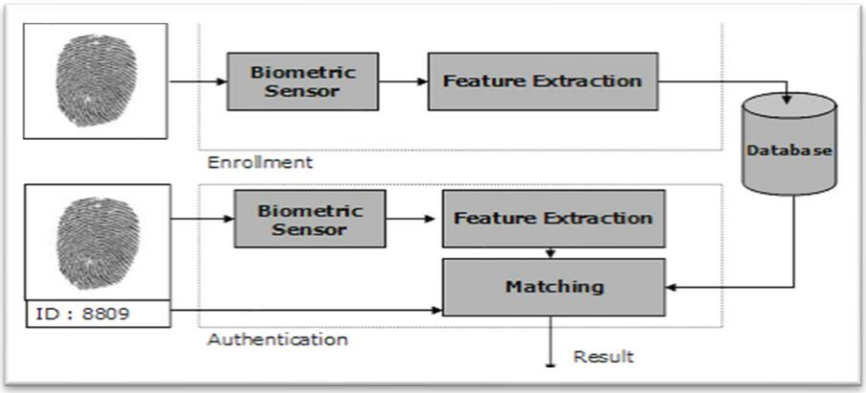


Figure I.3 : Architecture d'un système biométrique

I.5 Gestion des absences en milieu universitaire

La gestion des absences constitue une tâche essentielle dans les établissements universitaires. Elle permet d'assurer le suivi des étudiants, d'évaluer leur assiduité et de garantir le respect du règlement pédagogique.

Traditionnellement, la présence des étudiants est enregistrée manuellement par l'enseignant à l'aide de feuilles de présence papier. Cette méthode présente plusieurs inconvénients tels que la perte de temps, les erreurs humaines et les risques de fraude.

Avec le développement des technologies numériques, plusieurs solutions automatisées ont été proposées telles que les cartes RFID, les codes QR et les systèmes biométriques. Parmi ces solutions, la reconnaissance faciale représente une approche innovante permettant d'automatiser entièrement le processus d'identification et d'enregistrement des présences.

Dans le cadre de notre projet, le système proposé vise à améliorer la gestion académique en enregistrant automatiquement la présence des étudiants à travers l'analyse de leurs visages via une caméra connectée.

I.6 Reconnaissance faciale

La reconnaissance faciale est une technologie basée sur l'intelligence artificielle permettant d'identifier ou de vérifier une personne à partir de son visage.

Le processus comprend plusieurs étapes essentielles :

- Détection du visage dans l'image
- Normalisation des données
- Extraction des caractéristiques faciales
- Transformation en vecteur numérique (embedding)
- Comparaison avec la base de données
- Identification ou rejet

Cette technologie est aujourd'hui largement utilisée dans les systèmes de sécurité et les applications intelligentes.

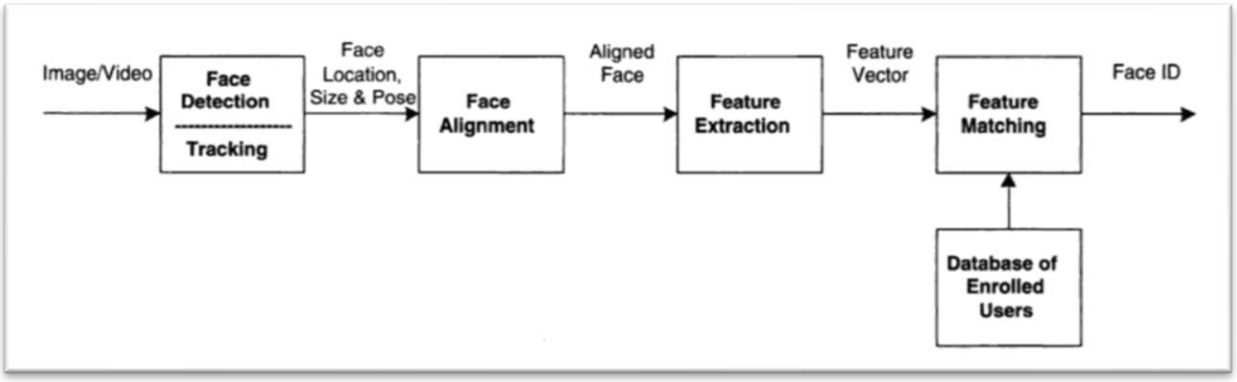


Figure I.4 : pipeline de reconnaissance faciale

I.6.1 Les approches de reconnaissance faciale

Approches globales (Holistiques)

Ces méthodes considèrent le visage comme une structure globale et analysent l'ensemble des pixels de l'image afin d'extraire des caractéristiques représentatives.

Approches locales

Ces méthodes se concentrent sur certaines régions spécifiques du visage telles que les yeux, le nez ou la bouche afin d'obtenir des caractéristiques plus robustes.

Approches hybrides

Les approches hybrides combinent les méthodes globales et locales afin d'améliorer les performances et réduire les erreurs dues aux variations d'éclairage ou de pose**.**

I.6.2 Modes de reconnaissance faciale

- Mode vérification (1:1)
  Le système compare le visage capturé avec une identité déclarée afin de confirmer si la personne est réellement celle qu'elle prétend être.
- Mode identification (1:N)
  Le système compare le visage détecté avec tous les visages enregistrés dans la base de données afin d'identifier automatiquement l'utilisateur.

  Le système proposé dans notre projet fonctionne principalement selon le mode d'identification.

I.6.3 Prétraitement des images faciales

Le prétraitement des images faciales constitue une étape essentielle dans les systèmes de reconnaissance faciale. Son objectif principal est d'améliorer la qualité des images acquises avant leur traitement afin d'augmenter la précision du système et de réduire les erreurs d'identification. En effet, les images capturées peuvent être affectées par

différents facteurs tels que l'éclairage, le bruit, les variations de pose ou encore les différences de qualité des caméras.

Les principales opérations de prétraitement sont les suivantes :

• Conversion en niveaux de gris :

Cette opération consiste à transformer une image couleur en image en niveaux de gris afin de réduire la quantité d'informations à traiter. Elle permet également de simplifier les calculs tout en conservant les caractéristiques essentielles du visage.

• Réduction du bruit :

Les images peuvent contenir des perturbations ou des éléments parasites appelés bruit. Cette étape permet de supprimer ces imperfections afin d'obtenir une image plus claire et plus exploitable.

• Normalisation :

La normalisation consiste à ajuster les valeurs des pixels afin d'obtenir une représentation homogène des images. Cette opération permet de réduire l'impact des variations d'éclairage et d'améliorer la stabilité des performances du système.

• Alignement du visage :

Les visages capturés peuvent présenter différentes orientations ou inclinaisons. L'alignement vise à repositionner les éléments principaux du visage (yeux, nez, bouche) selon une structure standard afin d'assurer une meilleure cohérence entre les images.

• Redimensionnement :

Les systèmes de reconnaissance faciale nécessitent généralement des images de dimensions fixes. Cette opération consiste à ajuster la taille des images afin qu'elles correspondent au format attendu par le modèle utilisé.

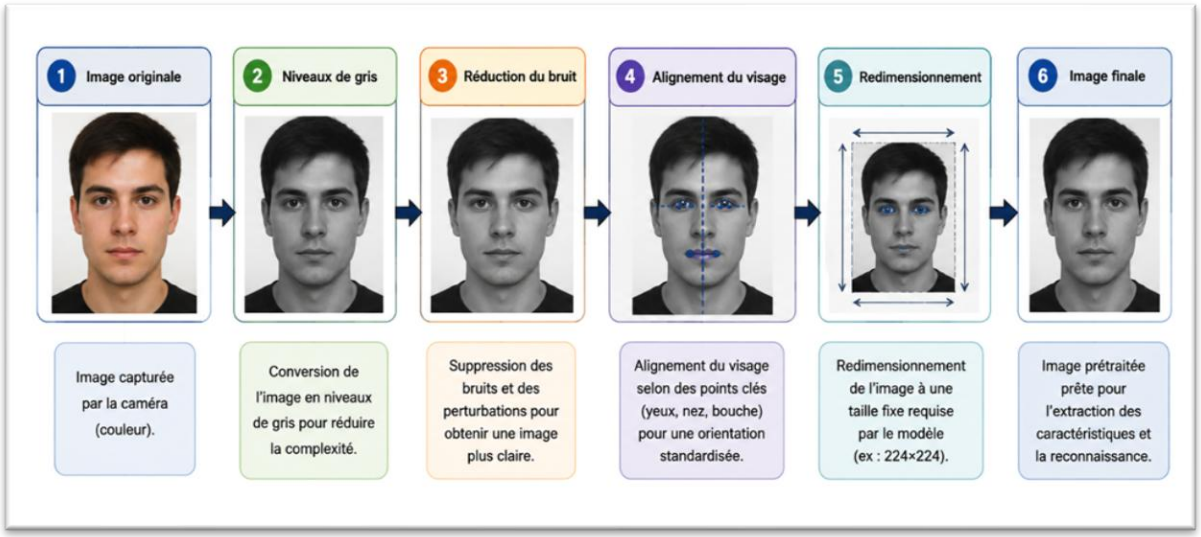


Figure I.5 : Étapes du prétraitement des images faciales

I.7 Intelligence artificielle et vision par ordinateur

L'intelligence artificielle (IA) est un domaine de l'informatique qui vise à concevoir des systèmes capables de reproduire certaines capacités cognitives humaines telles que l'apprentissage, le raisonnement et la prise de décision. Elle constitue aujourd'hui un pilier essentiel des technologies modernes.

La vision par ordinateur est une branche de l'intelligence artificielle qui permet aux machines d'analyser et d'interpréter des images ou des vidéos afin d'en extraire des informations pertinentes. Elle cherche à reproduire la capacité humaine de compréhension visuelle.

Les systèmes de vision par ordinateur reposent généralement sur plusieurs étapes fondamentales, à savoir : l'acquisition de l'image, le prétraitement, la détection des objets ou des visages, l'extraction des caractéristiques et enfin la prise de décision ou l'identification.

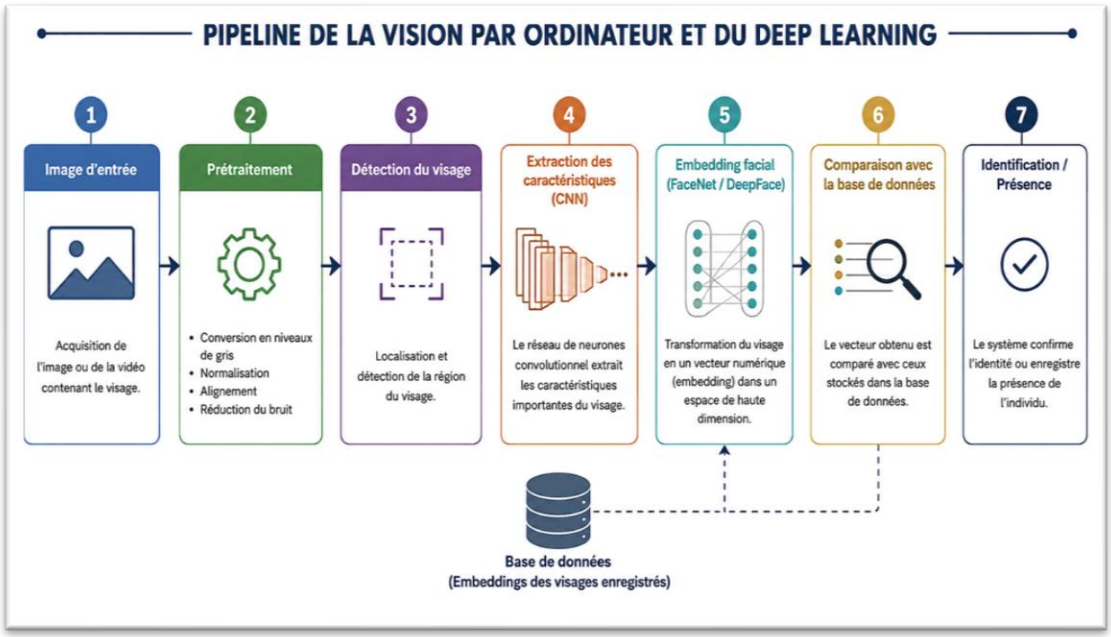


Figure I.6 : Pipeline de la vision par ordinateur et du Deep Learning

Dans ce contexte, le **Deep Learning** a profondément transformé le domaine de la vision par ordinateur. Il s'agit d'une approche basée sur des réseaux de neurones artificiels multicouches capables d'apprendre automatiquement des représentations complexes à partir de grandes quantités de données.

Contrairement aux méthodes traditionnelles qui nécessitent une extraction manuelle des caractéristiques, le Deep Learning permet aux modèles d'apprendre directement à partir des données brutes, ce qui améliore considérablement la précision et la robustesse des systèmes.

Parmi les architectures les plus utilisées, on trouve les réseaux de neurones convolutionnels (CNN), spécialement conçus pour le traitement des images. Ils permettent d'extraire automatiquement des caractéristiques hiérarchiques, allant des simples contours jusqu'aux structures complexes du visage.

En outre, les modèles d'embeddings faciaux tels que FaceNet et DeepFace transforment un visage en un vecteur numérique dans un espace multidimensionnel. Cette représentation facilite la comparaison entre les visages en calculant une distance entre vecteurs, ce qui améliore la performance des systèmes d'identification.

Ces technologies sont largement utilisées dans plusieurs domaines tels que la sécurité, la surveillance intelligente, l'authentification biométrique et les systèmes de gestion de présence automatique.

Ainsi, l'intelligence artificielle, la vision par ordinateur et le Deep Learning constituent la base technologique des systèmes modernes de reconnaissance faciale.

I.8 État de l'art des systèmes existants

Plusieurs systèmes modernes utilisent la reconnaissance faciale avec des performances avancées :

Apple Face ID

Système biométrique basé sur une analyse 3D du visage permettant une authentification sécurisée sur les appareils Apple.

Google Face Recognition

Utilisé dans les services Google, notamment Google Photos, pour la reconnaissance et la classification des visages.

Microsoft Azure Face API

Service cloud basé sur le deep learning permettant la détection et la reconnaissance faciale à grande échelle.

Modèles Deep Learning (FaceNet, DeepFace)

Ces modèles transforment un visage en vecteur numérique (embedding) permettant une comparaison rapide et précise.

Ces systèmes offrent une grande précision mais nécessitent souvent des ressources computationnelles importantes.

Système	Technologie utilisée	Avantages	Inconvénients
Apple Face ID	Reconnaissance faciale 3D + capteurs infrarouges	Très sécurisé, rapide, précis	Matériel spécifique (iPhone uniquement)
Google Photos (Face Recognition)	Intelligence artificielle + Deep Learning	Organisation automatique des images	Non temps réel, dépend du cloud
Microsoft Azure Face API	API cloud basée sur l'IA	Haute précision, scalable	Connexion Internet obligatoire
FaceNet / DeepFace	Réseaux de neurones profonds (CNN)	Très haute précision, embeddings efficaces	Complexité élevée, besoin de ressources
Systèmes universitaires classiques	RFID / QR Code / appel manuel	Simple à implémenter	Risque de fraude, lenteur

Tableau I.1 : Comparaison des systèmes de reconnaissance faciale existants

I.8.1 Plateformes de reconnaissance faciale en Algérie

Dans le domaine académique, plusieurs plateformes de reconnaissance faciale peuvent être utilisées afin d'améliorer la gestion des établissements d'enseignement tels que les universités et les écoles. Ces systèmes sont principalement utilisés pour le contrôle d'accès, l'enregistrement automatique des présences et le suivi des étudiants. Des solutions comme ZKTeco et Anviz offrent des fonctionnalités permettant une identification rapide et sécurisée des utilisateurs grâce aux technologies biométriques. Leur utilisation contribue à réduire les erreurs humaines, limiter les risques de fraude et automatiser les tâches administratives. Ces plateformes participent également à l'amélioration de l'efficacité de la gestion académique tout en facilitant le suivi des étudiants et des enseignants.

I.8.2 Analyse des solutions existantes

L'analyse des solutions existantes permet d'étudier les différents systèmes et plateformes utilisés dans le domaine de la reconnaissance faciale appliquée à la gestion des présences académiques. Cette analyse vise à identifier les fonctionnalités proposées par ces systèmes, leurs avantages ainsi que leurs limites. Les solutions actuelles offrent généralement des fonctionnalités telles que l'identification automatique des étudiants, l'enregistrement des présences en temps réel, le contrôle d'accès et la génération de statistiques. Malgré leurs performances, certaines solutions présentent des limites liées au coût élevé des équipements, à la précision dans des conditions d'éclairage variables, aux problèmes de confidentialité des

données et à la difficulté d'intégration avec certains systèmes académiques existants. Cette analyse permet ainsi de mieux comprendre les besoins du domaine et de justifier le développement d'une solution plus adaptée aux exigences des environnements universitaires modernes.

Cette table présente une comparaison entre les principales solutions de reconnaissance et d'identification utilisées dans les systèmes modernes.

I.9 Étude comparative

Méthode	Avantages	Inconvénients
Appel manuel	Simple	Lent
RFID	Rapide	Perte de cartes
QR Code	Facile	Fraude possible
Empreinte digitale	Précis	Contact physique
Reconnaissance faciale	Automatique	Sensible à la lumière

Tableau I.2 : Comparaison des méthodes de gestion de présence

I.10 Conclusion

Ce chapitre a présenté les notions fondamentales de la biométrie, les systèmes biométriques ainsi que les principes de la reconnaissance faciale et les approches modernes basées sur l'intelligence artificielle.

Cette étude constitue la base théorique du système développé dans ce mémoire, dont l'objectif est d'automatiser la gestion académique et la gestion des présences des étudiants à l'aide de la reconnaissance faciale.

Chapitre II Technologies et fondements théoriques du système de reconnaissance faciale

II.1 Introduction

Les systèmes d'information ont connu ces dernières années une évolution majeure grâce à l'intégration de l'intelligence artificielle dans différents domaines, notamment le traitement d'images et de vidéos. Cette évolution a permis le développement de systèmes capables d'analyser et d'interpréter les images de manière proche de la perception humaine, donnant naissance à des applications avancées telles que la reconnaissance faciale.

Dans les environnements académiques, la gestion des présences constitue une tâche essentielle mais souvent sujette à des contraintes telles que la perte de temps, les erreurs humaines et les risques de fraude. Ces limites justifient le recours à des solutions intelligentes basées sur l'automatisation et l'IA.

Le présent chapitre introduit les fondements théoriques et technologiques du système "Rak Hader", en présentant le machine learning, le deep learning, les réseaux de neurones convolutionnels ainsi que les concepts essentiels de la reconnaissance faciale et de l'architecture du système.

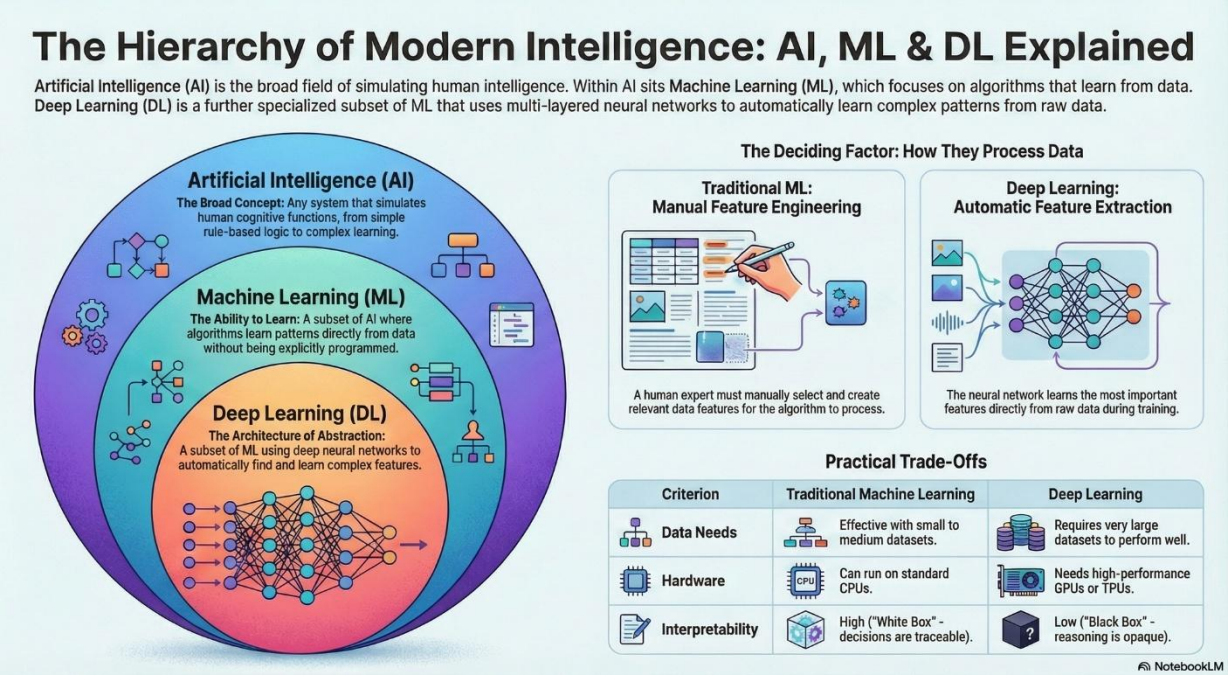


Figure II.1 : Domaine de l'intelligence artificielle (Machine Learning vs Deep Learning)

II.2 Machine Learning et Deep Learning

II.2.1 Machine Learning

Le machine learning est une branche de l'intelligence artificielle permettant aux systèmes d'apprendre à partir des données sans programmation explicite.

Il repose sur l'analyse statistique des données afin de détecter des modèles et effectuer des prédictions.

Applications:

- Classification
- Prédiction
- Clustering

II.2.2 Deep Learning

Le deep learning est une extension du machine learning basée sur des réseaux de neurones profonds.

Il permet de traiter des données complexes comme les images et les vidéos.

Avantage principal : apprentissage automatique des caractéristiques sans intervention humaine

Dans notre projet, la reconnaissance faciale est réalisée à l'aide de la bibliothèque Face-api.js basée sur des modèles de Deep Learning pré-entraînés. Cette bibliothèque permet de détecter les visages, d'extraire les caractéristiques faciales et d'effectuer la comparaison avec les données enregistrées dans la base SQLite afin d'identifier automatiquement les étudiants.

II.2.3 Comparaison entre ML vs DL

Critère	Machine Learning	Deep Learning
Extraction des caractéristiques	manuelle	automatique
Données nécessaires	faibles	très élevées
Performance images	moyenne	très élevée
Complexité	faible	élevée

Tableau II.1 : comparaison Machine Learning vs Deep Learning

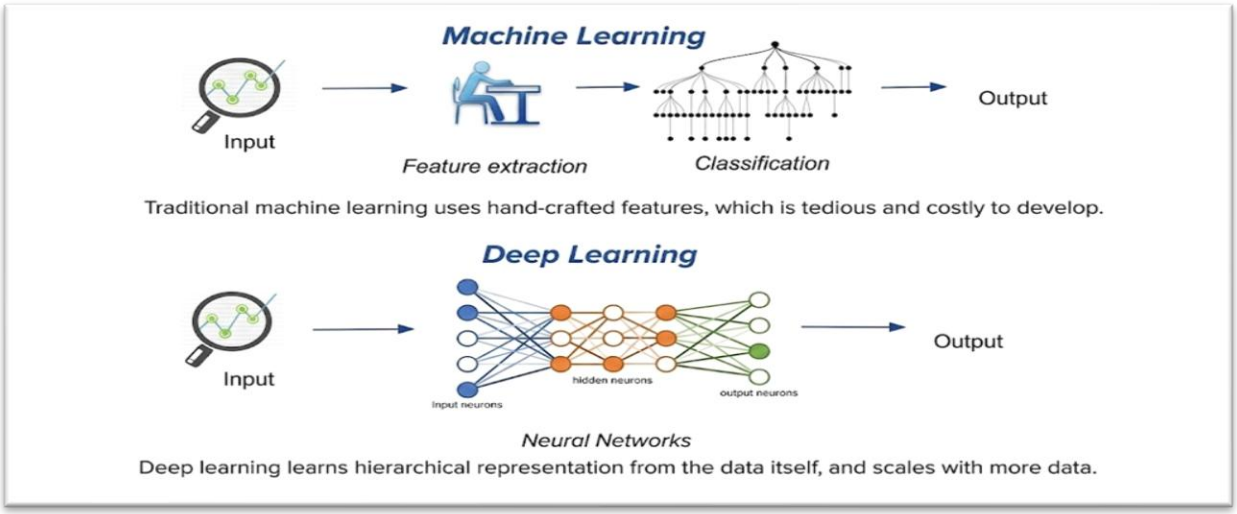


Figure II.2 : comparaison Machine Learning et Deep Learning

II.3 Réseaux de neurones convolutionnels (CNN)

II.3.1 Définition

Les CNN sont des réseaux de neurones spécialisés dans le traitement des images.

II.3.2 Architecture CNN

Un CNN est composé de :

- Convolution Layer
- Activation (ReLU)
- Pooling Layer
- Fully Connected Layer
- Output Layer

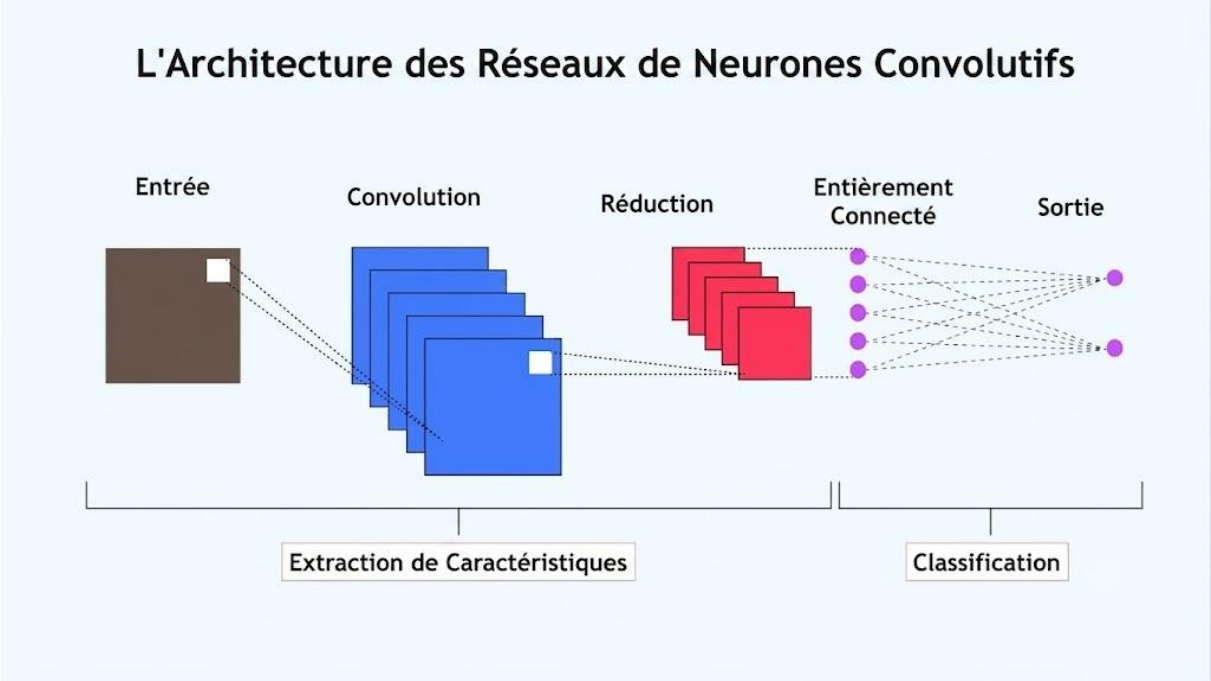


Figure II.3 : architecture d'un CNN

II.3.3 Rôle dans la reconnaissance faciale

Les CNN permettent :

- Extraction des traits du visage
- Réduction du bruit
- Transformation en vecteur numérique (embedding)

II.4 Processus de reconnaissance faciale

II.4.1 Définition

La reconnaissance faciale est une technologie permettant d'identifier une personne à partir de son visage.

II.4.2 Pipeline complet

Le système suit plusieurs étapes successives afin d'assurer une reconnaissance faciale efficace et précise. Il commence par la détection du visage pour localiser la présence d'un visage dans une image, suivie de son alignement afin de corriger son orientation et sa position. Ensuite, une phase de prétraitement est appliquée pour améliorer la qualité de l'image et réduire les éventuels bruits. Après cela, le système procède à l'extraction des caractéristiques importantes du visage, puis réalise le *face encoding*, qui consiste à convertir ces caractéristiques en une représentation numérique unique. Cette représentation est ensuite comparée à celles stockées dans la base de données lors de l'étape de *matching*, avant d'effectuer finalement l'identification de la personne correspondante.

Étape	Description
Détection du visage	Localisation du visage dans l'image globale (création d'une boîte de délimitation).
Alignement	Correction de l'orientation et normalisation de la pose à l'aide de points de repère (yeux, nez, bouche).
Prétraitement	Amélioration de l'image (redimensionnement, ajustement du contraste, de la lumière et réduction du bruit)
Extraction des caractéristiques	Analyse approfondie par Deep Learning pour isoler les traits distinctifs et éliminer les détails inutiles.
Face encoding	Transformation des caractéristiques extraites en un vecteur numérique unique (signature faciale).
Matching	Comparaison mathématique (calcul de distance) du vecteur obtenu avec ceux stockés dans la base de données.
Identification	Reconnaissance finale et validation de l'identité de la personne (Vérification 1:1 ou Identification 1:N).

Tableau II.2 : pipeline de la reconnaissance faciale

II.4.3 Face encoding (embedding)

Chaque visage est transformé en un vecteur numérique :

Exemple : [0.21, -0.44, 0.88, ...]

Ce vecteur représente l'identité unique d'un individu.

II.4.4 Méthodes de comparaison

- Distance Euclidienne
- Similarité Cosinus

Plus la distance est faible → plus les visages sont similaires.

II.5 Architecture du système Rak Hader

Le système suit une architecture client–serveur moderne :

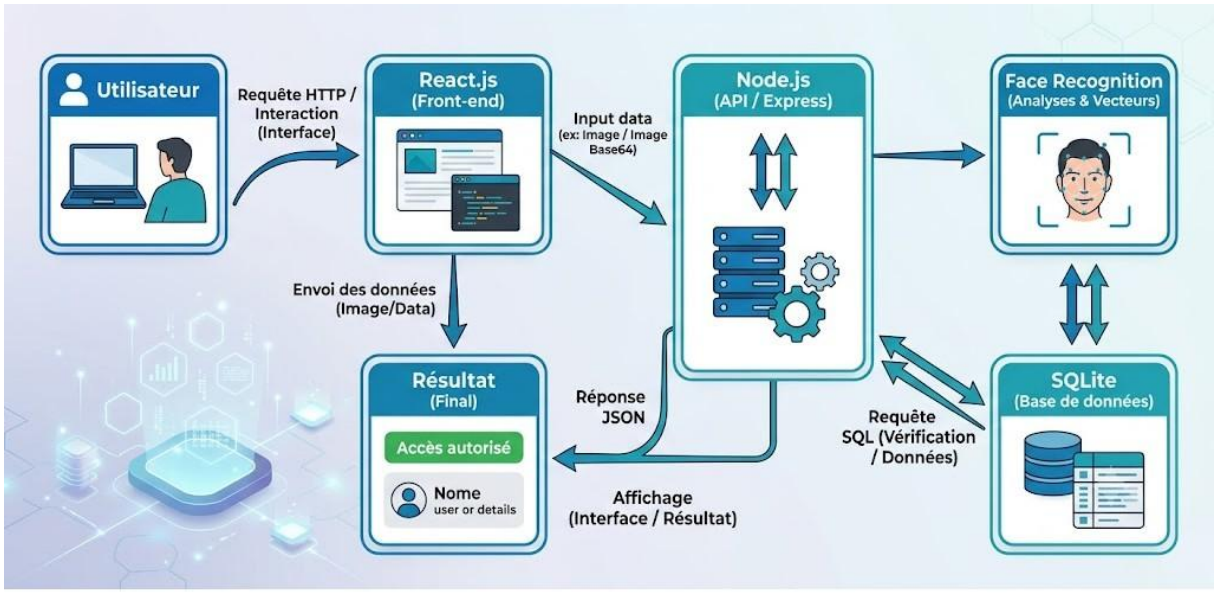


Figure II.4 : architecture théorique du système

Cette figure représente l'architecture globale du système Rak Hader basé sur un modèle client–serveur. Le frontend développé en React communique avec le backend Node.js via des API REST, tandis que le module de reconnaissance faciale traite les données et les stocke dans une base SQLite. La communication en temps réel est assurée par Socket.io.

II.6 Outils et technologies utilisées dans les systèmes de reconnaissance faciale

Les systèmes modernes de reconnaissance faciale reposent sur l'intégration de plusieurs technologies complémentaires permettant d'assurer le traitement des données, la gestion des utilisateurs, le stockage des informations et l'exécution des algorithmes d'intelligence artificielle. Le choix des technologies joue un rôle important dans la performance, la rapidité et l'efficacité globale du système développé.

Dans les applications intelligentes, les architectures actuelles reposent généralement sur une approche client–serveur permettant une séparation entre l'interface utilisateur, les traitements internes et les services d'intelligence artificielle. Cette organisation améliore la flexibilité, la maintenance et l'évolution du système.

II.6.1 Technologies frontend

Les technologies frontend représentent l'ensemble des outils utilisés pour construire l'interface utilisateur d'une application. Elles permettent aux utilisateurs d'interagir avec le système à travers des pages dynamiques et ergonomiques.

Les frameworks modernes offrent plusieurs avantages qui contribuent à améliorer le développement des applications ainsi que l'expérience des utilisateurs. Ils assurent une meilleure réactivité des interfaces, permettant une interaction plus fluide avec l'utilisateur, ainsi qu'une rapidité d'affichage des contenus. Ils favorisent également la réutilisation des composants, ce qui facilite le développement et réduit le temps de travail. De plus, ils améliorent l'expérience utilisateur grâce à des interfaces plus intuitives et performantes, tout en permettant une interaction dynamique avec les données en temps réel.

Ces technologies jouent un rôle essentiel dans les systèmes intelligents nécessitant une visualisation rapide des résultats et une communication fluide avec les utilisateurs.

II.6.2 Technologies backend

Les technologies backend regroupent les outils assurant le traitement logique des données et la gestion des différentes opérations du système. Elles permettent également la communication entre l'interface utilisateur et la base de données.

Le backend assure plusieurs fonctions essentielles au bon fonctionnement d'une application. Il est responsable du traitement des requêtes envoyées par les utilisateurs, de la gestion des utilisateurs et de leurs informations, ainsi que des mécanismes d'authentification garantissant un accès sécurisé au système. Il prend également en charge la gestion des données à travers leur stockage, leur mise à jour et leur récupération, tout en assurant l'exécution des différents services applicatifs nécessaires au fonctionnement global de l'application.

Une architecture backend efficace garantit la rapidité d'exécution et la stabilité du système.

II.6.3 Technologies d'intelligence artificielle

L'intelligence artificielle constitue un élément fondamental dans les systèmes modernes de reconnaissance faciale. Elle permet aux machines d'apprendre automatiquement à partir des données afin d'identifier des modèles complexes.

Les techniques basées sur le Deep Learning utilisent des réseaux de neurones capables d'extraire automatiquement les caractéristiques importantes à partir des images faciales.

Les principaux avantages de ce système incluent une haute précision dans les résultats obtenus ainsi que l'utilisation de l'apprentissage automatique, qui permet au système d'apprendre à partir des données et d'améliorer son fonctionnement au fil du temps. Il contribue également à la réduction des erreurs, s'adapte efficacement aux nouvelles

données et assure une amélioration continue des performances afin d'obtenir des résultats plus fiables et plus performants.

II.6.4 Systèmes de gestion de bases de données

Les bases de données représentent un composant essentiel dans les systèmes informatiques. Elles permettent le stockage, l'organisation et la gestion des informations nécessaires au fonctionnement de l'application.

Dans les systèmes de reconnaissance faciale, les bases de données sont utilisées pour :

• Stocker les profils utilisateurs ;
• Enregistrer les informations biométriques ;
• Conserver les historiques ;
• Gérer les données académiques.

II.6.5 Communication temps réel

Les systèmes modernes nécessitent souvent une transmission instantanée des informations entre les différents composants de l'application. Les technologies de communication temps réel permettent d'échanger les données de manière rapide sans attendre le rechargement des pages.

Cette approche présente plusieurs avantages :

• Synchronisation immédiate ;
• Réduction du temps de réponse ;
• Mise à jour dynamique ;
• Amélioration de l'expérience utilisateur.

II.7 Comparaison des systèmes d'identification

Le choix d'une méthode d'identification constitue une étape essentielle dans la conception d'un système intelligent de gestion des présences. Plusieurs techniques sont actuellement utilisées dans les établissements académiques et les systèmes d'authentification modernes, notamment l'appel manuel, les cartes RFID, les codes QR ainsi que les empreintes digitales. Bien que ces solutions présentent certains avantages, elles possèdent également plusieurs limites pouvant affecter l'efficacité du système.

L'appel manuel représente une méthode simple à mettre en œuvre, mais il nécessite une intervention humaine permanente et consomme un temps important, notamment dans les classes contenant un nombre élevé d'étudiants. Cette méthode reste également sensible aux erreurs humaines et aux oublis.

Les systèmes basés sur les cartes RFID permettent une identification rapide des utilisateurs. Toutefois, ils nécessitent un support matériel supplémentaire et présentent des risques liés à la perte, au prêt ou à la duplication des cartes, ce qui peut entraîner des fraudes dans l'enregistrement des présences.

L'utilisation des codes QR offre également une solution simple et rapide. Cependant, cette technologie peut être vulnérable aux captures d'écran ou au partage de codes entre étudiants, ce qui réduit le niveau de sécurité du système.

L'identification par empreinte digitale fournit un niveau élevé de précision grâce à l'utilisation de caractéristiques biométriques uniques. Néanmoins, cette méthode nécessite un contact physique direct avec le capteur, ce qui peut ralentir le processus d'identification et poser des contraintes d'hygiène ou matérielles.

Par rapport à ces différentes méthodes, la reconnaissance faciale présente plusieurs avantages importants qui justifient son choix dans le cadre de ce projet. Elle permet une identification automatique sans contact physique et sans support externe. De plus, elle réduit considérablement les risques de fraude et offre une meilleure rapidité d'exécution.

Les avancées récentes dans les domaines du Machine Learning et du Deep Learning ont permis d'améliorer significativement les performances des systèmes de reconnaissance faciale. Les modèles modernes sont capables d'extraire automatiquement les caractéristiques distinctives des visages et d'assurer une identification précise même dans des conditions variables.

Les principales raisons ayant motivé le choix de cette méthode reposent sur ses nombreux avantages en matière d'efficacité et de fiabilité. Elle permet une automatisation complète du processus de présence, réduisant ainsi l'intervention manuelle et facilitant la gestion des données. Elle contribue également à la réduction des erreurs humaines tout en assurant une rapidité d'identification élevée. Son fonctionnement sans contact offre une utilisation plus pratique et plus hygiénique. De plus, cette méthode réduit les risques de fraude, s'intègre facilement avec les technologies d'intelligence artificielle et s'adapte efficacement aux environnements académiques modernes ainsi qu'à leurs besoins évolutifs.

Ainsi, la reconnaissance faciale constitue une solution pertinente pour le développement du système « Rak Hader », puisqu'elle permet d'améliorer l'efficacité de la gestion des présences tout en garantissant une meilleure fiabilité et une expérience utilisateur plus fluide.

II.8 Avantages du système proposé

- Automatisation complète
- Fonctionnement en temps réel
- Réduction des erreurs humaines
- Rapidité d'exécution
- Système évolutif
- Adapté aux établissements éducatifs

II.9 Limites

- Sensibilité à l'éclairage
- Variations de pose du visage
- Qualité de la caméra
- Contraintes de confidentialité

II.10 Conclusion

Ce chapitre a présenté les fondements théoriques et technologiques du système "Rak Hader". Les concepts de machine learning, deep learning et réseaux de neurones convolutionnels constituent la base scientifique de la reconnaissance faciale.

L'intégration de ces technologies avec Node.js, React, Face-api.js et Socket.io permet de concevoir un système intelligent, automatisé et adapté aux environnements académiques modernes.

Chapitre III Méthodologie et conception du système « Rak Hader »

III.1 Introduction

Après avoir présenté dans les chapitres précédents les fondements théoriques liés à la biométrie, à la reconnaissance faciale ainsi qu'aux technologies d'intelligence artificielle utilisées dans les systèmes modernes, nous abordons dans ce chapitre l'aspect méthodologique et conceptuel du projet « Rak Hader ».

La réalisation d'un système intelligent de gestion de présence nécessite une étude approfondie des besoins fonctionnels et non fonctionnels afin de concevoir une solution adaptée aux exigences académiques modernes. Dans ce contexte, la méthodologie adoptée vise à définir les différentes composantes du système, les interactions entre les utilisateurs et les traitements internes permettant l'automatisation du processus de présence des étudiants.

Ce chapitre présente l'analyse des besoins, l'architecture générale du système, la conception UML, la conception de la base de données ainsi que le fonctionnement détaillé du système.

III.2 Analyse des besoins

L'analyse des besoins représente une étape essentielle dans le développement d'un système informatique. Elle permet d'identifier les fonctionnalités attendues ainsi que les contraintes techniques nécessaires au bon fonctionnement du projet.

Dans notre système « Rak Hader », deux catégories principales de besoins ont été identifiées :

- Besoins fonctionnels ;
- Besoins non fonctionnels.

III.2.1 Besoins fonctionnels

Les besoins fonctionnels représentent les différents services et fonctionnalités que le système doit fournir afin de répondre aux attentes des utilisateurs et d'assurer son bon fonctionnement. Dans ce cadre, le système doit permettre l'authentification des utilisateurs pour garantir un accès sécurisé, ainsi que la gestion des étudiants à travers l'ajout, la modification et la suppression de leurs informations. Il doit également assurer l'enregistrement des images faciales et la génération des *embeddings* faciaux nécessaires au processus de reconnaissance. En outre, le système doit être capable de détecter automatiquement les visages et d'identifier les étudiants de manière rapide et précise. Il doit aussi permettre l'enregistrement automatique des présences, l'affichage des statistiques et la consultation des listes de présence afin de faciliter le suivi et l'analyse des données. Enfin, le système doit garantir la mise à jour des informations en temps réel afin d'assurer une gestion efficace et continue des données.

Fonction	Description
Authentification	Permet l'accès sécurisé
Gestion étudiants	Ajouter, modifier et supprimer
Reconnaissance faciale	Identifier automatiquement
Gestion présence	Enregistrer les présences
Statistiques	Afficher les résultats

Tableau III.1 : Besoins fonctionnels du système Rak Hader

III.2.2 Besoins non fonctionnels

Les besoins non fonctionnels définissent les contraintes techniques et qualitatives du système.

Le système doit garantir :

• Rapidité d'exécution ;

• Sécurité des données ;

• Facilité d'utilisation ;

• Disponibilité ;

• Evolutivité ;

• Performance en temps réel ;

• Compatibilité avec plusieurs navigateurs.

III.3 Architecture globale du système

Le système « Rak Hader » repose sur une architecture client–serveur moderne permettant une séparation claire entre les composants responsables de l'interface utilisateur, du traitement des données et de la reconnaissance faciale.

L'architecture proposée est composée des éléments suivants :

- Frontend: React.js
- Backend: Node.js / Express.js
- Intelligence artificielle : Face-api.js
- Base de données: SQLite
- Communication temps réel : Socket.io

Le frontend permet aux utilisateurs d'interagir avec le système à travers une interface graphique moderne tandis que le backend assure la logique métier et le traitement des données.

Face-api.js joue un rôle central dans la reconnaissance faciale grâce aux mécanismes de détection des visages et d'extraction des caractéristiques biométriques.

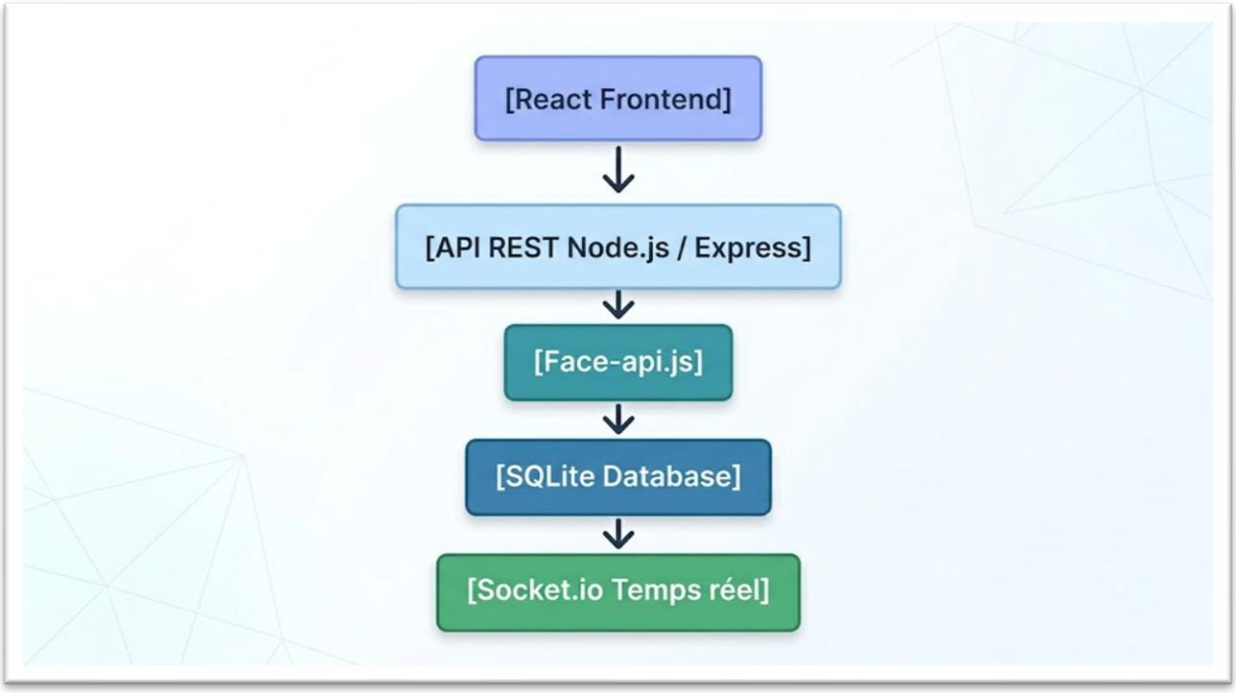


Figure III.1 : Architecture conceptuelle du système Rak Hader

III.4 Conception UML

Le langage UML (Unified Modeling Language) constitue un outil de modélisation permettant de représenter graphiquement les différentes composantes d'un système.

Dans notre projet, plusieurs diagrammes UML sont utilisés :

- Diagramme de cas d'utilisation;
- Diagramme de séquence;
- Diagramme de classes;
- Diagramme d'activité.

III.4.1 Diagramme de cas d'utilisation

Le diagramme de cas d'utilisation (Use Case Diagram) est un outil UML qui permet de représenter de manière graphique les interactions entre les utilisateurs (acteurs) et les fonctionnalités offertes par le système « Rak Hader ».

Dans notre système, ce diagramme est très important car il permet de comprendre **qui fait quoi dans l'application** et comment chaque utilisateur interagit avec le système de gestion de présence basé sur la reconnaissance faciale.

1. Les acteurs du système

Le système « Rak Hader » est composé de trois principaux acteurs :

- **Administrateur**

L'administrateur est le responsable principal du système. Il possède tous les droits de gestion.

Ses rôles sont :

- Gérer les utilisateurs (professeur et étudiants)
- Ajouter, modifier et supprimer les étudiants
- Gérer les matières et les groupes
- Consulter toutes les statistiques globales
- Superviser le système de présence

- **Professeur**

Le professeur utilise le système principalement pour la gestion pédagogique.

Ses fonctions sont :

- Lancer la prise de présence en classe
- Consulter la liste des étudiants présents et absents
- Vérifier les statistiques de présence des étudiants
- Attribuer ou consulter les notes
- Imprimer ou exporter les feuilles de présence

- **Étudiant**

L'étudiant est un utilisateur final du système.

Ses fonctions sont :

- Être identifié automatiquement par reconnaissance faciale
- Consulter ses notes
- Consulter ses absences et présences
- Voir les matières et emplois du temps

2. Les fonctionnalités du système

Le système « Rak Hader » offre plusieurs fonctionnalités principales :

- ✓ **Gestion des étudiants (Admin)**

Permet d'ajouter, modifier ou supprimer un étudiant dans la base de données.

- ✓ **Gestion des matières (Admin)**

Permet de créer et organiser les modules et groupes.

- ✓ **Reconnaissance faciale automatique (IA)**

Permet d'identifier automatiquement les étudiants à partir de leur visage.

- ✓ **Prise de présence (Professeur + IA)**

Le système enregistre automatiquement la présence lors de la détection du visage.

- ✓ **Consultation des absences (Professeur + Étudiant)**

Permet de suivre les absences et statistiques.

- ✓ **Gestion des notes (Professeur + Étudiant)**

Le professeur saisit les notes et l'étudiant peut les consulter.

- ✓ **Génération de statistiques**

Affiche les taux de présence, absence et performance.

3. Relations entre acteurs et système

- L'**administrateur** contrôle entièrement le système
- Le **professeur** interagit avec la présence et les notes
- L'**étudiant** interagit uniquement avec ses informations personnelles
- Le module **IA (Face-api.js)** agit automatiquement dans la reconnaissance sans intervention humaine

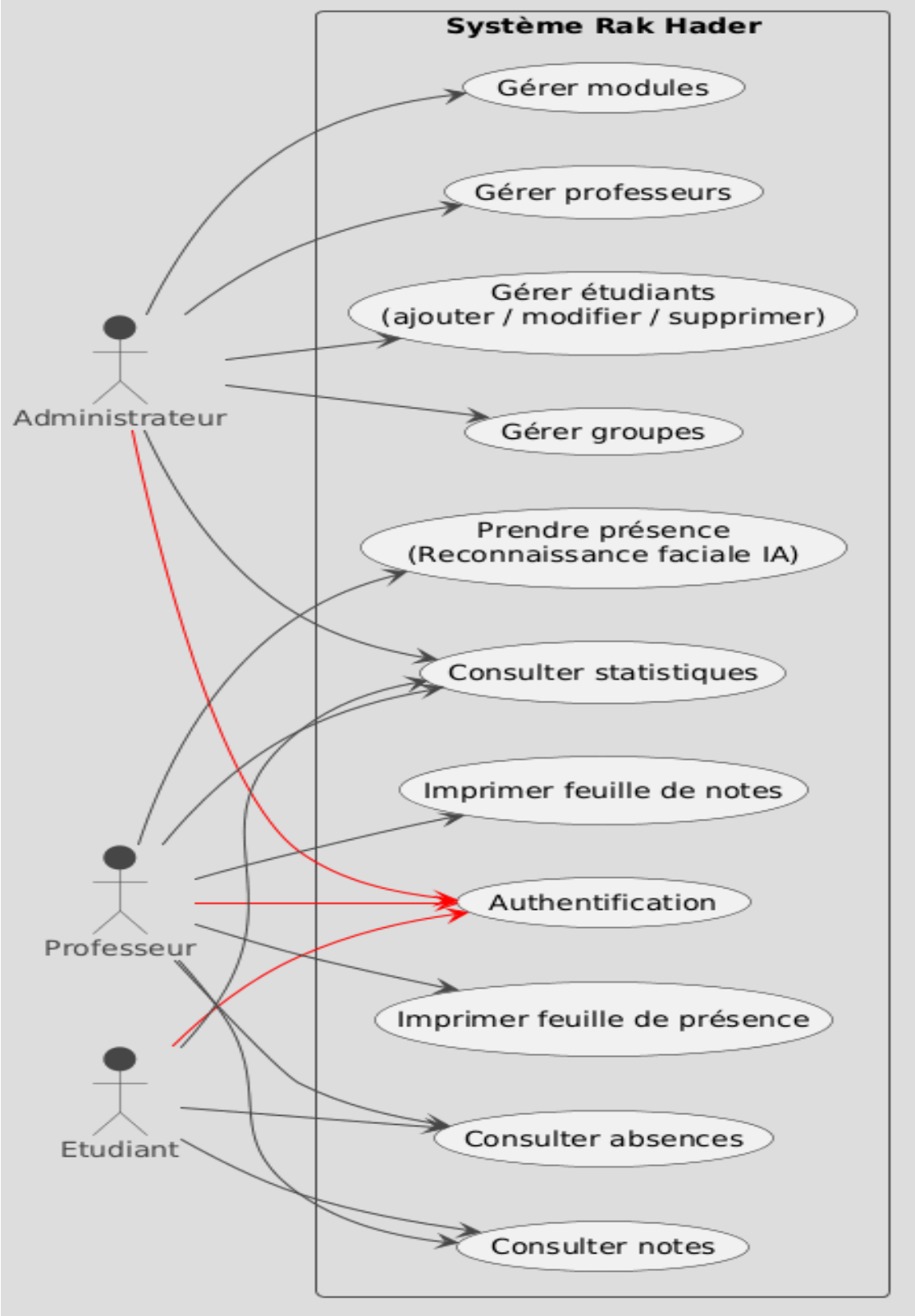


Figure III.2 : Diagramme de cas d'utilisation du système « Rak Hader »

III.4.2 Diagramme de séquence

Un diagramme de séquence est un diagramme d'interaction qui expose en détail la façon dont les opérations sont effectuées : quels messages sont envoyés et quand ils le sont. Les diagrammes de séquences sont organisés en fonction du temps qui s'écoule au fur et à mesure que nous parcourons la page. Les objets impliqués dans l'opération sont répertoriés de gauche à droite en fonction du moment où ils prennent part dans la séquence. Pour l'événement propre à un cas d'utilisation, on va construire des diagrammes de séquences qui représentent un ordre chronologique des messages entre les différents acteurs et le système.

Pour comprendre la dynamique et l'interaction temporelle entre les différents composants du système lors d'une authentification, il est essentiel d'analyser le cycle de vie d'une requête de pointage par reconnaissance faciale. Le processus s'enclenche dès que l'utilisateur se présente devant le matériel, où la **Caméra** capture le flux vidéo initial afin d'isoler une image exploitable. Cette image est immédiatement transmise à la bibliothèque **Face-api.js**, exécutée côté client, qui prend en charge les étapes critiques de détection du visage et d'extraction des caractéristiques uniques (les *features* ou descripteurs faciaux). Une fois ce vecteur numérique généré, une requête HTTP sécurisée est envoyée au **Backend (Serveur Application)**. Ce dernier orchestre la suite des opérations en interrogeant la **Base de données** pour effectuer une comparaison et un appariement avec les profils d'utilisateurs préenregistrés. À la suite de cette vérification, si l'identification est validée, le serveur ordonne l'enregistrement automatique de la présence dans les journaux d'accès. Enfin, un message de retour (succès ou échec) est renvoyé à l'interface pour informer l'utilisateur de la validation de son pointage.

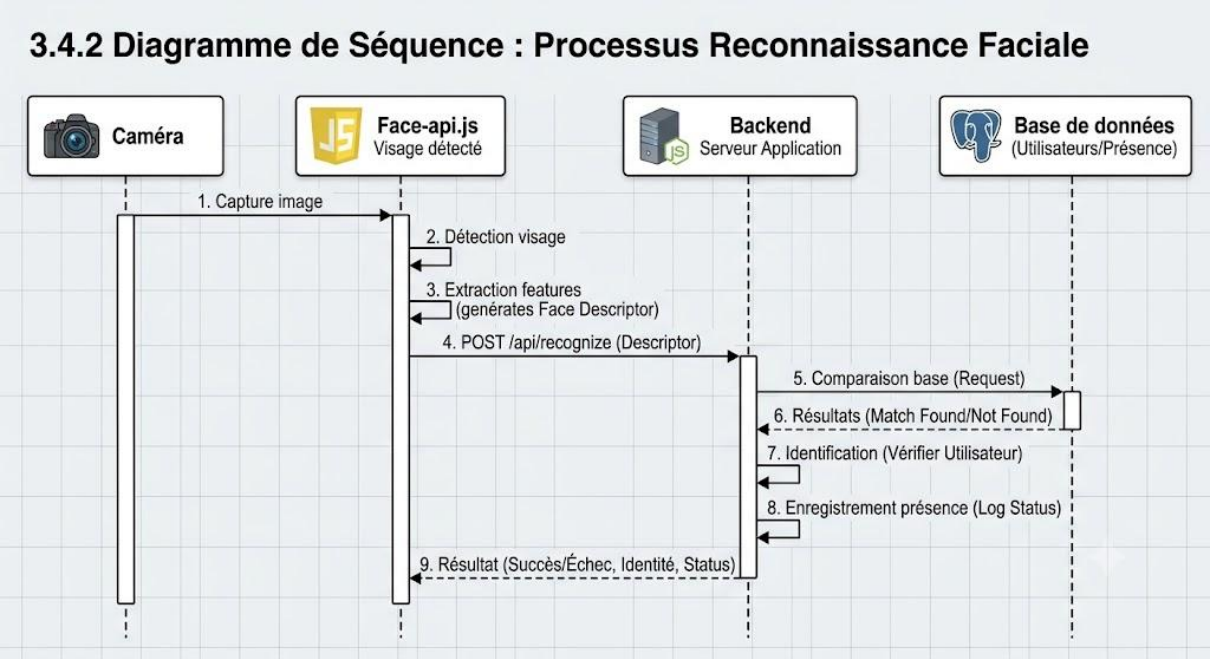


Figure III.3 : Diagramme de séquence du processus de reconnaissance faciale et d'enregistrement de présence

III.4.3 Diagramme de classes

Un diagramme de classes UML décrit les structures d'objets et d'informations utilisées sur notre site web, à la fois en interne et en communication avec ses utilisateurs, Il décrit les informations sans faire référence à une implémentation particulière. Ses classes et relations peuvent être implémentées de nombreuses manières, comme les tables de bases de données, les nœuds XML ou encore les compositions d'objets logiciels. Ils décrivent les types des objets qui composent un système et les différents types de réalisations statiques qui existent eux.

Dans notre système, nous avons défini plusieurs classes principales qui reflètent les besoins fonctionnels identifiés.

Classe mère : Utilisateur

La classe **Utilisateur** représente la classe de base à partir de laquelle héritent les différents types d'utilisateurs du système. Elle regroupe les informations communes nécessaires à l'identification et à la gestion des utilisateurs. Cette classe contient plusieurs attributs essentiels, notamment le **matricule** permettant d'identifier chaque utilisateur de manière unique, le **nom complet**, l'**adresse e-mail** utilisée pour la communication et l'authentification, le **mot de passe** assurant la sécurité d'accès au système, ainsi que le **rôle** qui définit les privilèges et les droits d'accès de chaque utilisateur au sein de l'application.

Classe Admin

La classe **Admin** représente l'administrateur chargé de la gestion globale du système et de son bon fonctionnement. Elle dispose de plusieurs fonctions essentielles permettant d'administrer les différentes composantes de l'application. L'administrateur peut gérer les étudiants à travers l'ajout, la modification et la suppression de leurs informations, ainsi que gérer les professeurs, les modules et les groupes académiques. De plus, il possède la possibilité de consulter les statistiques globales afin d'assurer un suivi efficace des données et du fonctionnement général du système.

Classe Professeur

La classe **Professeur** est responsable de la gestion pédagogique au sein du système. Elle contient plusieurs attributs permettant d'identifier et de décrire le professeur, notamment le **matricule**, le **nom complet** et la **spécialité**. Cette classe offre également plusieurs fonctionnalités importantes telles que la prise de présence des étudiants, la gestion des notes, l'impression des feuilles de présence et des feuilles de notes, ainsi que la consultation des absences et des statistiques des étudiants afin d'assurer un suivi pédagogique efficace.

Classe Étudiant

La classe **Étudiant** représente les étudiants enregistrés dans le système et contient les informations nécessaires à leur identification et à leur suivi académique. Elle comprend plusieurs attributs tels que le **matricule**, le **nom complet**, l'**image** utilisée pour la reconnaissance faciale ainsi que l'**embedding facial**, qui représente une description numérique des caractéristiques du visage. Cette classe offre également différentes fonctionnalités permettant à l'étudiant de consulter ses notes, suivre ses absences et accéder à ses statistiques afin d'assurer un meilleur suivi de son parcours académique.

Classe Module

La classe **Module** représente une matière enseignée au sein d'un groupe donné dans le système académique. Elle contient plusieurs attributs importants tels que le **matricule**, permettant d'identifier le module, le **nom du module** qui désigne la matière enseignée, ainsi que le **coefficient**, utilisé pour définir son importance dans le calcul des évaluations et des résultats académiques. Cette classe joue un rôle essentiel dans l'organisation et la gestion des enseignements au sein du système.

Classe Groupe

La classe **Groupe** représente la classe ou la section à laquelle appartiennent les étudiants au sein du système académique. Elle contient plusieurs attributs tels que le **matricule**, qui permet d'identifier le groupe, le **nom du groupe** ainsi que le **niveau**, indiquant le niveau d'étude correspondant. Cette classe joue un rôle important dans l'organisation des étudiants et facilite leur répartition selon leurs formations et parcours académiques.

Classe Présence

La classe Présence est utilisée pour enregistrer les informations liées à la présence des étudiants au sein du système. Elle comprend plusieurs attributs tels que le matricule, permettant d'identifier l'enregistrement, la date, l'heure ainsi que le statut, qui indique si l'étudiant est présent ou absent. Cette classe joue un rôle essentiel puisqu'elle permet l'enregistrement automatique ou manuel des présences afin d'assurer un suivi précis et efficace de l'assiduité des étudiants.

Classe Note

La classe **Note** est utilisée pour stocker et gérer les évaluations des étudiants au sein du système académique. Elle contient plusieurs attributs essentiels tels que le **matricule**, permettant d'identifier l'enregistrement, la **valeur** représentant la note obtenue par l'étudiant, ainsi que le **type**, qui précise la nature de l'évaluation, notamment **TD**, **TP** ou **Examen**. Cette classe joue un rôle important dans le suivi des performances académiques des étudiants et dans la gestion de leurs résultats scolaires.

Classe Authentification

La classe **Authentification** assure la gestion de la sécurité et du contrôle d'accès au système. Elle regroupe plusieurs fonctions essentielles permettant de garantir un accès sécurisé aux différentes fonctionnalités de l'application. Elle permet notamment le **login utilisateur**, qui assure l'identification des utilisateurs lors de la connexion, la **vérification du rôle** afin de définir les droits et privilèges accordés à chaque utilisateur, ainsi que la **gestion des sessions** permettant de contrôler et maintenir l'accès des utilisateurs pendant leur utilisation du système.

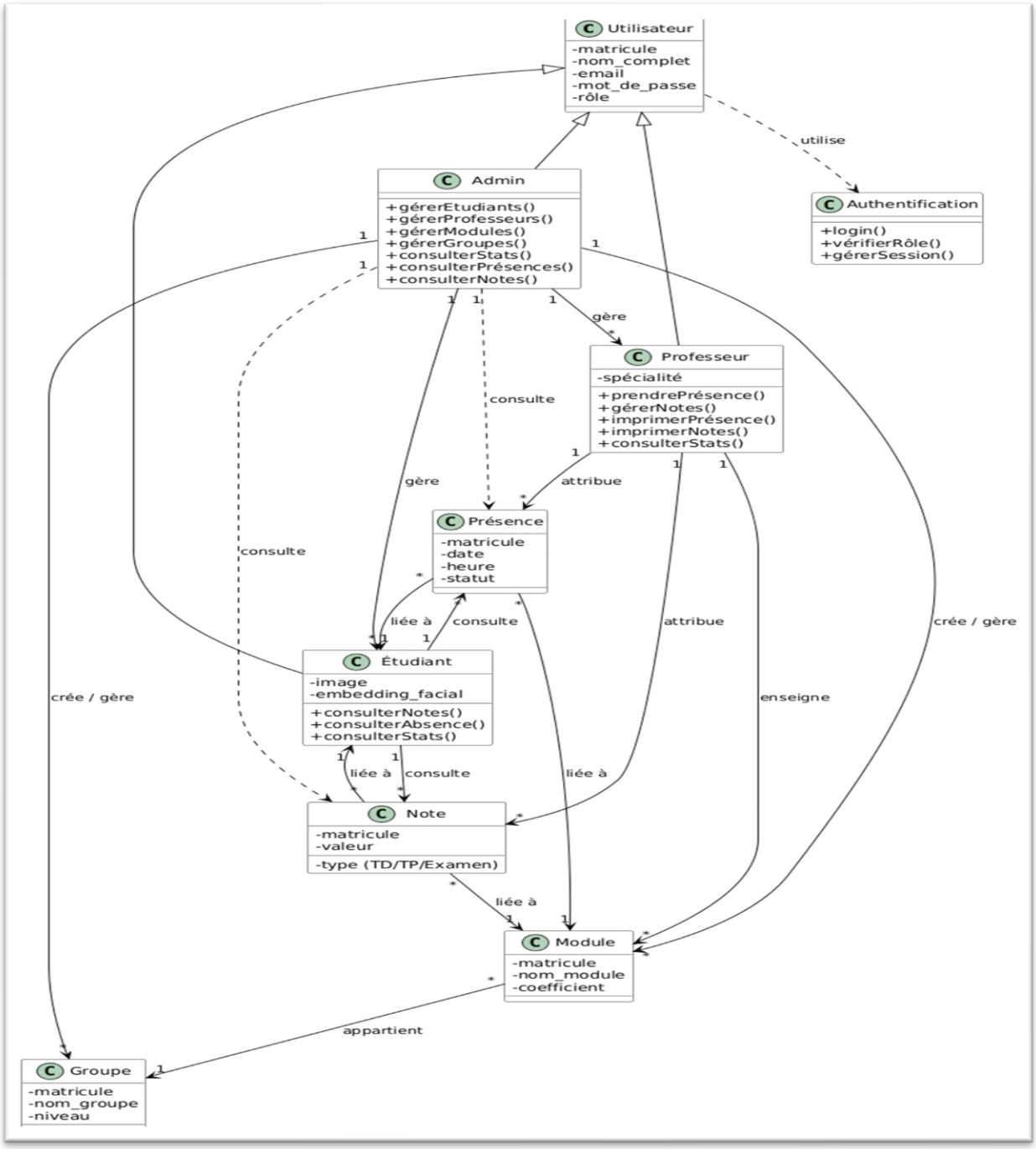


Figure III.4 : Diagramme de classes du système « Rak Hader »

III.4.4 Diagramme d'activité

C'est un diagramme associé à un ensemble d'objets, qui illustre les flux entre les activités et les actions. Il permet de représenter graphiquement le déroulement d'un cas d'utilisation. Diagramme d'activité est utilisé pour : -Modéliser un workflow dans un use case ou entre plusieurs use cases. -Spécifier une opération (décrire la logique d'une opération).

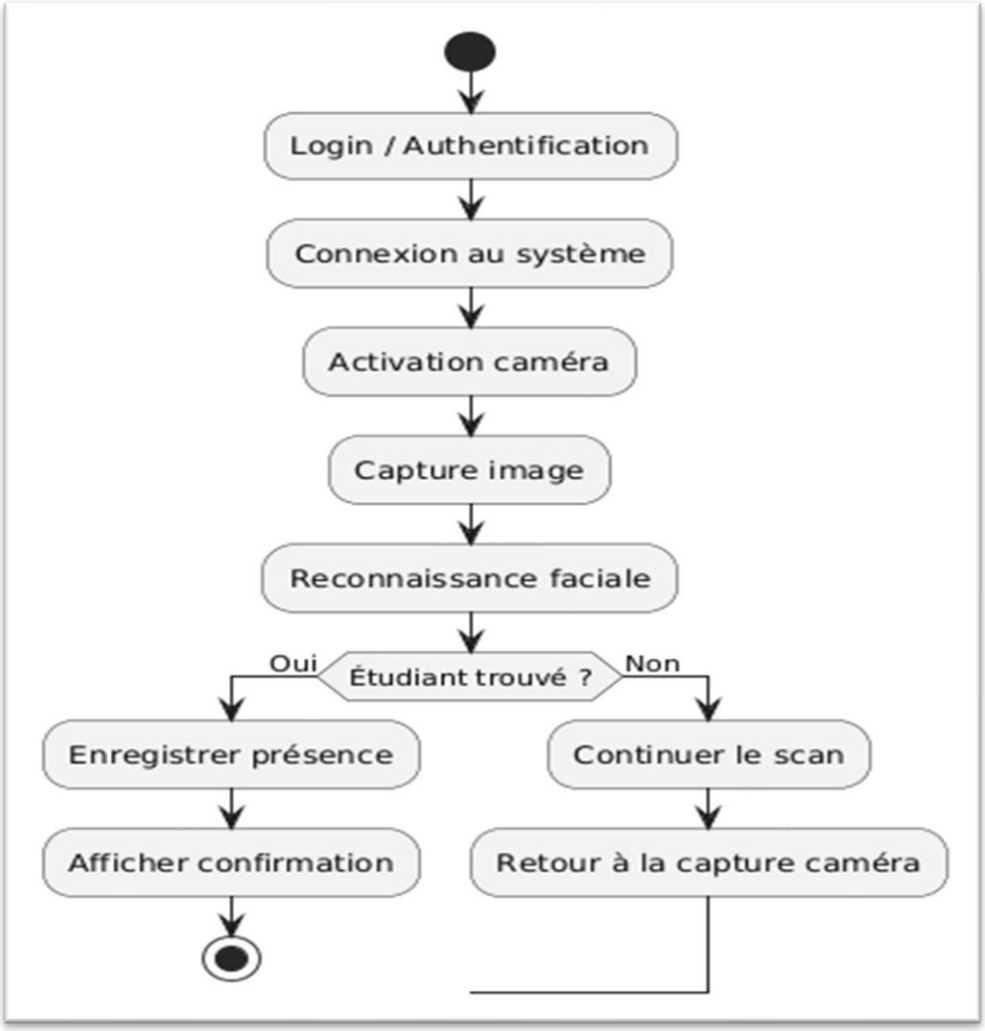


Figure III.5 : Diagramme d'activité du processus d'identification et de gestion des présences

III.5 Base de données

La base de données constitue un élément central du système « Rak Hader ». Elle permet de stocker, organiser et gérer de manière persistante l'ensemble des informations nécessaires au fonctionnement de l'application, notamment les données des utilisateurs, des étudiants, des modules, ainsi que les résultats de la reconnaissance faciale et le suivi des présences.

Dans ce projet, nous avons utilisé SQLite, une base de données adaptée

aux applications locales et aux systèmes embarqués grâce à sa simplicité d'intégration, sa rapidité d'exécution et sa faible consommation de ressources. Elle stocke l'ensemble des données dans un seul fichier, ce qui facilite la portabilité du système.

La base de données du système « Rak Hader » est composée de plusieurs tables interconnectées permettant de couvrir tous les besoins fonctionnels du système.

Tables principales de la base de données

Le système repose sur les tables suivantes :

- Users : contient les informations des utilisateurs du système (administrateur, professeur, etc.) et leurs identifiants de connexion.
- Students : stocke les informations des étudiants (matricule, nom, groupe, etc.).
- Modules : représente les matières enseignées dans le système.
- Groups : contient les groupes d'étudiants.
- Group_modules : table de liaison entre les groupes et les modules.
- Attendance_sessions : représente les séances de cours (date, module, professeur).
- Attendance_records : enregistre les présences des étudiants pour chaque séance.
- Face_encodings : stocke les représentations numériques (embeddings) des visages des étudiants pour la reconnaissance faciale.
- Grades : contient les notes des étudiants (examens, TD, TP).
- SQlite_sequence : table système utilisée par SQLite pour la gestion automatique des identifiants (AUTO INCREMENT).

Table	Description
users	**Gestion des utilisateurs et authentification**
students	**Informations des étudiants**
modules	**Liste des matières**
groups	**Groupes d'étudiants**
group_modules	**Association groupes–modules**
attendance_sessions	**Séances de présence**
attendance_records	**Enregistrement des présences**
face_encodings	**Encodage facial des étudiants**
grades	**Notes et évaluations**
sqlite_sequence	**Gestion interne des identifiants SQLite**

Tableau III.2 : Description des tables de la base de données

III.6 Fonctionnement du système

Le système « Rak Hader » fonctionne selon un ensemble d'étapes successives et automatisées, permettant d'assurer la gestion intelligente des présences à l'aide de la reconnaissance faciale. Chaque étape joue un rôle précis dans le traitement des données et l'identification des étudiants.

1. Authentification

Dans un premier temps, l'utilisateur doit s'authentifier afin d'accéder au système. Cette étape permet de sécuriser l'accès en fonction des rôles définis (administrateur, professeur ou étudiant). Chaque utilisateur dispose d'un identifiant et d'un mot de passe qui sont vérifiés par le système avant d'autoriser l'accès aux fonctionnalités.

2. Enregistrement des étudiants

Une fois connecté, l'administrateur ou le professeur peut ajouter les étudiants dans la base de données. Cette étape consiste à enregistrer les informations personnelles de l'étudiant (nom, matricule, groupe) ainsi que ses données faciales à partir d'images capturées par la caméra.

3. Encodage facial

Après l'acquisition des images, le système procède à l'encodage facial. Cette étape transforme les caractéristiques du visage en une représentation numérique appelée *embedding facial*. Ce vecteur numérique permet de représenter de manière unique chaque visage et facilite les opérations de comparaison.

4. Reconnaissance faciale

Lorsqu'un étudiant se présente devant la caméra, le système détecte automatiquement son visage puis extrait ses caractéristiques. Ces données sont ensuite comparées avec celles stockées dans la base de données afin de déterminer s'il existe une correspondance. Cette étape repose sur des algorithmes de deep learning garantissant une meilleure précision.

5. Enregistrement automatique de la présence

Après l'identification de l'étudiant, le système poursuit automatiquement le traitement des données liées à la séance en cours. Les informations relatives à l'utilisateur identifié sont analysées puis transférées vers la base de données afin d'assurer le suivi académique et la mise à jour des informations nécessaires au fonctionnement du système. En cas d'absence de correspondance, le système continue automatiquement le processus de détection et d'analyse sans interrompre le fonctionnement global de l'application.

Ce fonctionnement permet d'assurer :

- Une automatisation complète du processus de présence,
- Une réduction des erreurs humaines,
- Une rapidité d'exécution en temps réel,
- Une meilleure fiabilité du suivi académique

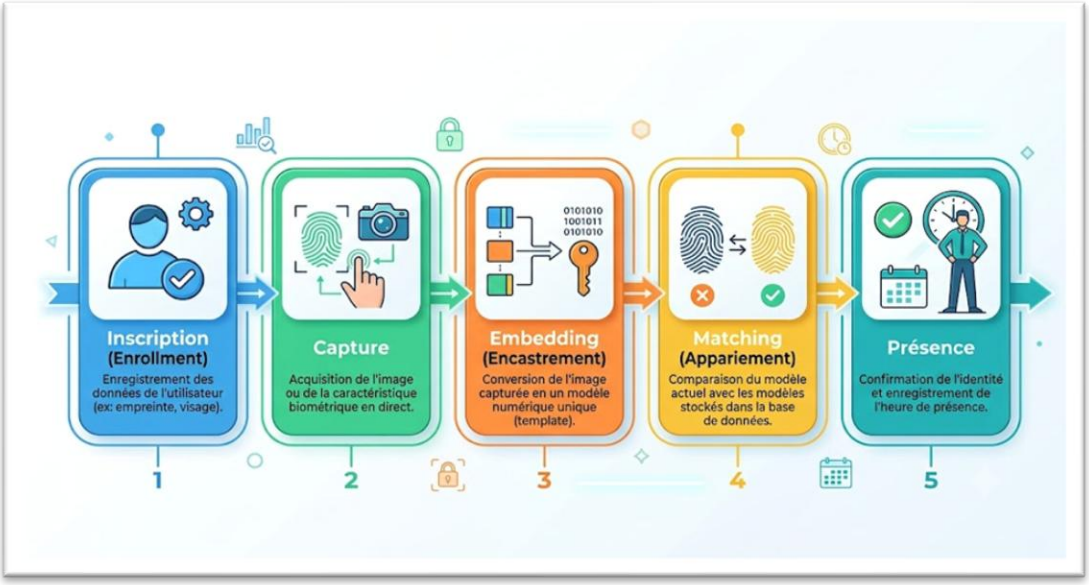


Figure III.6 : Processus global du système de reconnaissance faciale et de gestion des présences

III.7 Technologies utilisées

Le développement du système « Rak Hader » repose sur un ensemble de technologies modernes issues du développement web et de l'intelligence artificielle. Ces technologies ont été choisies pour leur performance, leur simplicité d'intégration et leur capacité à gérer des traitements en temps réel, notamment pour la reconnaissance faciale et la gestion des présences.

III.7.1 React.js

React.js est une bibliothèque JavaScript développée par Meta permettant la création d'interfaces utilisateur modernes, interactives et dynamiques. Elle repose sur une architecture basée sur des composants réutilisables, ce qui facilite l'organisation du code et améliore la maintenance des applications de grande taille. Grâce à son mécanisme de DOM virtuel (Virtual DOM), React optimise les performances en mettant à jour uniquement les éléments modifiés de l'interface au lieu de recharger toute la page.

Dans le cadre du système « Rak Hader », React.js a été choisi pour développer l'interface utilisateur du système. Cette technologie offre une expérience utilisateur fluide et rapide, permettant aux administrateurs, aux enseignants et aux étudiants d'interagir facilement avec les différentes fonctionnalités disponibles. Son architecture modulaire facilite également l'ajout de nouvelles fonctionnalités et l'évolution future du système.

Rôle dans le système :

- Création des interfaces utilisateur ;
- Gestion du tableau de bord ;
- Affichage des statistiques ;
- Gestion des étudiants et des modules ;
- Interaction dynamique avec les utilisateurs.

III.7.2 Node.js / Express.js

Node.js est un environnement d'exécution JavaScript côté serveur basé sur le moteur V8 développé par Google. Il permet l'exécution du code JavaScript en dehors du navigateur et offre une architecture événementielle non bloquante adaptée aux applications nécessitant des traitements simultanés. Cette technologie est largement utilisée pour le développement d'applications web modernes grâce à sa rapidité d'exécution et sa capacité à gérer plusieurs connexions en même temps.

Express.js est un framework construit sur Node.js permettant de simplifier la création d'applications web et d'API REST. Il fournit un ensemble d'outils facilitant la gestion des routes, des requêtes HTTP et de la communication entre les différents composants du système.

Dans notre projet « Rak Hader », Node.js et Express.js ont été utilisés pour développer la partie backend du système. Ils assurent la logique métier, la gestion des utilisateurs, le traitement des données et la communication avec la base de données.

Rôle dans le système :

- Gestion des utilisateurs ;
- Authentification ;
- Gestion des présences ;
- Communication avec la base de données ;
- Traitement des requêtes client–serveur.

III.7.3 Face-api.js

Face-api.js est une bibliothèque JavaScript basée sur TensorFlow.js spécialisée dans les applications de reconnaissance faciale et de vision par ordinateur. Cette bibliothèque fournit un ensemble de modèles pré-entraînés capables de détecter les visages, localiser les points caractéristiques, extraire les caractéristiques faciales et effectuer des opérations d'identification.

Cette technologie constitue l'élément principal du système intelligent proposé car elle permet l'automatisation du processus de reconnaissance faciale. Face-api.js présente plusieurs avantages tels que sa rapidité, sa précision et sa capacité à fonctionner directement dans le navigateur sans exiger de matériel spécialisé.

Dans le système « Rak Hader », cette technologie permet l'identification automatique des étudiants à partir des images capturées par la caméra afin d'assurer un suivi intelligent des présences.

Fonctionnalités principales :

- Détection automatique des visages ;
- Extraction des points caractéristiques ;
- Génération des embeddings ;
- Comparaison des visages ;
- Identification des étudiants.

III.7.4 SQLite

SQLite est un système de gestion de bases de données relationnelles léger, intégré et sans serveur. Contrairement aux systèmes traditionnels de bases de données, SQLite stocke l'ensemble des informations dans un fichier unique, ce qui facilite son installation et son intégration dans les applications locales.

Cette solution est reconnue pour sa simplicité d'utilisation, sa faible consommation de ressources et ses performances élevées pour les applications de petite et moyenne taille. Elle ne nécessite pas de configuration complexe ni de serveur dédié.
Dans le cadre du système « Rak Hader », SQLite est utilisée pour assurer le stockage et l'organisation des informations relatives aux utilisateurs, aux étudiants, aux présences et aux données biométriques.
Rôle dans le système :
• Stockage des utilisateurs ;
• Gestion des étudiants ;
• Enregistrement des présences ;
• Stockage des embeddings faciaux ;
• Gestion des notes académiques.

III.7.5 Socket.io

Socket.io est une bibliothèque permettant une communication bidirectionnelle en temps réel entre le serveur et les clients connectés. Cette technologie est particulièrement adaptée aux applications nécessitant des échanges rapides et continus de données.
Contrairement aux méthodes classiques basées sur des requêtes répétitives, Socket.io permet un échange instantané des informations sans rechargement des pages. Cette approche améliore considérablement les performances et l'expérience utilisateur.
Dans le système « Rak Hader », Socket.io est utilisé pour assurer la synchronisation immédiate des données entre les utilisateurs et le serveur, permettant ainsi une mise à jour dynamique des informations relatives aux présences et aux statistiques.
Rôle dans le système :
• Mise à jour des données en temps réel ;
• Synchronisation des utilisateurs ;
• Notifications instantanées ;
• Affichage dynamique des statistiques

Technologie	Rôle
React.js	Frontend
Node.js	Backend
Express	API
Face-api.js	IA
SQLite	Base de données
Socket.io	Temps réel

Tableau III.3 : Technologies utilisées dans le système « Rak Hader »

III.8 Conclusion

Ce chapitre a présenté en détail la phase de conception et de méthodologie du système intelligent « Rak Hader ». Il a permis de définir de manière structurée les différents éléments nécessaires à la réalisation du projet, en commençant par l'analyse des besoins fonctionnels et non fonctionnels, qui constituent la base de toute solution logicielle fiable et adaptée aux exigences du domaine académique.
Ensuite, nous avons présenté l'architecture globale du système, basée sur une approche client–serveur moderne intégrant des technologies web et d'intelligence artificielle. Cette architecture assure une séparation claire entre les différentes couches du système, notamment l'interface utilisateur, le traitement des données et le module de reconnaissance faciale.

Par la suite, la modélisation UML a permis de représenter graphiquement le fonctionnement du système à travers plusieurs diagrammes (cas d'utilisation, classes, activité), facilitant ainsi la compréhension des interactions entre les différents acteurs et composants du système. Cette étape est essentielle pour garantir une bonne organisation et une meilleure lisibilité du projet avant son implémentation.

Nous avons également présenté la conception de la base de données, qui joue un rôle central dans le stockage et la gestion des informations relatives aux utilisateurs, aux étudiants, aux présences, aux notes et aux modules. Cette base repose sur SQLite, une solution légère et efficace adaptée aux applications locales et aux systèmes embarqués.

Enfin, les technologies utilisées ont été décrites afin de justifier les choix techniques effectués, notamment React.js pour le frontend, Node.js/Express pour le backend, Face-api.js pour la reconnaissance faciale, SQLite pour la gestion des données et Socket.io pour la communication en temps réel.

Ainsi, ce chapitre constitue une étape fondamentale dans la réalisation du système « Rak Hader », car il permet de passer d'une étude théorique à une conception concrète et structurée. Le chapitre suivant sera consacré à l'implémentation du système ainsi qu'aux tests et aux résultats obtenus, afin d'évaluer les performances et l'efficacité de la solution proposée.

Chapitre IV Implémentation et Analyse des Résultats

IV.1 Introduction

Après avoir présenté dans le chapitre précédent la conception globale du système « Rak Hader », incluant l'architecture, la modélisation UML et la base de données, ce chapitre est consacré à la phase d'implémentation et d'évaluation du système.
Cette étape représente une phase cruciale du projet, puisqu'elle permet de transformer la conception théorique en une application concrète fonctionnelle. L'objectif principal est de vérifier que le système répond correctement aux besoins définis, notamment en matière de reconnaissance faciale, de gestion des présences et de traitement en temps réel.

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'environnement de développement, les interfaces réalisées, les tests effectués ainsi que les résultats obtenus lors de l'exécution du système « Rak Hader ».

IV.2 Environnement de développement

IV.2.1 Environnement matériel et logiciel

Le développement du système a été réalisé dans un environnement moderne combinant plusieurs technologies :

- Processeur : Intel Core i5 (11^{e} génération)
- Mémoire RAM : 8 Go
- Stockage : SSD 512 Go
- Système d'exploitation : Windows 11 Professionnel
- Navigateur : Google Chrome
- Caméra : Webcam intégrée HD utilisée pour la capture faciale

IV.2.2 Outils de développement

Les outils utilisés sont :

- Visual Studio Code : éditeur principal de code
- Node.js : exécution backend
- React.js : développement frontend
- SQLite : base de données locale
- Face-api.js : reconnaissance faciale
- Postman : test des API

IV.3 Implémentation du système

IV.3.1 Architecture implémentée

Le système « Rak Hader » est basé sur une architecture client–serveur :

- Frontend : React.js (interface utilisateur)
- Backend : Node.js / Express.js (API REST)
- IA : Face-api.js (reconnaissance faciale)
- Base de données : SQLite
- Communication temps réel : Socket.io

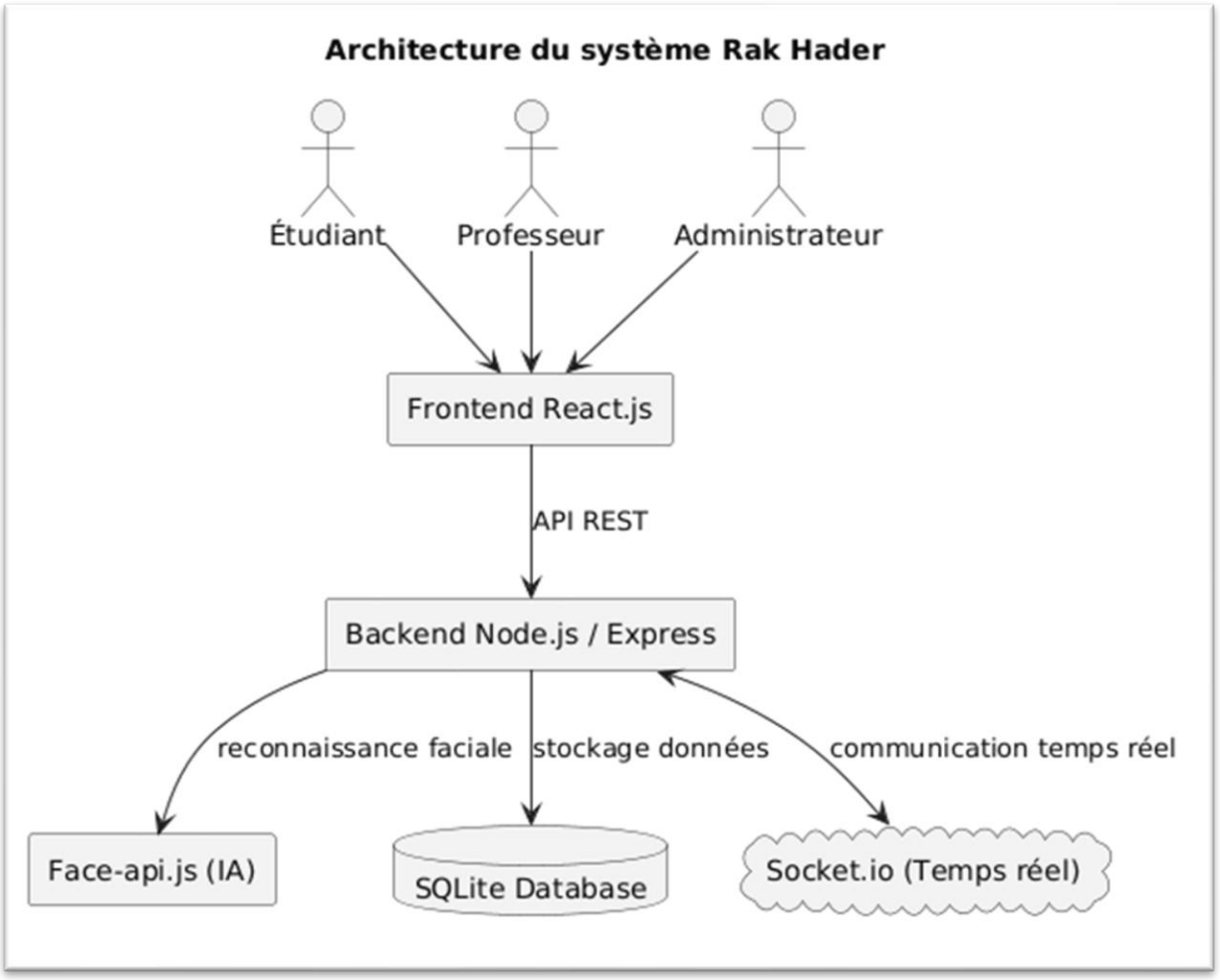


Figure IV.1 : Architecture implémentée du système

IV.3.2 Module d'authentification

Ce module permet la connexion des utilisateurs selon leur rôle :

- Administrateur
- Professeur
- Étudiant

Cette interface représente la page d'authentification du système. Elle constitue le point d'accès principal à l'application et permet aux utilisateurs de se connecter en utilisant leurs identifiants personnels. Le système contrôle les informations saisies afin de garantir un accès sécurisé selon le rôle de chaque utilisateur (administrateur, enseignant ou étudiant).

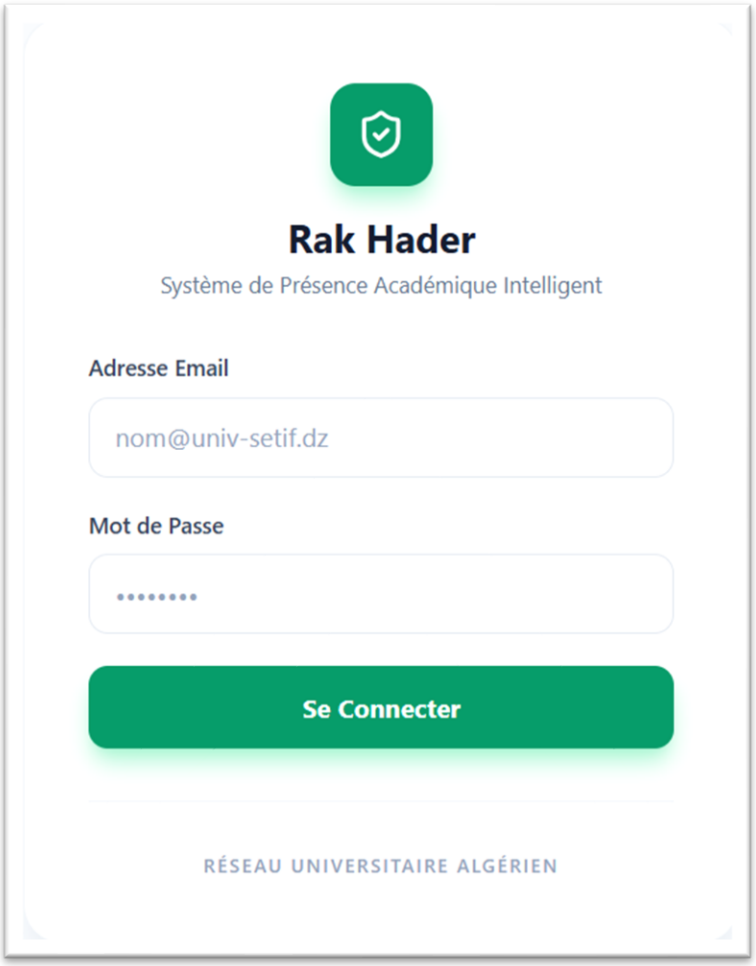


Figure IV.2 : Interface de connexion (page login)

La figure IV.2 présente l'interface de connexion développée dans notre application. Cette interface permet de vérifier l'identité de l'utilisateur avant l'accès au système. Après validation des informations saisies, l'utilisateur est automatiquement redirigé vers l'espace correspondant à son profil.

IV.3.3 Module de gestion des étudiants

Ce module permet à l'administrateur de :

- Ajouter un étudiant
- Modifier les informations
- Supprimer un étudiant
- Enregistrer les images facials

Cette interface est dédiée à la gestion des étudiants enregistrés dans le système. Elle permet d'ajouter, modifier ou supprimer les informations relatives aux étudiants.

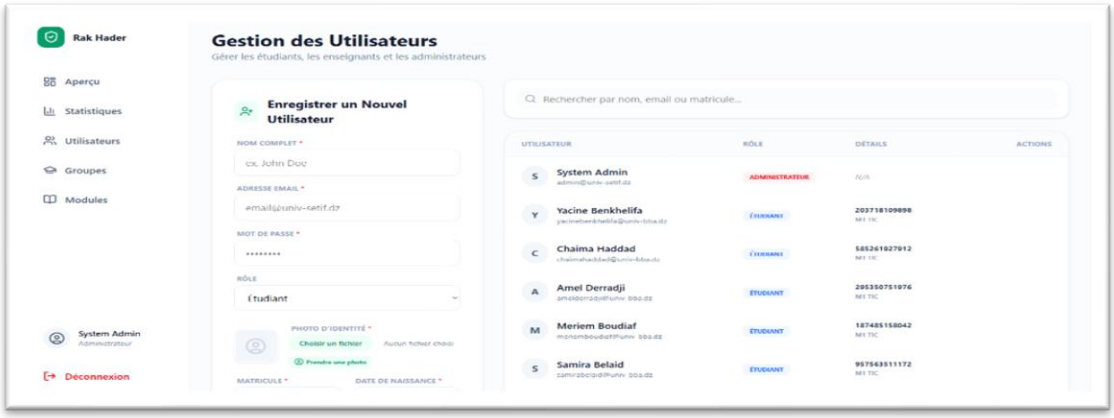


Figure IV.3 : Interface gestion étudiants

La figure IV.X montre l'interface de gestion des étudiants. L'administrateur peut consulter les données personnelles des étudiants telles que le nom, le matricule, le groupe et les informations académiques. Cette fonctionnalité simplifie la gestion des données étudiantes.

IV.3.4 Module de reconnaissance faciale

Ce module constitue le cœur du système. Il fonctionne en temps réel via la caméra.

Étapes:

1. Capture de l'image
2. Détection du visage
3. Extraction des embeddings
4. Comparaison avec la base de données
5. Validation de l'identité
6. Enregistrement automatique de la presence

Cette fonctionnalité représente l'élément principal de notre système intelligent. Elle permet d'utiliser une caméra afin de détecter et reconnaître automatiquement les visages des étudiants.

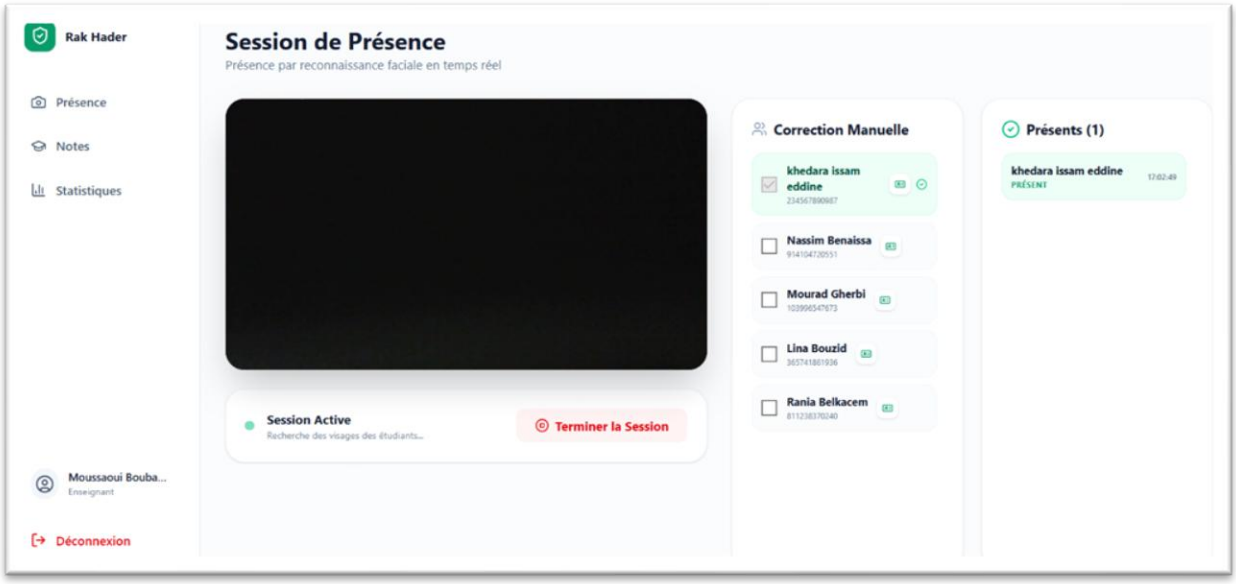


Figure IV.4 : Interface reconnaissance faciale en temps réel

La figure IV.X présente l'interface de reconnaissance faciale utilisée dans notre système. Après la détection du visage, le système extrait les caractéristiques biométriques puis les compare aux données enregistrées dans la base de données afin d'identifier automatiquement l'étudiant et enregistrer sa présence.

IV.3.5 Module de gestion des présences

Le professeur peut :

- Consulter la liste des présences
- Exporter les données
- Imprimer la feuille de présence

Le système permet la création de sessions de présence associées à un module et à un groupe spécifique afin de gérer automatiquement les présences des étudiants.

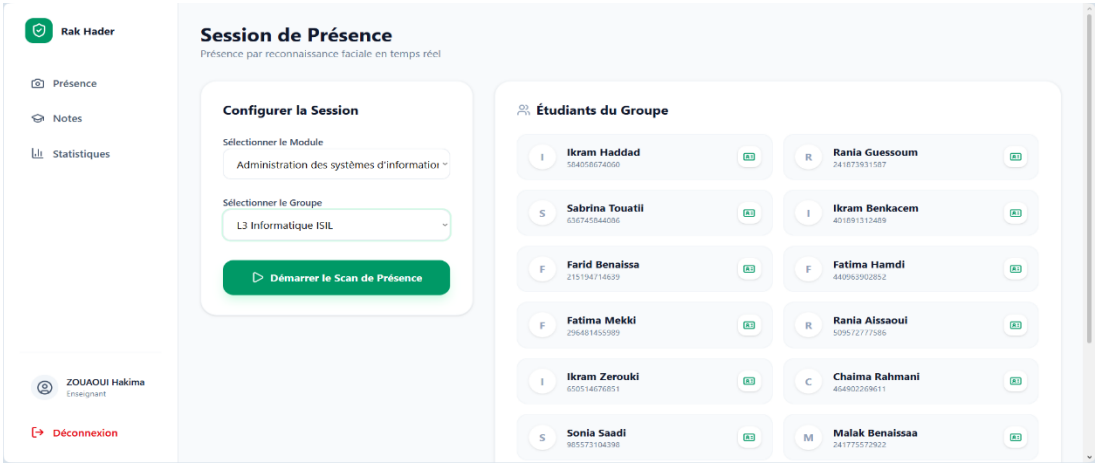


Figure IV.5 : Interface de paramétrage de la séance de présence

La figure IV.5 montre l'interface des sessions de présence. L'utilisateur peut créer une nouvelle session puis suivre en temps réel les étudiants présents grâce aux données enregistrées automatiquement.

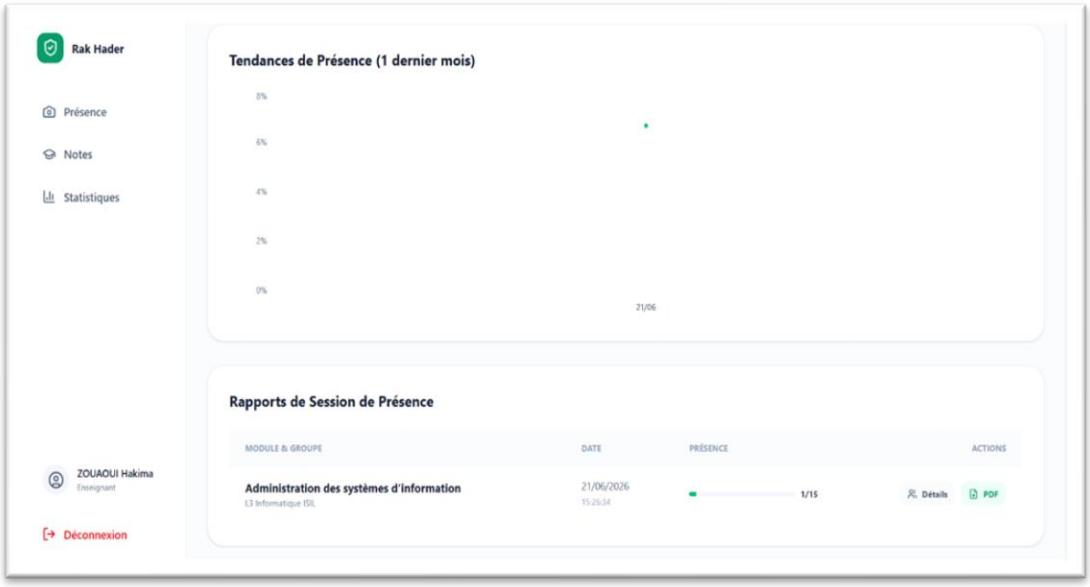


Figure IV.6 : Interface de prévisualisation et d'impression de la feuille de présence

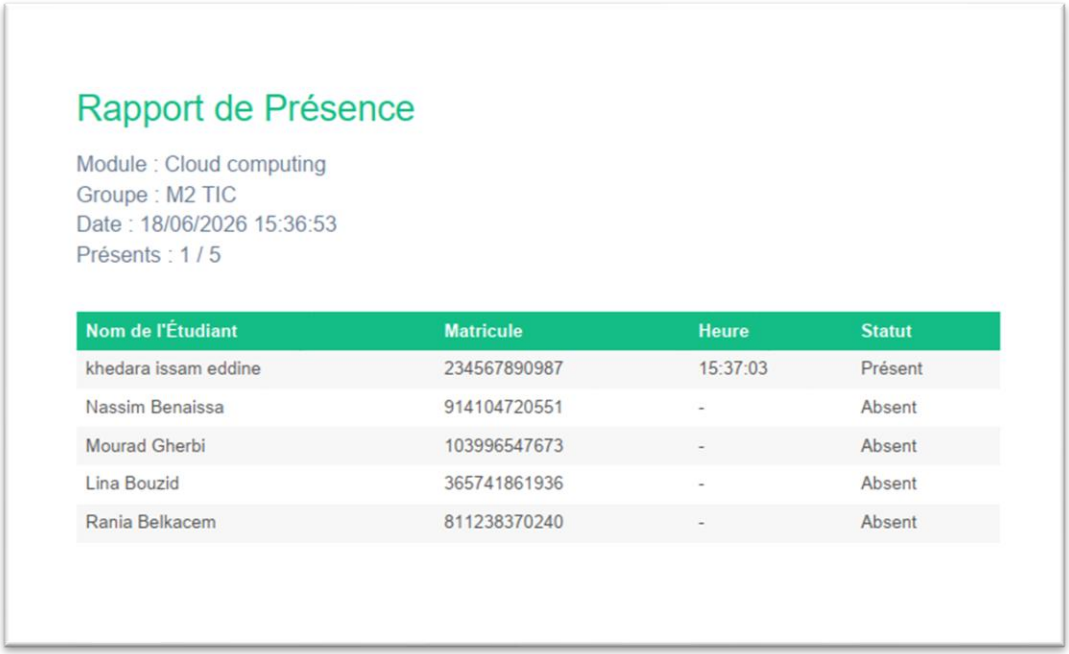


Figure IV.7 : Interface feuille de présence

IV.3.6 Module des statistiques

Ce module permet de visualiser :

- Taux de présence
- Taux d'absence

- Statistiques par module
- Statistiques par groupe

Cette interface permet de visualiser les indicateurs statistiques liés à la présence des étudiants afin de faciliter l'analyse des performances académiques.

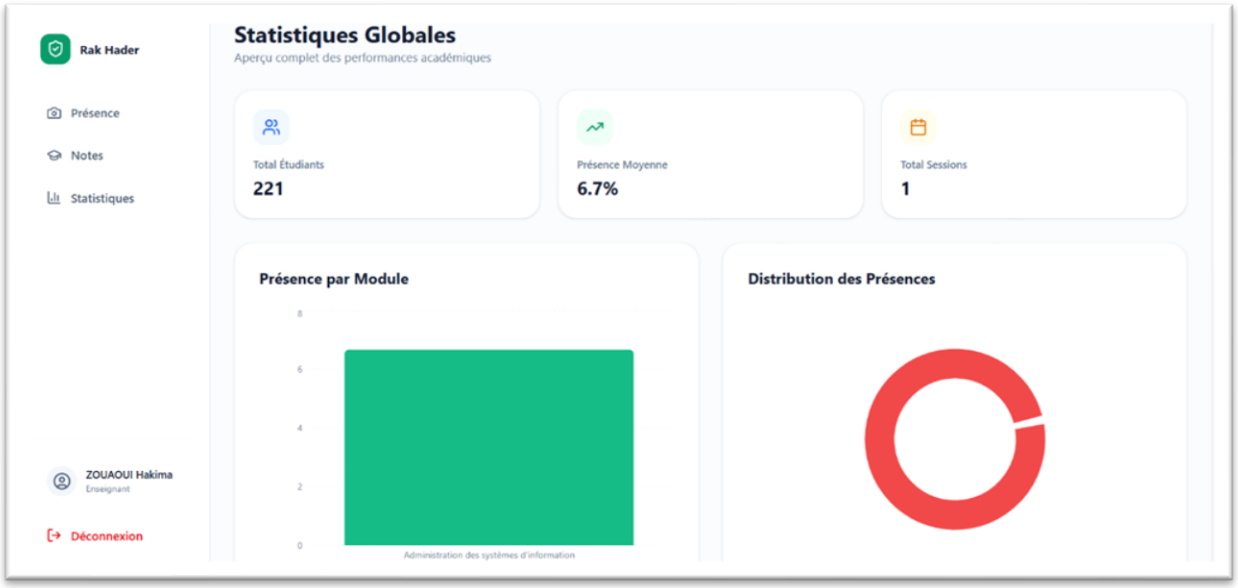


Figure IV.8 : Dashboard statistiques (graphique)

La figure IV.8 illustre l'interface analytique du système. Elle fournit des informations importantes telles que les taux de présence, les absences et l'évolution des statistiques au cours du temps.

IV.4 Tests et résultats

IV.4.1 Tests fonctionnels

Les tests ont été réalisés pour vérifier :

- Authentification
- Reconnaissance faciale
- Enregistrement présence
- Affichage statistiques

Fonction	Résultat attendu	Résultat obtenu	Statut
Login	**accès sécurisé**	**OK**	**réussi**
Reconnaissance faciale	**Identification correcte**	**OK**	**réussi**
Présence automatique	**enregistrement**	**OK**	**réussi**

Tableau IV.1 : Résultats des tests fonctionnels

IV.4.2 Performance du système

Le système a été testé dans des conditions réelles :

- Reconnaissance en temps réel
- Plusieurs étudiants en base
- Eclairage variable

Résultats :

- Précision élevée
- Temps de réponse rapide
- Faible taux d'erreur

IV.5 Étude de performance

L'évaluation des performances du système « Rak Hader » est une étape importante permettant de mesurer son efficacité dans des conditions réelles d'utilisation. Cette étude est basée sur plusieurs critères tels que le temps de traitement, la précision de reconnaissance et la robustesse du système face à différentes conditions.

- **Temps de reconnaissance**

Le système effectue la détection et l'identification d'un visage en un temps moyen compris entre 200 ms et 600 ms selon la qualité de l'image et la charge du système.

- **Précision du système**

La précision varie en fonction des conditions d'éclairage et de l'angle du visage. Dans des conditions normales, le système atteint une précision élevée estimée entre 90% et 97%.

- **Robustesse**

Le système reste fonctionnel même en présence de légères variations d'éclairage ou de position du visage, grâce à l'utilisation de Face-api.js et des embeddings faciaux.

IV.X Protocole expérimental

Afin d'évaluer les performances du système proposé, plusieurs tests expérimentaux ont été réalisés dans différentes conditions d'utilisation. Les expériences ont été menées en utilisant des étudiants enregistrés dans la base de données du système.

Les tests ont été effectués selon les paramètres suivants :

• Nombre d'étudiants : 20 étudiants

• Nombre total d'images capturées : 200 images

• Images par étudiant : 10 images

• Conditions de test :

- Éclairage normal
- Faible éclairage
- Différentes positions du visage
- Présence de lunettes

Les performances du système ont été évaluées à l'aide du taux de reconnaissance (Accuracy), défini comme :

Accuracy = (Nombre de reconnaissances correctes / Nombre total des tests) × 100

Cette mesure permet d'évaluer la capacité du système à identifier correctement les étudiants enregistrés.

Test	Condition	Résultat
Test 1	Lumière normale	96% précision
Test 2	Faible lumière	85% précision
Test 3	Angle léger	90% précision
Test 4	Multi-visages	88% précision

Tableau IV.2 : Résultats de performance

L'analyse des résultats montre que le système atteint ses meilleures performances dans des conditions d'éclairage normal avec un taux de reconnaissance de 96 %. Une légère diminution des performances est observée dans des situations plus complexes telles que le faible éclairage ou les changements de position du visage.
Ces résultats démontrent que le système développé présente une bonne capacité d'identification automatique tout en conservant un niveau de précision acceptable dans différentes conditions d'utilisation.

IV.6 Discussion technique

Le choix des technologies utilisées dans le système « Rak Hader » repose sur des critères de performance, de simplicité et d'efficacité.
React.js a été choisi pour sa flexibilité dans la création d'interfaces utilisateur dynamiques et modernes.

Node.js et Express.js permettent de développer un backend rapide et scalable capable de gérer plusieurs requêtes simultanément.

Face-api.js a été adopté pour la reconnaissance faciale car il permet une exécution directe dans le navigateur sans nécessiter de serveurs complexes de deep learning.

SQLite a été utilisé comme base de données légère afin de simplifier le déploiement du système sans configuration complexe.

Cependant, le système présente certaines limites telles que la sensibilité aux conditions d'éclairage et la dépendance à la qualité de la caméra.

Le système « Rak Hader » démontre l'efficacité de l'intelligence artificielle dans l'automatisation des tâches administratives universitaires.
Comparé aux méthodes traditionnelles :

- Il est plus rapide et plus fiable
- Moins sujet à la fraud

IV.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes étapes liées à la réalisation et à l'implémentation de notre système intelligent de gestion de présence basé sur la reconnaissance faciale. Nous avons décrit l'environnement matériel et logiciel utilisé ainsi que les technologies adoptées durant le développement de l'application.

L'implémentation a nécessité l'intégration de plusieurs composants afin d'assurer le bon fonctionnement du système. Les technologies telles que React, TypeScript, Express.js, SQLite et Face-api.js ont permis de développer une solution moderne, interactive et efficace. L'utilisation d'une architecture client-serveur a facilité la communication entre les différentes parties du système et l'organisation des données.

Au cours de cette phase, plusieurs défis techniques ont été rencontrés, notamment la gestion des données biométriques, l'enregistrement des caractéristiques faciales, la communication entre le frontend et le backend ainsi que la gestion des mises à jour en temps réel. Ces difficultés ont été prises en considération afin d'améliorer la stabilité et les performances globales du système.

Les résultats obtenus montrent que la solution développée permet d'automatiser efficacement le processus de gestion des présences et des absences des étudiants tout en réduisant les erreurs liées aux méthodes traditionnelles.

Le chapitre suivant sera consacré à la présentation des aspects d'analyse, d'évaluation et des perspectives d'amélioration du système proposé.

Chapitre V
Étude du projet, Business Model et Perspectives du système « Rak Hader »

V.1 Introduction

Ce chapitre présente une étude globale et approfondie du projet « Rak Hader » dans une perspective stratégique, économique et organisationnelle. Après avoir détaillé, dans les chapitres précédents, la conception du système ainsi que son implémentation technique, notamment l'architecture logicielle, les interfaces utilisateurs et les différents modules fonctionnels, nous abordons dans cette partie la dimension non technique du projet, qui est tout aussi essentielle pour comprendre sa portée globale.

En effet, au-delà de l'aspect purement technique, tout projet innovant doit être analysé sous l'angle de sa valeur ajoutée, de son impact potentiel sur le terrain, ainsi que de sa viabilité économique et organisationnelle. C'est dans ce cadre que s'inscrit ce chapitre, qui vise à replacer le système « Rak Hader » dans un contexte réel d'utilisation, notamment au sein des établissements universitaires où la gestion de la présence constitue une problématique importante.

L'objectif principal de ce chapitre est donc de mettre en évidence la valeur du projet, son utilité concrète dans le contexte universitaire, son modèle économique basé sur une approche moderne de type service numérique, ainsi que ses perspectives de développement à court, moyen et long terme. Nous analysons également les différentes dimensions liées au marché, à la concurrence et aux opportunités d'évolution du système dans un environnement en constante transformation numérique.

Cette partie permet également de situer le projet dans un cadre réel de startup technologique et d'innovation numérique, en montrant comment une solution basée sur l'intelligence artificielle et la reconnaissance faciale peut répondre efficacement à des besoins concrets du secteur éducatif. Ainsi, ce chapitre constitue une étape importante dans la démonstration de la faisabilité globale du projet, tant sur le plan technique que stratégique et économique.

V.2 Idée du projet

Le projet « Rak Hader » est une solution intelligente de gestion de présence basée sur la reconnaissance faciale. Il a été conçu pour répondre aux limites des systèmes traditionnels utilisés dans les établissements universitaires, notamment les listes papier, les signatures manuelles et les systèmes de pointage classiques.

L'idée principale du projet repose sur l'automatisation complète du processus de présence à l'aide de technologies d'intelligence artificielle et de vision par ordinateur. Grâce à une simple caméra, le système est capable d'identifier les étudiants en temps réel et d'enregistrer automatiquement leur présence.

Ce projet s'inscrit dans le domaine de la transformation numérique des universités et vise à améliorer la qualité des services administratifs et pédagogiques.

V.3 Problématique et motivation

La gestion traditionnelle de la présence présente plusieurs problèmes majeurs :

- Perte de temps en début de cours
- Erreurs humaines lors du pointage
- Fraude (pointage entre étudiants)
- Manque de traçabilité
- Difficulté de gestion dans les grands groupes

Face à ces limitations, le projet « Rak Hader » propose une solution innovante basée sur l'intelligence artificielle afin de garantir une gestion automatique, fiable et rapide de la présence.

V.4 Valeur ajoutée du projet

Le système « Rak Hader » apporte une valeur ajoutée importante à plusieurs niveaux :

V.4.1 Valeur organisationnelle

- Automatisation du processus de présence
- Réduction de la charge administrative
- Simplification de la gestion des groupes

V.4.2 Valeur technologique

- Utilisation de la reconnaissance faciale
- Intégration de l'intelligence artificielle
- Traitement en temps réel

V.4.3 Valeur économique

- Réduction des coûts liés au papier et au temps humain
- Modèle SaaS (abonnement)
- Solution évolutive et réutilisable

V.4.4 Valeur pédagogique

- Meilleure transparence des absences
- Suivi précis des étudiants
- Amélioration de la discipline académique

V.5 Objectifs du projet

Les objectifs du projet sont divisés en objectifs généraux et spécifiques.

V.5.1 Objectifs généraux

- Digitaliser la gestion de présence
- Automatiser les processus universitaires
- Améliorer l'efficacité administrative

V.5.2 Objectifs spécifiques

- Identifier les étudiants via reconnaissance faciale
- Enregistrer les présences automatiquement
- Permettre la consultation des données en temps réel
- Générer des statistiques précises

V.6 Analyse du marché

V.6.1 Marché potentiel

Le marché potentiel du projet comprend :

- Universités publiques
- Universités privées
- Ecoles supérieures
- Centres de formation professionnelle

Ces institutions ont un besoin croissant de digitalisation et d'automatisation des services administratifs.

V.6.2 Marché cible

Le marché cible est principalement constitué des établissements d'enseignement supérieur qui cherchent à moderniser leur système de gestion de présence.

Le projet vise en priorité :

- Universités pilotes
- Etablissements en phase de digitalisation
- Institutions technologiques avancées

V.6.3 Analyse de la concurrence

Le marché actuel comprend :

Concurrence directe :

- Systèmes biométriques classiques
- Solutions de reconnaissance faciale existantes

Concurrence indirecte :

- listes papier
- Signatures manuelles
- Systèmes traditionnels de pointage

Le projet « Rak Hader » se distingue par :

- L'intégration complète dans une plateforme web
- La simplicité d'utilisation
- La réduction des coûts
- La flexibilité du système

V.7 Business Model (Modèle économique)

Le projet repose sur un modèle économique de type SaaS (Software as a Service).

Caractéristiques du modèle :

- Abonnement annuel pour les institutions
- Installation initiale payante
- Maintenance et support technique
- Evolution continue du système

Avantages du modèle :

- Revenus récurrents
- Scalabilité du projet
- Adaptation facile à plusieurs établissements
- Faible coût de déploiement

<table>
<tr>
<td rowspan="2">Partenaires clés
Fournisseurs de services cloud
Universités partenaires pilotes
Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique
Fournisseurs de matériel informatique
Experts en intelligence artificielle et cybersécurité</td>
<td>Activités clés
Développement du logiciel
Intégration de la reconnaissance faciale
Maintenance du système
Gestion des données
Amélioration continue du système</td>
<td rowspan="2">proposition de valeur
Système intelligent de gestion de présence par reconnaissance faciale.
Réduction de la fraude et de l'usurpation.
Automatisation du contrôle de présence.
Gain de temps pour les administrations et enseignants.
Solution sécurisée, moderne et facile à utiliser.</td>
<td>Relation client
Support technique continu.
Formation des utilisateurs.
Assistance à distance.
Relations personnalisées avec les administrations et les responsables.</td>
<td rowspan="2">Segments de clientèle
Universités publiques.
Instituts et écoles supérieures.
Administrations educative.
Centres de formation.</td>
</tr>
<tr>
<td>Ressources clés
Équipe de développement (ingénieur IA / logiciel)
Serveurs et infrastructure cloud
Base de données
Algorithmes de reconnaissance faciale
Matériel informatique</td>
<td>Canaux de distribution
Vente directe aux institutions universitaires.
Démonstrations et présentations.
Participation aux événements et manifestations scientifiques.
Réseaux professionnels
Marketing digital (site web, réseaux sociaux) .</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="3">Structure des coûts
Développement logiciel
Hébergement cloud
Maintenance et support technique
Salaires
Marketing et communication
Amortissement des équipements</td>
<td colspan="3">Sources de revenus
Abonnement annuel pour les institutions
Frais d'installation et de configuration
Services de formation et support technique</td>
</tr>
</table>

Figure V.1 : Business Model Canvas du projet « Rak Hader »

V.8 Stratégie marketing

La stratégie marketing du projet « Rak Hader » repose sur une approche progressive et adaptée au contexte universitaire et technologique. L'objectif principal est d'assurer la visibilité du système, de favoriser son adoption par les établissements d'enseignement supérieur et de démontrer sa valeur ajoutée par rapport aux solutions traditionnelles de gestion de présence.

Dans un premier temps, le projet s'appuie sur une stratégie de démonstration directe auprès des universités. Cela permet de présenter concrètement le fonctionnement du système, notamment la reconnaissance faciale en temps réel et l'automatisation de la prise de présence. Ces démonstrations constituent un levier important pour convaincre les décideurs académiques.

Ensuite, une collaboration avec des établissements pilotes est envisagée afin de tester le système dans des conditions réelles. Cette phase expérimentale permet de recueillir des retours d'expérience, d'améliorer les performances du système et d'adapter la solution aux besoins spécifiques de chaque institution.

Par ailleurs, la communication digitale joue un rôle essentiel dans la promotion du projet. L'utilisation des réseaux sociaux, des plateformes professionnelles et des sites web permet de toucher un public plus large et de renforcer la visibilité du projet auprès des étudiants, enseignants et responsables universitaires.

Le projet participe également à des événements technologiques tels que les salons, hackathons et journées scientifiques. Ces événements offrent une opportunité de présenter le système à des experts du domaine et d'établir des partenariats stratégiques.

Enfin, la présentation du projet dans les incubateurs universitaires constitue un élément clé de la stratégie marketing. Ces structures d'accompagnement permettent de bénéficier de conseils, de soutien technique et d'opportunités de financement.

Ainsi, la stratégie marketing du projet « Rak Hader » vise à assurer une diffusion progressive du système, en combinant des actions de terrain, des partenariats institutionnels et une présence digitale active.

V.9 Plan de développement et perspectives

Le développement du projet « Rak Hader » suit une approche progressive et structurée, visant à assurer une évolution cohérente du système depuis sa phase de prototype jusqu'à son déploiement à grande échelle. Cette progression permet non seulement de valider la solution dans des environnements réels, mais également de l'améliorer continuellement en fonction des retours des utilisateurs et des contraintes techniques rencontrées.

Court terme (1 à 2 ans)

Dans cette première phase, l'objectif principal est de tester le système dans un nombre limité d'établissements universitaires afin d'évaluer sa performance dans des conditions réelles d'utilisation. Cette étape inclut :

- Le déploiement du système dans des universités pilotes sélectionnées ;
- L'observation du fonctionnement du module de reconnaissance faciale en situation réelle ;
- L'identification des erreurs éventuelles et des limites techniques ;
- L'amélioration progressive du prototype en fonction des retours d'expérience ;
- La correction des bugs et l'optimisation des performances globales du système.

Cette phase est essentielle car elle permet de valider la fiabilité du système avant un déploiement plus large.

Moyen terme (3 à 5 ans)

Au cours de cette étape, le projet entre dans une phase d'expansion et de consolidation. L'objectif est d'élargir l'utilisation du système à un plus grand nombre d'établissements universitaires et de renforcer sa stabilité.

Les actions prévues incluent :

- Le déploiement progressif du système dans plusieurs universités et instituts ;
- L'optimisation des performances du système de reconnaissance faciale ;

- L'amélioration de l'interface utilisateur en fonction des besoins réels ;
- L'ajout de nouvelles fonctionnalités telles que des tableaux de bord avancés, des statistiques détaillées et des rapports automatisés ;
- L'intégration avec d'autres systèmes de gestion universitaire existants.

Cette phase permet de transformer le projet en une solution stable et largement adoptée.

Long terme (5 ans et plus)

À long terme, le projet « Rak Hader » vise une adoption à grande échelle et une reconnaissance comme solution de référence dans le domaine de la gestion intelligente de la présence.

Les perspectives influent:

- L'expansion du système à l'échelle nationale dans les établissements universitaires et de formation ;
- L'intégration dans les systèmes éducatifs officiels et les plateformes numériques gouvernementales ;
- L'évolution vers une plateforme complète de gestion universitaire incluant non seulement la présence, mais également les notes, les emplois du temps et la communication administrative ;
- L'ouverture vers d'autres marchés tels que les écoles privées, les centres de formation et les entreprises ;
- L'amélioration continue basée sur l'intelligence artificielle et les technologies émergentes.

Ainsi, cette vision à long terme positionne le projet « Rak Hader » comme une solution évolutive, adaptable et durable dans le domaine de la transformation numérique de l'éducation.

V.10 Limites du projet

Malgré ses avantages, le système présente certaines limites :

- Dépendance à la qualité de la caméra
- influence de l'éclairage
- Besoin de données suffisantes pour l'entraînement
- Connexion internet nécessaire pour certaines fonctionnalités

V.11 Conclusion

Ce chapitre a présenté une étude complète et détaillée du projet « Rak Hader » dans ses différentes dimensions économiques, stratégiques et organisationnelles. Il a permis de mettre en évidence la vision globale du projet en tant que solution innovante destinée à moderniser les systèmes de gestion de présence au sein des établissements universitaires.

À travers cette analyse, nous avons démontré que le projet ne se limite pas uniquement à une réalisation technique, mais qu'il s'inscrit également dans une logique de transformation numérique du secteur éducatif. En effet, l'intégration de technologies avancées telles que l'intelligence artificielle et la reconnaissance faciale permet d'apporter une réponse efficace aux limites des méthodes traditionnelles, souvent basées sur des processus manuels peu fiables et chronophages.

Le modèle proposé montre que « Rak Hader » est une solution innovante, évolutive et adaptée aux besoins actuels et futurs des établissements d'enseignement supérieur. Grâce à son architecture flexible et à son modèle économique basé sur les services numériques, le système possède un fort potentiel d'adaptation et d'évolution.

Enfin, les perspectives de développement présentées dans ce chapitre mettent en évidence les possibilités de déploiement progressif du projet, aussi bien au niveau local que national, voire à long terme dans d'autres contextes éducatifs ou organisationnels. Ainsi, « Rak Hader » représente une solution prometteuse qui contribue activement à l'amélioration de la gestion universitaire et à la digitalisation des services académiques.

Conclusion générale

Au terme de ce travail, nous avons réalisé une étude et une implémentation d'un système intelligent de gestion des présences des étudiants basé sur la reconnaissance faciale. L'objectif principal de ce projet était de développer une solution moderne capable d'automatiser le processus de contrôle des présences universitaires afin de remplacer ou d'améliorer les méthodes traditionnelles utilisées dans plusieurs établissements d'enseignement.

La gestion des présences représente une tâche importante dans le domaine universitaire, car elle permet d'assurer le suivi des étudiants, d'évaluer leur assiduité et de faciliter l'organisation pédagogique. Cependant, les méthodes classiques basées sur les listes papier ou la saisie manuelle présentent plusieurs limites telles que la perte de temps, les erreurs humaines ainsi que les risques de fraude. Face à ces contraintes, l'intégration des technologies modernes basées sur l'intelligence artificielle constitue une solution pertinente pour améliorer l'efficacité et la fiabilité du processus.

Dans un premier temps, nous avons étudié les concepts fondamentaux liés à la biométrie, aux systèmes de reconnaissance faciale ainsi qu'aux techniques de Machine Learning et de Deep Learning utilisées dans les systèmes intelligents. Cette étude théorique nous a permis de comprendre le fonctionnement général des systèmes biométriques, leurs caractéristiques principales ainsi que leurs domaines d'application. Nous avons également analysé les différentes approches utilisées dans les systèmes de reconnaissance faciale modernes afin d'identifier les méthodes les plus adaptées à notre projet.

Par la suite, une phase d'analyse et de conception a été réalisée afin de définir les besoins fonctionnels et non fonctionnels du système proposé. Cette étape a permis d'identifier les différents acteurs intervenant dans le système, les fonctionnalités attendues ainsi que les interactions entre les différents composants. L'utilisation des outils de modélisation et des diagrammes UML a facilité la représentation globale de l'architecture du système et l'organisation des différentes fonctionnalités.

Concernant la phase de réalisation, plusieurs technologies modernes ont été adoptées afin de garantir le développement d'une solution performante et évolutive. Le système a été développé à l'aide de React, TypeScript, Express.js et SQLite, tandis que la partie biométrique repose sur Face-api.js pour la détection et la reconnaissance des visages. L'architecture client-serveur utilisée a permis une séparation claire entre les différentes couches de l'application et une meilleure organisation du système.

Le système réalisé offre plusieurs fonctionnalités importantes telles que la gestion des utilisateurs, des étudiants, des groupes, des modules, des sessions de présence ainsi que l'enregistrement automatique des présences à travers la reconnaissance faciale. Lorsqu'un visage est détecté à partir de la caméra, le système extrait les caractéristiques biométriques correspondantes, effectue une comparaison avec les données enregistrées dans la base de données puis procède automatiquement à l'enregistrement de la présence de l'étudiant identifié.

Les différents tests réalisés ont montré que le système développé permet une gestion efficace et rapide des présences tout en réduisant les erreurs associées aux méthodes traditionnelles.

Conclusion générale

L'intégration des technologies d'intelligence artificielle a permis d'améliorer le niveau d'automatisation et de réduire l'intervention humaine dans les opérations de suivi académique.

Malgré les résultats satisfaisants obtenus, certaines limites doivent être prises en considération. Les performances du système peuvent être affectées par plusieurs facteurs tels que les variations importantes d'éclairage, les changements de position du visage, les mouvements rapides ou encore la présence d'objets masquant certaines parties du visage. De plus, la précision du système dépend également de la qualité des données utilisées lors de la phase d'enregistrement biométrique.

Dans le cadre des perspectives futures, plusieurs améliorations peuvent être envisagées afin d'enrichir davantage les fonctionnalités proposées. Il serait possible d'intégrer des modèles de Deep Learning plus avancés afin d'améliorer la précision et la robustesse de la reconnaissance faciale dans des environnements complexes. Une autre amélioration pourrait concerner le déploiement du système sur une infrastructure cloud afin de permettre une utilisation à grande échelle et un accès distant sécurisé. Il serait également intéressant d'ajouter des mécanismes de sécurité supplémentaires ainsi que des outils d'analyse prédictive permettant d'exploiter les données de présence à des fins statistiques et décisionnelles.

Enfin, ce projet nous a permis d'acquérir une expérience enrichissante aussi bien sur le plan théorique que pratique. Il nous a offert l'opportunité d'approfondir nos connaissances dans plusieurs domaines tels que la biométrie, l'intelligence artificielle, le développement web moderne et la conception des systèmes intelligents. Cette expérience représente une étape importante dans notre parcours académique et ouvre de nouvelles perspectives pour le développement de solutions innovantes dans le domaine des technologies intelligentes.

Bibliographie

[1] Artificial Intelligence: A Modern Approach, Stuart Russell et Peter Norvig, 4e édition, Pearson Education, 2020.

[2] Deep Learning, Ian Goodfellow, Yoshua Bengio et Aaron Courville, MIT Press, 2016.

[3] Machine Learning, Tom M. Mitchell, McGraw-Hill, 1997.

[4] Introduction to Biometrics, A. K. Jain, A. Ross et K. Nandakumar, Springer, 2011.

[5] Computer Vision: Algorithms and Applications, Richard Szeliski, Springer, 2022.

[6] W. Zhao, R. Chellappa, P. J. Phillips et A. Rosenfeld, "Face Recognition: A Literature Survey", *ACM Computing Surveys*, Vol.35, No.4, pp.399–458, 2003.

[7] P. Viola et M. Jones, "Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features", *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2001.

[8] F. Schroff, D. Kalenichenko et J. Philbin, "FaceNet: A Unified Embedding for Face Recognition and Clustering", *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2015.

[9] Y. Taigman, M. Yang, M. Ranzato et L. Wolf, "DeepFace: Closing the Gap to Human-Level Performance in Face Verification", *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2014.

[10] J. Deng, J. Guo, N. Xue et S. Zafeiriou, "ArcFace: Additive Angular Margin Loss for Deep Face Recognition", *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2019.

[11] S. Z. Li et A. K. Jain, *Handbook of Face Recognition*, Springer, 2011.

[12] R. Brunelli et T. Poggio, "Face Recognition through Geometrical Features", *European Conference on Computer Vision*, 1992.

[13] A. Pentland, B. Moghaddam et T. Starner, "View-Based and Modular Eigenspaces for Face Recognition", *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1994.

[14] L. Sirovich et M. Kirby, "Low-Dimensional Procedure for Characterization of Human Faces", *Journal of the Optical Society of America*, 1987.

[15] M. Turk et A. Pentland, "Eigenfaces for Recognition", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1991.

[16] A. Ross et K. Nandakumar, *Handbook of Multibiometrics*, Springer, 2006.

[17] S. Haykin, *Neural Networks and Learning Machines*, Pearson Education, 2009.

[18] E. Alpaydin, *Introduction to Machine Learning*, MIT Press, 2020.

[19] N. Nilsson, *The Quest for Artificial Intelligence*, Cambridge University Press, 2010.

[20] J. Han, M. Kamber et J. Pei, *Data Mining: Concepts and Techniques*, Morgan Kaufmann, 2011

Webographie

[21] Face-api.js Documentation

[22] React.js Official Documentation

[23] Node.js Official Documentation

[24] Express.js Documentation

[25] Socket.io Documentation

[26] SQLite Documentation

[27] TensorFlow.js Documentation

[28] MDN Web Docs JavaScript Guide

[29] PlantUML Official Documentation

[30] UML Documentation by OMG