



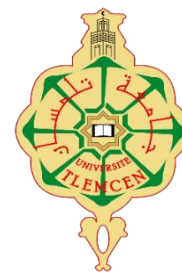
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique

Université Abou Bakr Belkaid – Tlemcen

Faculté des Sciences

Département d'Informatique



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique

Option : Génie Logiciel (GL)

Thème

**Digitalisation santé-Réalisation de
l'application mobile « PosturaCare » centrée sur
l'appareil locomoteur et couvrant à 360° le cycle
de vie de la douleur patient**

Réalisé par :

- Mr. AIT Chakib Abderrahim

Présenté le ..06/2026 devant le jury composé de :

- | | |
|-------------------------|----------------|
| - Mr BERRABAH Sid Ahmed | (Président) |
| - Mme BENMANSOUR Asma | (Encadreur) |
| - Mme BENHABIB Dounya | (Co-Encadreur) |
| - Mme KAZI Adila | (Examinatrice) |
| - Mme BENLEDGHEM Rafika | (Experte IEE) |

Année universitaire : 2025-2026

Dédicace

Après un remerciement sincère à « Dieu » le tout puissant, je dédie ce travail particulièrement à :

À mes chers parents, pour leur soutien, la confiance et les nombreux sacrifices consentis afin de me permettre de poursuivre mes études dans les meilleures conditions.

À mon encadreur, pour son soutien, sa disponibilité et ses encouragements tout au long de ce travail.

À tous mes collègues et amis du département d'informatique, pour le partage des joies et des difficultés tout au long de ces années académiques.

Ait Abderrahim Chakib

Remerciements

Je remercie tout d'abord Dieu le Tout-Puissant et Miséricordieux, qui m'a donné la force nécessaire et la patience d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu, je tiens à remercier mon encadreur pour ses précieux conseils, son orientation et son aide durant toute la période de ce travail.

En troisième lieu, je tiens à remercier tous les enseignants du Département d'informatique de l'Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen pour leur accompagnement durant mon cursus universitaire.

Mes sincères remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail en acceptant de l'examiner et de l'enrichir par leurs propositions.

Table des matières

Introduction Générale.....	12
Chapitre I : Étude des troubles locomoteurs et des approches numériques de prise en charge et d'aide au diagnostic.....	14
1. Introduction	14
2. Pathologies locomotrices.....	14
2.1. Définition et classification des troubles locomoteurs	14
2.2. Facteurs favorisants	16
3. Les méthodes d'évaluation clinique des troubles locomoteurs	16
3.1. Évaluation clinique classique	16
3.2. Méthodes instrumentales	17
4. La santé numérique et la télémédecine	17
5. L'intelligence artificielle appliquée dans l'aide au diagnostic locomoteur.....	17
5.1. Les systèmes d'aide à la décision clinique	17
6. État de l'art sur les applications mobiles d'évaluation et d'orientation médicale	19
6.1. Critères de comparaison	19
6.2. Présentation des applications existantes.....	19
6.3. Comparaison entre les applications existantes	22
6.4. Applications e-santé existantes en Algérie.....	22
6.5. Disponibilité de ce type d'application en Algérie.....	26
6.6. Synthèse et positionnement de notre proposition.....	26
7. Conclusion.....	27
Chapitre II : Analyse des besoins et conception du système.....	28
1. Introduction	28
2. Expression des besoins.....	28

2.1. Identification des acteurs.....	28
2.2. Besoins fonctionnels	29
2.3. Besoins non fonctionnels	33
3. Conception de l'application	36
3.1. Diagramme de cas d'utilisation	36
3.2. Diagramme de séquence Authentification et création de compte	38
3.3. Diagramme de séquence Pré-diagnostic IA complet	41
3.4. Diagramme de classe.....	44
4. Conclusion.....	47
Chapitre III : Réalisation et implémentation de l'application mobile proposée	48
1. Introduction	48
2. Architecture générale de la solution.....	48
3. Les outils utilisés.....	50
3.1. Environnement de développement	51
3.2. Langage de programmation (Dart)	51
3.3. Flutter	51
3.4. Firebase	51
3.5. Google Gemini	52
3.6. Cloudflare Workers	52
3.7. Google ML Kit.....	53
4. Le front-end : l'application mobile	54
4.1. Présentation des interfaces	55
4.2. Gestion de profil et authentification.....	55
4.3. Interface patient : sélection de la zone douloureuse.....	56
4.4. Évaluation de la douleur : type, intensité EVA et contexte	57

4.5. Questionnaire adaptatif et pré-diagnostic IA	58
4.6. Examen approfondi généré par IA	59
4.7. Demande d'avis médical et orientation vers le praticien	61
4.8. Messagerie patient-praticien	62
4.9. Historique des demandes et centre de notifications	62
4.10. Module de rééducation vidéo	63
4.11. Analyse posturale par photos	64
4.12. Interface médecin : revue des dossiers	65
4.13. Interface kinésithérapeute : suivi de rééducation	67
4.14. Interface administrateur : gestion et supervision.....	68
5. Le back-end : côté serveur	69
5.1. La base de données et la mise à jour en temps réel	69
5.2. La sécurité et la confidentialité des données	70
5.3. La passerelle vers l'IA et le stockage des médias	70
5.4. Le moteur d'intelligence artificielle	70
6. Les tests	71
7. Conclusion.....	73
Conclusion Générale	74
Annexe BMC (Business Model Canvas)	80
1. Proposition de valeur.....	81
1.1. Quels problèmes résolvons-nous pour nos clients ?.....	81
1.2. Quels besoins de nos clients satisfont nos produits ou services ?	81
1.3. En quoi notre offre est-elle différente de celle de nos concurrents ?	82
1.4. Quelle est notre proposition unique de valeur ?	82
2. Segments de clientèle	83

2.1. Comment distinguons-nous nos différents clients ?.....	83
2.2. Quels sont les différents segments que nous visons ?.....	83
2.3. Quels sont les besoins spécifiques de chaque segment ?	84
3. Relation client	84
3.1. Quel type de relation chaque segment attend-il de nous ?	84
3.2. Comment entretenons-nous la relation avec nos clients ?.....	85
3.3. Comment pouvons-nous améliorer et personnaliser nos interactions ?	85
4. Canaux de distribution	85
4.1. Par quels canaux nos clients veulent-ils être atteints ?.....	85
4.2. Quels canaux sont les plus efficaces pour atteindre chaque segment ?.....	86
5. Partenaires clés.....	86
5.1. Qui sont nos partenaires clés ?	86
5.2. Quels partenariats nous aident à réduire les coûts, à accéder à de nouvelles ressources ou à améliorer notre proposition de valeur ?	87
6. Activités clés	87
6.1. Quelles sont les actions principales que nous devons entreprendre pour livrer notre proposition de valeur ?	87
7. Ressources clés.....	88
7.1. Quels sont nos actifs matériels, immatériels et humains essentiels ?.....	88
7.2. Quels sont les outils, les technologies ou les partenariats dont nous avons besoin pour réussir ?.....	89
7.3. Quels sont les principaux avantages concurrentiels de nos ressources ?	89
8. Structure de coûts.....	89
8.1. Quels sont les coûts fixes et variables associés à notre modèle économique	89
8.2. Quels sont les coûts les plus importants pour notre entreprise ?.....	95

8.3. Comment pouvons-nous réduire les coûts ou améliorer l'efficacité de nos opérations ?	95
9. Sources de revenus	96
9.1. Quels produits ou services nos clients sont-ils prêts à payer ?.....	96
9.2. Quel est notre modèle de tarification ?.....	96
9.3. Quelle est la projection de rentabilité de notre modèle ?	97

Liste des figures

Figure 1 : Principales zones de douleurs musculo-squelettiques

Figure 2 : Évolution mondiale des troubles locomoteurs (2000-2050)

Figure 3 : Diagramme de cas d'utilisation – Système de rééducation

Figure 4 : Diagramme de séquence – Inscription et authentification

Figure 5 : Diagramme de séquence – Diagnostic médical

Figure 6 : Diagramme de classes

Figure 7 : Parcours de la demande de diagnostic et architecture technique du système

Figure 8 : Interface d'authentification

Figure 9 : Localisation de la zone douloureuse

Figure 10 : Évaluation de la douleur (EVA)

Figure 11 : Résultats du pré-diagnostic par IA

Figure 12 : Examen approfondi généré par IA

Figure 13 : Demande d'avis médical et orientation

Figure 14 : Messagerie patient-praticien

Figure 15 : Historique et centre de notifications

Figure 16 : Module de rééducation vidéo

Figure 17 : Analyse posturale par photo

Figure 18 : Tableau de bord du médecin

Figure 19 : Consultation d'un dossier patient

Figure 20 : Interface du kinésithérapeute

Figure 21 : Interface d'administration

Liste des tableaux

Tableau 1 : Comparaison des applications mobiles d'évaluation posturale existantes

Tableau 2 : Comparaison des applications e-santé algériennes avec PosturaCare

Tableau 3 : Récapitulatif des besoins fonctionnels par acteur

Tableau 4 : Besoins non fonctionnels

Tableau 5 : Récapitulatif des technologies utilisées

Tableau 6 : Tests fonctionnels réalisés sur le prototype PosturaCare

Tableau 7 : Évolution de l'équipe et du coût des ressources humaines par phase

Tableau 8 : Estimation des coûts variables

Tableau 9 : Décomposition des unités de traitement consommées par étape

Tableau 10 : Projection du coût mensuel par phase

Tableau 11 : Synthèse du coût mensuel total estimé par phase (approximatif)

Tableau 12 : Grille tarifaire PosturaCare

Liste des abréviations

- **2D / 3D** : Deux / Trois Dimensions
- **API** : Application Programming Interface
- **APK** : Android Package Kit
- **BMC** : Business Model Canvas
- **e-santé** : Santé numérique / électronique
- **GBD** : Global Burden of Disease
- **IA** : Intelligence Artificielle
- **IDE** : Integrated Development Environment
- **IHME** : Institute for Health Metrics and Evaluation
- **JSON** : JavaScript Object Notation
- **LBP** : Low Back Pain (Lombalgie)
- **ML Kit** : Machine Learning Kit (Google)
- **NoSQL** : Not Only SQL
- **OMS** : Organisation Mondiale de la Santé
- **PFE** : Projet de Fin d'Études
- **REST** : Representational State Transfer
- **SDK** : Software Development Kit
- **TMS** : Troubles Musculo-Squelettiques
- **UI / UX** : User Interface / User Experience
- **UML** : Unified Modeling Language
- **VSCode** : Visual Studio Code
- **FCM** : Firebase Cloud Messaging
- **Spark** : Plan gratuit de la plateforme Firebase (Google)
- **Worker** : Fonction serveur légère exécutée sur Cloudflare Workers

Introduction Générale

Les maladies de l'appareil locomoteur touchent aujourd'hui une part considérable de la population mondiale. Lombalgies, cervicalgies, problèmes posturaux et maladies articulaires ces pathologies concernent plus de 1,7 milliard de personnes selon l'OMS, ce qui en fait la première cause de handicap dans le monde. Notre mode de vie y contribue largement : passer ses journées assis devant un écran, bouger peu, adopter de mauvaises postures, tout cela fragilise progressivement le corps. Le problème, c'est que ces signes sont souvent ignorés au départ, jusqu'à ce qu'ils deviennent chroniques et pèsent réellement sur le quotidien.

Aujourd'hui, l'évaluation des troubles de l'appareil locomoteur repose surtout sur l'examen réalisé par un professionnel de santé. Cette étape reste indispensable, mais certaines observations sur la posture ou les mouvements peuvent changer selon la personne qui examine le patient. De plus, le suivi entre deux consultations reste souvent limité, et dans certaines régions, obtenir un rendez-vous avec un spécialiste peut prendre du temps. Les outils numériques peuvent alors apporter une aide complémentaire et précieuse. À partir des symptômes décrits par le patient, une application mobile peut proposer une première orientation, faciliter le lien avec un professionnel de santé et assurer un suivi entre les consultations.

Pourtant, les applications existantes restent incomplètes. Elles se limitent souvent à une fonction isolée, sans lien avec un professionnel de santé ni intégration dans un véritable parcours de soin. En Algérie en particulier, ce type de solution est encore absente. C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail. La question centrale est la suivante : comment concevoir une application mobile intelligente permettant d'accompagner le patient dans le diagnostique et la prise en charge des pathologies locomotrices ? A savoir, de la déclaration de la douleur jusqu'à l'orientation vers le professionnel de santé adapté en se basant sur une analyse posturale et le suivi de la rééducation numérique.

Pour y répondre, nous avons conçu PosturaCare, une application mobile multiacteurs destinée à quatre types d'utilisateurs : le patient, le médecin, le kinésithérapeute et l'administrateur. PosturaCare ne se limite pas à la posture : elle prend en charge l'ensemble des troubles locomoteurs courants, comme les douleurs du genou, du dos, de la nuque, de l'épaule ou des articulations. Le patient déclare ses douleurs via une sélection anatomique interactive et

Introduction générale

un questionnaire permettant d'évaluer l'intensité de ces douleurs et leur contexte. Il reçoit un pré-diagnostic IA et peut obtenir un diagnostique complet validé par un médecin après avoir soumis des photos pour une analyse posturale plus poussée et avoir répondu à un questionnaire détaillé. Le patient peut demander un avis médical, échanger avec le praticien et disposera aussi d'un programme de rééducation proposé par un kinésithérapeute sous la formes de consignes et de vidéos. L'application repose sur Flutter, Firebase, Firebase App Check, Google ML Kit, l'API Gemini, un Cloudflare Worker comme backend sécurisé, et Cloudinary pour le stockage des images. La gestion d'état est assurée par Riverpod et la navigation par GoRouter.

Ce mémoire s'organise en trois chapitres :

Le premier dresse un état des lieux des troubles locomoteurs et des outils numériques existants, incluant une enquête sur les solutions similaire existantes à l'étranger et en Algérie. Des critères importants ont été établis afin d'établir une étude comparative entre les solutions existantes mais aussi afin de mettre en évidence la valeur ajoutée de notre solution.

Le deuxième présente l'analyse des besoins et les choix de conception ainsi que les diagrammes UML détaillés.

Le troisième décrit les différentes étapes de réalisation de l'application mobile PosturaCare afin de couvrir le cycle de vie d'une douleur locomotrice chez un patient en partant de l'étape de diagnostic grace à l'IA à la validation du diagnostic par le médecin jusqu'à la rééducation et le suivi sur l'application grâce aux consignes et vidéos prescrites par le kinésithérapeute. Il présente l'environnement de développement, les technologies utilisées et les interfaces développées pour chacun des acteurs du système. La synchronisation temps réel via Firebase assure la continuité des échanges entre tous les acteurs.

Chapitre I : Étude des troubles locomoteurs et des approches numériques de prise en charge et d'aide au diagnostic

1. Introduction

Les troubles locomoteurs représentent aujourd'hui un enjeu majeur de santé publique mondiale. Ils regroupent l'ensemble des troubles touchant l'appareil locomoteur : os, articulations, muscles, tendons et nerfs. Ces troubles peuvent provoquer des douleurs chroniques, limiter les mouvements et dégrader significativement la qualité de vie. PosturaCare couvre l'ensemble de ces troubles, qu'ils soient articulaires, musculaires, tendineux ou posturaux, et accompagne le patient depuis la déclaration de sa douleur jusqu'à sa prise en charge par les professionnels de santé. Ce chapitre présente d'abord les principaux troubles locomoteurs et leurs méthodes d'évaluation, puis les solutions numériques existantes pour la prise en charge médicale à distance, et enfin un état de l'art des applications et travaux académiques similaires, avec une attention particulière au contexte algérien.

2. Pathologies locomotrices

2.1. Définition et classification des troubles locomoteurs

En Algérie, les troubles locomoteurs sont fréquents mais encore peu mesurés. Une étude menée dans l'Ouest algérien auprès de 933 salariés a montré que près d'un travailleur sur deux avait ressenti des douleurs musculo-squelettiques au cours de l'année, l'épaule figurant parmi les zones les plus touchées (6,3 % de syndromes de la coiffe des rotateurs) [1]. Ces résultats montrent que le problème ne se limite pas au mal de dos : il concerne l'ensemble des articulations, en particulier l'épaule, la hanche et le genou. Par ailleurs, les spécialistes restent surtout présents dans les grandes villes, ce qui rend l'accès aux soins plus difficile dans les autres régions.

Ces troubles se répartissent en plusieurs grandes familles, que l'application peut aider à orienter :

- Les douleurs articulaires : épaule, hanche, genou (arthrose, arthrite, tendinite).

Chapitre I : Étude des pathologies locomotrices et des approches numériques de prise en charge et d'aide au diagnostic

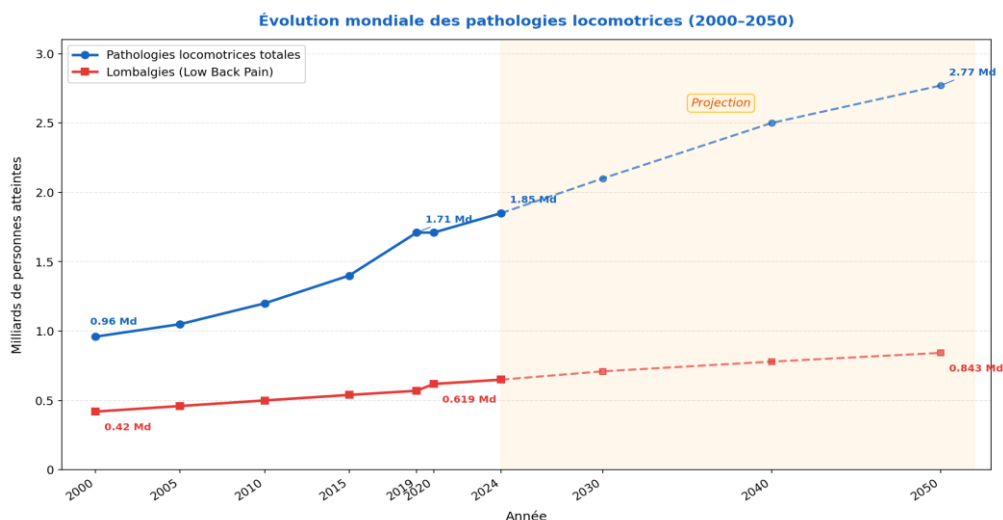
- Les douleurs du dos et du cou : lombalgie (bas du dos), cervicalgie (cou), contractures musculaires.
- Les suites de blessure : récupération après une fracture, une entorse ou une opération.
- Les problèmes de posture : déséquilibres de la colonne vertébrale.

La Figure 1 montre les principales zones du corps touchées, des articulations (épaule, hanche, genou) à la colonne vertébrale.



Figure 1 : Principales zones de douleurs musculo-squelettiques

L'augmentation de ces troubles est confirmée par plusieurs études internationales [2] [3]. La Figure 2 présente l'évolution mondiale du nombre de cas sur les dernières décennies.



Sources : OMS (2022) — GBD 2021 Low Back Pain Collaborators, Lancet Rheumatol. 2023 — IHME

Figure 2 : Évolution mondiale des troubles locomoteurs (2000-2050)

2.2. Facteurs favorisants

Le mode de vie actuel augmente fortement le risque de troubles locomoteurs. Parmi les principaux facteurs [4], on trouve le manque d'activité physique, le travail prolongé en position assise, l'usage intensif des écrans, le surpoids et les mauvais gestes répétés au quotidien. Ces facteurs ne touchent pas que le dos : ils fragilisent aussi les articulations comme l'épaule, la hanche ou le genou.

3. Les méthodes d'évaluation clinique des troubles locomoteurs

3.1. Évaluation clinique classique

Dans la pratique clinique traditionnelle, l'évaluation d'un trouble locomoteur repose sur l'examen du patient par le médecin ou le kinésithérapeute lors d'une consultation au cabinet médicale. Ce dernier observe la posture du patient en position debout, assise et en mouvement, complétée par des tests fonctionnels spécifiques. Cette prise en charge nécessite la présence physique du patient auprès du professionnel de santé. Cette méthode présente plusieurs limites : elle est subjective, dépend de l'expérience du praticien, et est limitée au contexte de la consultation. Entre les séances, le patient n'a aucun outil de suivi. C'est précisément cette discontinuité du parcours de soin que PosturaCare cherche à combler grâce à une prise en charge numérique continue.

À l'inverse de cette prise en charge en cabinet, plusieurs applications mobiles grand public proposent aujourd'hui une auto-évaluation de la posture. Ces outils renvoient toutefois un résultat à l'utilisateur isolé, sans aucun lien avec un professionnel de santé, limite que PosturaCare cherche à dépasser.

Pour mieux comprendre les types de déséquilibres que ces applications cherchent à détecter, il est utile de rappeler les principales formes de déviations posturales reconnues cliniquement.

3.2. Méthodes instrumentales

Des méthodes instrumentales ont été développées pour compléter l'évaluation clinique. La photogrammétrie consiste à mesurer des angles et des distances sur des photographies standardisées du patient [5]. Pour les cas plus sévères, les méthodes radiographiques demeurent la référence en imagerie médicale. À l'échelle d'une application mobile, une photographie prise par un smartphone offre un moyen accessible de dépistage visuel et d'orientation.

4. La santé numérique et la télémédecine

La santé numérique, ou e-santé, désigne l'utilisation des technologies de l'information et de la communication dans le domaine de la santé. Elle recouvre la télémédecine, les applications mobiles de santé, les dossiers médicaux numériques et les systèmes d'aide à la décision médicale. La télémédecine permet de prolonger la prise en charge au-delà des séances en cabinet et d'assurer un suivi continu du patient à distance. Des études ont montré qu'elle peut améliorer significativement l'accessibilité aux soins, réduire les délais de consultation et optimiser le parcours de soin, notamment dans les régions éloignées des centres spécialisés [6]. En Algérie, le Ministère de la Santé a engagé depuis 2020 plusieurs initiatives visant à développer la téléconsultation et le suivi médical à distance, notamment dans les zones à faible densité médicale [7]. Ces efforts confirment la pertinence d'une solution comme PosturaCare dans le contexte national, où les spécialistes en médecine locomotrice restent concentrés dans les grandes villes.

5. L'intelligence artificielle appliquée dans l'aide au diagnostic locomoteur

5.1. Les systèmes d'aide à la décision clinique

L'intelligence artificielle occupe une place croissante dans le domaine médical, en particulier comme outil d'aide à la décision clinique. Les systèmes d'aide au diagnostic, parfois appelés vérificateurs de symptômes, interrogent le patient sur ses symptômes, formulent des hypothèses diagnostiques classées par probabilité et orientent l'utilisateur vers le niveau de soin et la spécialité appropriée, sans se substituer au médecin [8]. Ces outils sont particulièrement

Chapitre I : Étude des pathologies locomotrices et des approches numériques de prise en charge et d'aide au diagnostic

utiles pour les populations dont l'accès aux structures de santé est limité, comme les zones rurales et les régions faiblement dotées en spécialistes.

Plusieurs évaluations cliniques confirment l'intérêt de ces outils. Une étude menée aux urgences a montré qu'un vérificateur de symptômes de référence atteignait une sensibilité diagnostique d'environ 70 % (diagnostic correct parmi ses cinq premières hypothèses), proche de celle des médecins (environ 69 %), tout en proposant une orientation jugée sûre dans la grande majorité des cas [8]. Une autre étude comparant plusieurs systèmes a montré que les modèles de langage récents obtenaient des taux de diagnostics pertinents du même ordre que les vérificateurs de symptômes établis [9]. Ces résultats imposent toutefois une exigence de prudence : l'orientation proposée par l'IA doit toujours être confirmée par un professionnel de santé, et la détection fiable des situations urgentes constitue un critère de sécurité essentiel.

Dans PosturaCare, cette approche constitue le cœur du parcours patient. À partir du pré-formulaire rempli par le patient (localisation de la douleur, type, ancienneté et intensité), un moteur d'IA fondé sur le modèle Google Gemini génère un pré-diagnostic structuré : il propose une ou plusieurs hypothèses, leur associe un pourcentage de probabilité, identifie d'éventuels signes d'urgence et oriente le patient vers la spécialité adaptée (médecine générale, orthopédie, rhumatologie, neurologie ou kinésithérapie). Lorsqu'un signal d'alerte est détecté, l'application invite immédiatement le patient à contacter les services d'urgence. Si le patient choisit de poursuivre vers un avis médical, l'IA prépare un questionnaire approfondi adapté à la zone concernée afin de constituer un dossier complet pour le médecin. À aucun moment ce pré-diagnostic ne remplace le jugement du praticien : il prépare et oriente la consultation, le diagnostic officiel restant posé par le médecin.

Maintenant que les bases technologiques ont été présentées, il est pertinent d'examiner les applications et travaux existants dans ce domaine, afin de situer PosturaCare par rapport aux solutions actuelles.

6. État de l'art sur les applications mobiles d'évaluation et d'orientation médicale

6.1. Critères de comparaison

Afin de comparer les applications existantes, nous avons retenu un ensemble de critères communs aux deux tableaux, centrés sur le parcours de soins : la présence d'un pré-diagnostic ou d'une orientation par intelligence artificielle ; la possibilité d'une téléconsultation ou d'un lien direct avec un médecin ; la gestion d'un dossier patient numérique ; l'analyse posturale par photo ; le suivi en rééducation par un kinésithérapeute ; la collaboration entre plusieurs médecins ; la prise de rendez-vous et la géolocalisation des praticiens ; et la disponibilité en Algérie.

6.2. Présentation des applications existantes

Les solutions numériques existantes dans ce domaine peuvent être regroupées en trois grandes familles. La première rassemble les applications grand public d'analyse posturale par photo, comme APECS, PostureScreen, ePose ou Slouch AI, qui mesurent des angles ou des écarts de posture à partir d'images prises par l'utilisateur lui-même. La deuxième regroupe les applications de rééducation guidée, telles que Kaia Health, qui proposent des programmes d'exercices suivis par vidéo. La troisième correspond aux outils d'orientation médicale par intelligence artificielle, comme Ada Health, qui interrogent l'utilisateur sur ses symptômes pour suggérer des hypothèses diagnostiques et une spécialité à consulter.

Chacune de ces familles n'adresse toutefois qu'une partie du parcours de soin. Les applications posturales s'arrêtent à la mesure et ne transmettent aucun résultat à un professionnel de santé ; les applications de rééducation supposent qu'un diagnostic a déjà été posé ailleurs ; les assistants d'orientation par IA ne font pas le lien avec un médecin réel ni avec un kinésithérapeute. Le Tableau 1 compare les solutions les plus représentatives selon les critères définis précédemment et les situe par rapport à PosturaCare

Tableau 1 : Comparaison des applications mobiles d'évaluation posturale existantes

Critères	APECS	Posture Screen	ePose	Slouch AI	Kaia Health	Ada Health	PosturaCare
Pré-diagnostic / orientation par IA	X	X	X	X	X	✓	✓
Téléconsultation / lien médecin	X	X	X	X	X	X	✓
Dossier patient numérique	X	✓	X	X	✓	X	✓
Analyse posturale par photo	✓	✓	✓	✓	Partielle	X	✓
Suivi en rééducation (kiné)	X	X	X	X	✓	X	✓

Chapitre I : Étude des pathologies locomotrices et des approches numériques de prise en charge et d'aide au diagnostic

Collaboration entre médecins	X	X	X	X	X	X	✓
Prise de RDV / géolocalisation	X	X	X	X	X	X	X
Disponible en Algérie	X	X	X	X	X	X	✓

L'analyse comparative montre que PosturaCare se distingue par son intégration d'un kinésithérapeute comme acteur à part entière du système, son questionnaire adaptatif IA, et son mécanisme d'orientation proposée vers le(s) professionnel(s) selon la spécialité. Aucune des solutions existantes ne propose une telle approche multiacteurs couvrant simultanément médecin, kinésithérapeute et administrateur.

6.3. Comparaison entre les applications existantes

Au-delà de la comparaison tabulaire, plusieurs constats importants ressortent de cette analyse. D'abord, toutes les applications existantes sont orientées vers l'utilisateur individuel, sans lien structuré avec un professionnel de santé : le patient utilise l'application seul, sans pouvoir transmettre ses résultats à un médecin directement depuis l'outil. Ensuite, aucune ne propose de coordination entre le médecin et le kinésithérapeute pour assurer la continuité du suivi après le diagnostic. Enfin, les solutions internationales ne sont pas adaptées au contexte algérien, ni en termes de langue, ni en termes d'accessibilité ou de structure du système de santé local. Ces lacunes constituent l'opportunité principale que PosturaCare cherche à combler.

6.4. Applications e-santé existantes en Algérie

Le secteur de l'e-santé se développe en Algérie, porté par plusieurs applications récentes. eSiha, lancée à Alger en 2019, propose la géolocalisation des praticiens, la prise de rendez-vous, la téléconsultation et un dossier de santé numérique, et revendique plus de 50 000 téléchargements [10]. DZDOC, créée par Rachid Maou, met en relation médecins et patients [11]. Symloop, basée à Sétif, fournit aux cabinets la téléconsultation, le dossier médical électronique et l'ordonnance numérique [12]. RDVToubib, enfin, se limite à la prise de rendez-vous géolocalisée [13]. À ces solutions s'ajoutent Beesiha, qui propose la prise de rendez-vous, la téléconsultation et la gestion des dossiers [14], et Tabibe, centrée sur la prise de rendez-vous en ligne [15]. Toutes ces applications facilitent l'accès au médecin, mais aucune ne propose de pré-diagnostic par l'IA, d'analyse posturale ou de suivi par un kinésithérapeute. Le Tableau 2 les compare à PosturaCare.

Au-delà de ces applications commerciales, le contexte algérien se caractérise par une dynamique nationale récente autour de la santé numérique. Le secteur hospitalier a engagé l'intégration de l'intelligence artificielle dans l'aide au diagnostic, dans le cadre de la feuille de route de numérisation du ministère de la Santé [7]. Cette dynamique répond à un besoin documenté : les troubles locomoteurs y sont fréquents, une étude conduite dans l'Ouest algérien

Chapitre I : Étude des pathologies locomotrices et des approches numériques de prise en charge et d'aide au diagnostic

ayant montré qu'environ un salarié sur deux déclarait des douleurs musculosquelettiques au cours de l'année [1]. Pourtant, aucune des solutions disponibles, qu'elle soit commerciale ou issue de travaux académiques, ne couvre la chaîne complète allant de la déclaration de la douleur (pré-diagnostic assisté par intelligence artificielle, diagnostique IA poussé validé par un médecin) au suivi en rééducation par un kinésithérapeute (à savoir la coordination entre le médecin et le kinésithérapeute et le suivi du patient par le kinésithérapeute à travers la solution numérique). Contrairement à ces solutions, PosturaCare couvre le suivi complet du cycle de vie de la douleur du système locomoteur du patient du diagnostic IA de la douleur validé par le médecin de la spécialité au suivi de la rééducation à l'aide de consignes et de vidéos par un kinésithérapeute.

Tableau 2 : Comparaison des applications e-santé algériennes avec PosturaCare

Critères	eSiha	DZDOC	Symloop	RDVToubib	Beesiha	Tabibe	PosturaCare
Pré-diagnostic / orientation par IA	X	X	X	X	X	X	✓
Téléconsultation / lien médecin	✓	✓	✓	X	✓	X	✓
Dossier patient numérique	✓	X	✓	X	✓	X	✓
Analyse posturale par photo	X	X	X	X	X	X	✓
Suivi en rééducation (kiné)	X	X	X	X	X	X	✓

Chapitre I : Étude des pathologies locomotrices et des approches numériques de prise en charge et d'aide au diagnostic

Collaboration entre médecins	X	X	Partielle	X	X	X	✓
Prise de RDV / géolocalisation	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
Disponible en Algérie	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Cette comparaison montre que les applications algériennes existantes se concentrent sur la prise de rendez-vous et la téléconsultation générale. Aucune ne couvre le parcours complet visé par PosturaCare : pré-diagnostic par IA, diagnostique posturale poussée validé par un médecin, collaboration entre plusieurs médecins et suivi de la rééducation du patient par un kinésithérapeute. PosturaCare réunit tous ces critères et cela permet de la distinguer dans le contexte algérien.

6.5. Disponibilité de ce type d'application en Algérie

L'analyse du marché algérien confirme qu'à ce jour, aucune application mobile dédiée à la gestion complète du parcours de soins locomoteurs n'est disponible localement. Les solutions internationales existantes ne sont pas adaptées au contexte algérien, ni en termes de langue, ni par rapport à l'organisation du système de santé public. Par ailleurs, les applications algériennes présentées dans le Tableau 2 se limitent à la prise de rendez-vous et à la téléconsultation générale. Aucun ne propose un lien structuré entre les différents acteurs de la prise en charge, du patient jusqu'au spécialiste. Cette double lacune, à la fois commerciale et académique, justifie la création d'une application pivot comme PosturaCare, et renforce sa pertinence dans le contexte algérien.

6.6. Synthèse et positionnement de notre proposition

L'analyse de l'état de l'art fait ressortir un fossé clair entre les besoins du patient et les outils disponibles. Les applications grand public mesurent une posture mais s'arrêtent à l'utilisateur isolé ; les outils d'orientation par IA suggèrent des hypothèses sans relais vers un soignant ; les applications de rééducation interviennent seulement une fois le diagnostic déjà posé. À aucun moment ces solutions ne relient, au sein d'un même outil, la déclaration de la douleur, l'orientation médicale, le diagnostic posé par un médecin et le suivi assuré par un kinésithérapeute. En Algérie, ce fossé est accentué par la concentration des spécialistes dans les grandes villes et par l'absence d'une application locale couvrant ce parcours.

Notre proposition vise précisément à réduire ce fossé en réunissant tout le parcours dans une seule application mobile, organisée autour de quatre acteurs (patient, médecin, kinésithérapeute et administrateur). Elle agit sur les manques identifiés de la manière suivante. Au manque de lien avec un soignant, elle répond par la transmission directe du dossier au médecin et par une messagerie sécurisée entre les acteurs. À l'absence de coordination après le diagnostic, elle répond par le transfert automatique du diagnostique IA confirmé par le médecin

et du dossier validé au kinésithérapeute. Mais aussi, par la possibilité, pour le médecin, de solliciter d'autres spécialistes. À l'inadaptation des solutions étrangères, elle répond par une application pensée pour le contexte algérien et alignée sur l'organisation locale des soins. L'analyse posturale par photo, lorsqu'elle est pertinente, vient compléter ce parcours sans jamais s'y substituer.

Ainsi positionnée, PosturaCare ne se présente pas comme un nouvel outil de mesure posturale parmi d'autres, mais comme une application pivot reliant le domicile du patient au cabinet du praticien.

7. Conclusion

Ce premier chapitre a permis d'établir le contexte médical, technologique et applicatif de PosturaCare. Nous avons présenté les principaux troubles locomoteurs et leur ampleur, les méthodes d'évaluation cliniques et leurs limites, le rôle de la télémédecine dans la continuité du suivi, l'apport de l'intelligence artificielle comme outil d'aide à la décision clinique (l'analyse posturale par vision restant une fonctionnalité complémentaire), et enfin les applications et travaux existants, en particulier en Algérie. Cet état de l'art met en évidence un manque important : aucune solution existante ne propose de lien structuré entre le patient, le médecin et le kinésithérapeute au sein d'une même application. Les outils actuels restent soit des applications grand public sans suivi professionnel, soit des prototypes académiques non déployés. PosturaCare se propose d'être une application pivot, dont l'objectif est de connecter le domicile du patient au cabinet médical, en cassant la distance qui freine l'accès aux soins spécialisés. Le chapitre suivant présentera la conception du système et les diagrammes fonctionnels.

Chapitre II : Analyse des besoins et conception du système

1. Introduction

Ce chapitre est consacré à l'analyse et à la conception de l'application PosturaCare. Nous commençons par identifier les acteurs du système et exprimer leurs besoins fonctionnels et non fonctionnels de manière structurée. Nous décrivons ensuite l'architecture générale avant de présenter les diagrammes UML originaux modélisant le comportement et la structure de l'application.

2. Expression des besoins

2.1. Identification des acteurs

PosturaCare est un système multi acteurs intégrant quatre types d'utilisateurs distincts, chacun disposant d'un espace fonctionnel dédié :

- Le Patient : utilisateur principal qui crée son compte, répond au questionnaire adaptatif IA, capture ses photos posturales, visualise l'analyse ML Kit et consulte son diagnostic ainsi que les réponses des professionnels de santé.
- Le Médecin : professionnel de santé qui consulte les dossiers patients qui lui sont orientés selon sa spécialité, analyse les diagnostics IA et les images posturales annotées, rédige ses recommandations et peut, pour les cas complexes, créer un groupe de spécialistes afin de recueillir des avis complémentaires auprès d'autres médecins.
- Le Kinésithérapeute : professionnel de rééducation qui accède aux images posturales annotées par ML Kit, propose des programmes de rééducation personnalisés et assure le suivi de l'évolution du patient.
- L'Administrateur : gestionnaire du système qui crée et gère les comptes médecins et kinésithérapeutes, supervise les orientations proposées vers les praticiens, modère les contenus et assure le bon fonctionnement de l'application.

2.2. Besoins fonctionnels

Le tableau suivant présente une synthèse structurée des besoins fonctionnels par acteur, avec une description détaillée de chaque fonctionnalité.

Tableau 3 : Récapitulatif des besoins fonctionnels par acteur

Fonctionnalité	Description détaillée	Patient	Médecin / Kiné	Administrateur
Authentification sécurisée	Inscription par email, connexion, réinitialisation du mot de passe. Détection automatique du rôle et redirection vers l'interface appropriée.	✓ Auto-inscription	✓ Compte créé par Admin	✓ Compte système
Questionnaire adaptatif IA	Questions enchaînées dynamiquement selon les réponses précédentes. Branchement conditionnel selon la zone douloureuse et les symptômes déclarés.	✓ Répond	✓ Consulte résumé	—
Pré-diagnostic IA (API Gemini)	Génération d'hypothèses diagnostiques classées par probabilité via l'API Gemini, à partir des réponses au questionnaire. Stocké dans Firestore.	✓ Reçoit	✓ Valide / complète	—
Capture photos posturales	Guidage par silhouettes de référence pour 3 photos standardisées (face, profil, dos). Validation du cadrage avant capture.	✓ Capture	✓ Consulte images	—

Chapitre II : Analyse des besoins et conception du système

Analyse ML Kit (jusqu'à 33 landmarks détectés)	Détection on-device des 33 points anatomiques BlazePose. Calcul d'indicateurs : asymétrie épaules, inclinaison tête, déséquilibre bassin.	✓ Visualise	✓ Analyse annotée	—
Stockage Cloudinary	Upload des images posturales annotées vers Cloudinary. URLs stockées dans Firestore pour accès multi-acteurs.	✓ Soumet	✓ Accède	—
Orientation proposée vers le praticien	Le système propose une orientation automatique vers un praticien selon les spécialités retournées par l'IA et les profils disponibles dans Cloud Firestore. Dans la version actuelle du prototype, cette logique est gérée sans Firebase Cloud Functions afin de rester compatible avec le plan gratuit Firebase Spark.	✓ Reçoit prof.	✓ Reçoit dossiers	✓ Supervise
Groupe médical multi-spécialité	Création de groupes médecin + kinésithérapeute pour les cas complexes nécessitant une coordination inter-professionnelle.	—	✓ Participe	—
Programme de rééducation	Proposition d'exercices personnalisés selon le profil postural. Suivi de la progression avec historique des séances.	✓ Suit	✓ Kiné: propose	—
Revue des dossiers	Accès au dossier complet : questionnaire, diagnostic IA, photos annotées avec landmarks, historique des analyses précédentes.	—	✓ Consulte	✓ Accès global

Chapitre II : Analyse des besoins et conception du système

Gestion des comptes	Création des comptes médecins et kinésithérapeutes avec attribution précise des spécialités et droits d'accès.	—	—	✓ Crée / gère
Statistiques & supervision	Tableau de bord global : nombre de consultations, taux d'orientation, statistiques d'utilisation par acteur.	—	—	✓ Consulte

2.3. Besoins non fonctionnels

Au-delà des fonctionnalités, PosturaCare doit répondre à des exigences de qualité essentielles que le tableau suivant détaille de manière structurée.

Tableau 4 : Besoins non fonctionnels de l'application PosturaCare

Catégorie	Exigence	Mesure / Objectif	Justification technique
Sécurité	Chiffrement des données médicales	TLS 1.3 en transit, AES-256 au repos	Données médicales sensibles soumises au secret médical. Firebase assure le chiffrement natif.
	Contrôle d'accès par rôles	Firestore Security Rules par uid + rôle	Chaque acteur n'accède qu'aux données qui le concernent. Vérification côté serveur.
	Authentification forte	Firebase Auth avec confirmation email	Protège contre les comptes frauduleux, essentiel pour la crédibilité médicale.
	Protection contre un accès non autorisés aux ressources Firebase	Firebase App Check (Play Integrity / App Attest)	Limit l'accès aux services Firebase aux instances authentiques de l'application. Cloudflare Worker masque les clés Gemini et Cloudinary côté serveur.
Performance	Analyse posturale rapide	Objectif < 2 s (selon benchmarks BlazePose [3])	ML Kit on-device évite les latences réseau. Benchmark sur Pixel 6 : ~0.8 s.
	Synchronisation temps réel	Délai < 1 s via Firestore listeners	Firebase WebSocket garantit la synchronisation instantanée entre acteurs.

Fiabilité	Analyse posturale indicative	Indicateurs posturaux cohérents et reproductibles [3]	BlazePose validé dans la littérature. ML Kit détecte jusqu'à 33 landmarks couvrant l'ensemble du corps, dont une quinzaine sont exploités dans PosturaCare : nez, oreilles, épaules, coudes, poignets, hanches, genoux et chevilles.
	Orientation cohérente	Correspondance entre la spécialité proposée par l'IA et les profils disponibles	Le système vérifie la cohérence entre les spécialités proposées par l'IA et les profils professionnels disponibles dans Firestore.
Utilisabilité	Interface intuitive	Prise en main < 5 min sans formation	Design Material Design, protocole de capture guidé par silhouettes de référence.
Évolutivité	Architecture modulaire	Ajout spécialité sans refactoring	Collections Cloud Firestore séparées, services Flutter modulaires et Cloudflare Worker indépendant pour les appels externes sécurisés.
Maintenabilité	Documentation technique	Code Flutter commenté, README complet	Facilite la maintenance et l'extension future du système.

3. Conception de l'application

3.1. Diagramme de cas d'utilisation

Les cas d'utilisation [16], regroupés dans un diagramme unique (Figure 3), illustrent l'ensemble des interactions entre les quatre acteurs. On y distingue quatre périmètres d'action distincts : le périmètre patient centré sur le diagnostic et le suivi, le périmètre médecin centré sur la revue et le traitement des dossiers, le périmètre kinésithérapeute centré sur la rééducation, et le périmètre administrateur centré sur la gouvernance de l'application.



Figure 3 : Diagramme de cas d'utilisation – Système de rééducation

Lecture du diagramme :

- Le Patient: inscription/connexion, questionnaire adaptatif, réception du pré-diagnostic IA Gemini, capture et analyse photo ML Kit, consultation du dossier et des réponses médicales messagerie avec professionnels.
- Le Médecin : inscription/connexion consultation des patients assignés, accès au dossier complet, rédaction du diagnostic et recommandations, participation aux groupes médicaux multi-spécialité messagerie avec patients.
- Le Kinésithérapeute: inscription/connexion visualisation des images posturales, proposition de programme de rééducation, suivi rééducation, messagerie avec professionnels.
- L'Administrateur: création et gestion des comptes médecins et kinésithérapeutes, supervision des orientations proposées, statistiques.

3.2. Diagramme de séquence Authentification et création de compte

Ce diagramme de séquence, présenté à la Figure 4, modélise les échanges chronologiques lors de l'inscription puis de l'authentification des acteurs. Il fait intervenir les quatre acteurs (patient, médecin, kinésithérapeute et administrateur) ainsi que l'application PosturaCare, qui s'appuie en arrière-plan sur Firebase Authentication et Cloud Firestore. La phase d'inscription distingue le cas du patient de celui des professionnels de santé, lesquels doivent saisir un code d'inscription.

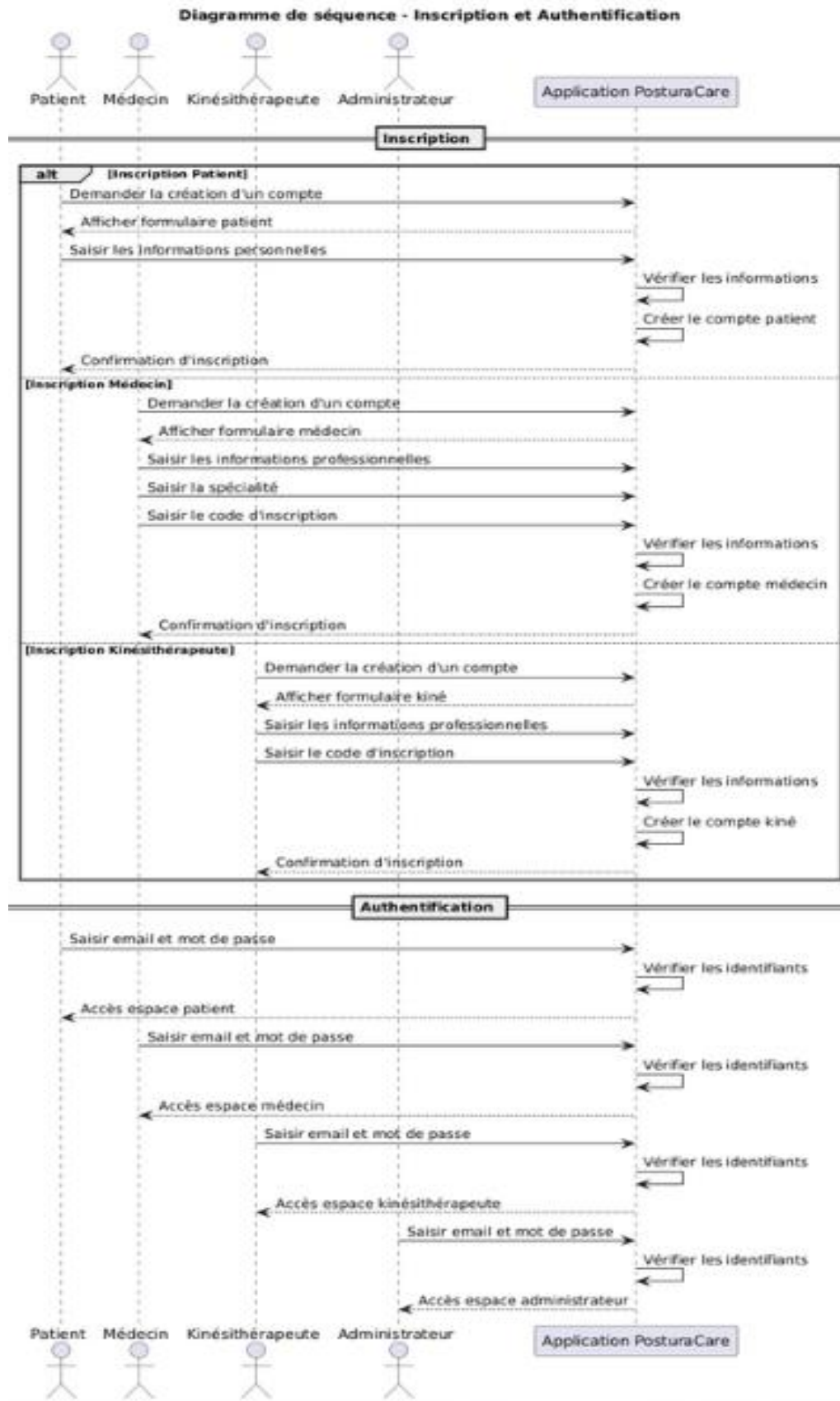


Figure 4 : Diagramme de séquence – Inscription et authentification

Description ligne par ligne du scénario nominal :

1. L'administrateur génère une invitation contenant un code d'activation pour un médecin ou un kinésithérapeute.
2. L'application mobile envoie une demande au service d'invitation afin de créer un code professionnel.
3. Le service d'invitation génère le code d'activation et le retourne à l'application mobile.
[Code généré]
4. L'administrateur transmet le code d'activation au professionnel de santé concerné.
5. Si l'utilisateur est un patient, il saisit son nom, prénom, numéro de téléphone, email et mot de passe dans l'interface Flutter, puis valide le formulaire.
6. L'interface Flutter appelle `createUserWithEmailAndPassword()` sur Firebase Authentication.
7. Firebase Authentication crée le compte patient et retourne une confirmation à l'interface Flutter. [Compte créé]
8. L'interface Flutter crée un document utilisateur dans Cloud Firestore avec le rôle patient.
9. Cloud Firestore confirme l'enregistrement du profil utilisateur. [Profil enregistré]
10. Le patient saisit ensuite ses identifiants pour se connecter.
11. L'interface Flutter appelle `signInWithEmailAndPassword()` sur Firebase Authentication.
12. Firebase Authentication vérifie les identifiants et confirme la connexion.
[Authentification réussie]
13. L'interface Flutter lit le profil utilisateur dans Cloud Firestore afin de récupérer son rôle.
14. Cloud Firestore retourne le rôle patient.
15. L'application redirige l'utilisateur vers son espace patient.
16. Si l'utilisateur est un médecin ou un kinésithérapeute, il saisit ses informations personnelles, son email, son mot de passe ainsi que le code d'activation reçu.
17. L'interface Flutter envoie le code d'activation au service d'invitation pour vérification.
18. Le service d'invitation vérifie le code et retourne une confirmation à l'application.
[Code valide]

19. L'interface Flutter appelle `createUserWithEmailAndPassword()` sur Firebase Authentication.
20. Firebase Authentication crée le compte professionnel et retourne une confirmation à l'interface Flutter. [Compte créé]
21. L'interface Flutter crée un document utilisateur dans Cloud Firestore avec le rôle medecin ou kine.
22. Cloud Firestore confirme l'enregistrement du profil professionnel. [Profil enregistré]
23. Le médecin ou le kinésithérapeute saisit ensuite ses identifiants pour se connecter.
24. L'interface Flutter appelle `signInWithEmailAndPassword()` sur Firebase Authentication.
25. Firebase Authentication vérifie les identifiants et confirme la connexion. [Authentification réussie]
26. L'interface Flutter lit le profil utilisateur dans Cloud Firestore afin de récupérer son rôle.
27. Cloud Firestore retourne le rôle medecin ou kine.
28. L'application redirige l'utilisateur vers son espace professionnel.

Scénarios alternatifs : [A1] Si l'email est déjà utilisé, Firebase Authentication retourne une erreur et l'interface affiche un message indiquant que cette adresse email est déjà associée à un compte. [A2] Si les identifiants sont incorrects lors de la connexion, Firebase Authentication retourne une erreur et l'application propose la réinitialisation du mot de passe par email. [A3] Si le code d'activation saisi par le médecin ou le kinésithérapeute est invalide ou expiré, le service d'invitation refuse la validation et l'interface affiche un message d'erreur. [A4] Si le compte existe dans Firebase Authentication mais que le profil n'est pas trouvé dans Cloud Firestore, l'application bloque l'accès et affiche un message demandant de contacter l'administrateur.

3.3. Diagramme de séquence Pré-diagnostic IA complet

Le diagramme de séquence de la Figure 5 présente le flux complet d'un diagnostic PosturaCare. Il fait intervenir le patient, le médecin et le kinésithérapeute, ainsi que l'application mobile, le moteur Gemini, Google ML Kit (on-device) et les services système. Le processus est organisé en quatre phases successives.

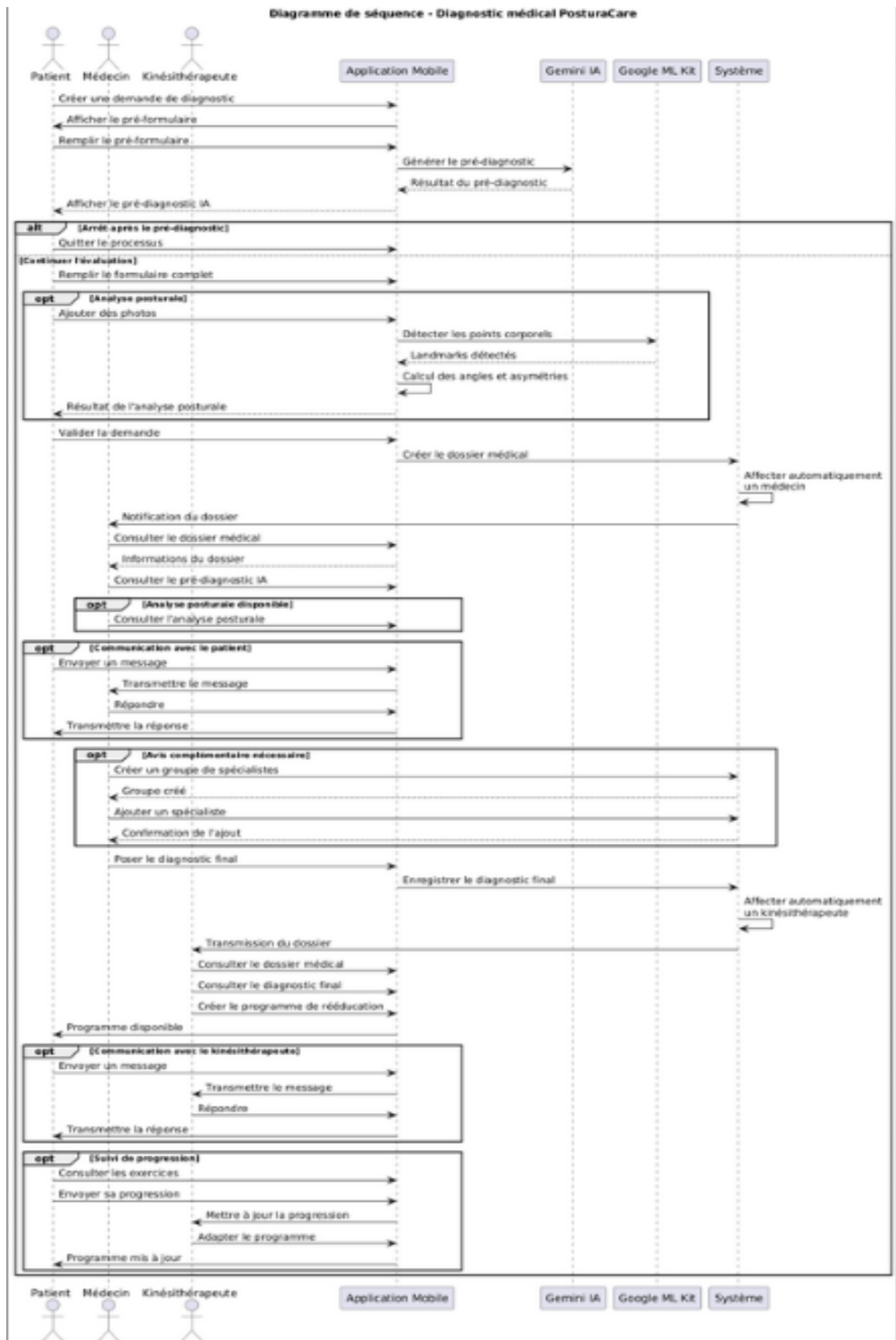


Figure 5 : Diagramme de séquence – Diagnostic médical

Description des phases :

→**Phase 1, évaluation initiale par l'IA :**

1. Le patient crée une demande de diagnostic et remplit le pré-formulaire : zone douloureuse sur le schéma corporel, type de douleur, intensité et durée.
2. L'application transmet ces informations, via le Cloudflare Worker, au service Gemini.
3. Gemini génère une évaluation provisoire comprenant des hypothèses, la spécialité suggérée et une éventuelle urgence.
4. L'application affiche cette évaluation au patient, qui choisit alors de s'arrêter ou de poursuivre.

→**Phase 2, évaluation approfondie (optionnelle) :**

5. S'il poursuit, l'application demande à Gemini un examen approfondi adapté au cas du patient.
6. Gemini retourne une série de questions et de tests complémentaires, auxquels le patient répond en remplissant le formulaire complet.
7. De façon optionnelle, le patient peut ajouter des photos : ML Kit détecte alors, directement sur l'appareil, les points anatomiques, et l'application calcule des indicateurs posturaux (angles, asymétries) qui sont joints au dossier.

→**Phase 3, création et affectation du dossier :**

8. Après validation du formulaire complet, l'application crée un dossier médical dans Cloud Firestore.
9. Le dossier est affecté automatiquement à un médecin selon sa spécialité et sa charge de travail, lequel est aussitôt notifié.

→**Phase 4, validation médicale et prise en charge :**

10. Le médecin consulte le dossier et peut, si nécessaire, créer un groupe de spécialistes pour recueillir des avis complémentaires.

11. Le médecin valide le diagnostic IA ou propose un autre diagnostique final, qui est transmis automatiquement à un kinésithérapeute.

12. Le kinésithérapeute consulte le dossier et le diagnostic, crée un programme de rééducation composé d'exercices, puis suit la progression du patient.

13. Tout au long du parcours, le patient échange avec le médecin et le kinésithérapeute via la messagerie.

3.4. Diagramme de classe

Le diagramme de classe de la Figure 6 représente la structure statique du système PosturaCare. Il modélise les principales classes du système, reliées selon le parcours de soins, d'héritage, de composition et d'association.

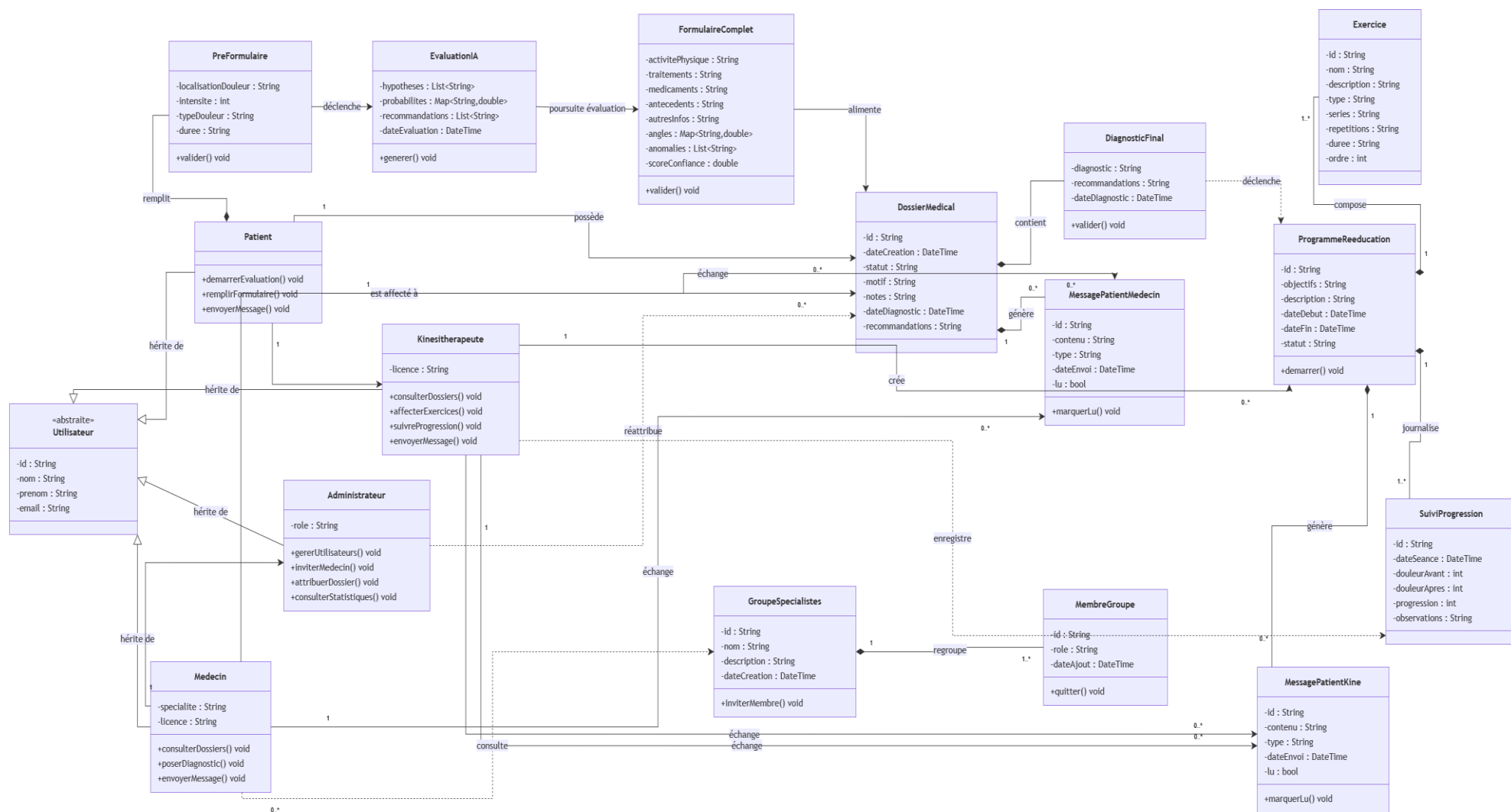


Figure 6 : Diagramme de classes

Description des classes et relations :

- Utilisateur (classe abstraite) : attributs id, nom, prenom et email. Classe mère dont héritent les quatre acteurs ; elle factorise les informations communes d'identité et d'authentification.
- Patient : hérite d'Utilisateur. Méthodes demarrerEvaluation(), remplirFormulaire() et envoyerMessage(). Acteur principal à l'origine du parcours de soins.
- Médecin : hérite d'Utilisateur ; attributs specialite et licence. Méthodes consulterDossiers(), poserDiagnostic() et envoyerMessage().
- Kinésithérapeute : hérite d'Utilisateur ; attribut licence. Méthodes consulterDossiers(), affecterExercices(), suivreProgression() et envoyerMessage().
- Administrateur : hérite d'Utilisateur ; attribut role. Méthodes gererUtilisateurs(), inviterMedecin(), attribuerDossier() et consulterStatistiques().
- PreFormulaire : attributs localisationDouleur, intensite, typeDouleur et duree. Méthode valider(). Rempli par le patient, il déclenche l'évaluation par l'IA.
- EvaluationIA : attributs hypotheses, probabilites, recommandations et dateEvaluation. Méthode generer(). Produite par le moteur d'IA à partir du pré-formulaire.
- FormulaireComplet : attributs activitePhysique, traitements, medicaments, antecedents, autresInfos, angles, anomalies et scoreConfiance. Méthode valider(). Rempli uniquement si le patient poursuit ; il intègre les indicateurs issus de l'analyse posturale (angles, anomalies) et alimente le dossier médical.
- DossierMedical : attributs id, dateCreation, statut, motif, notes, dateDiagnostic et recommandations. Méthode valider(). Créé après validation du formulaire complet, puis affecté automatiquement à un médecin.
- DiagnosticFinal : attributs diagnostic, recommandations et dateDiagnostic. Méthode valider(). Établi par le médecin, il est contenu dans le dossier médical et déclenche le programme de rééducation.
- ProgrammeReeducation : attributs id, objectifs, description, dateDebut, dateFin et statut. Méthode demarrer(). Créé par le kinésithérapeute, il se compose d'exercices.
- Exercice : attributs id, nom, description, type, series, repetitions, duree et ordre. Compose un programme de rééducation.
- SuiviProgression : attributs id, dateSeance, douleurAvant, douleurApres, progression et observations. Journalisé au fil des séances pour mesurer l'évolution du patient.

- **GroupeSpecialistes** : attributs `id`, `nom`, `description` et `dateCreation`. Méthode `inviterMembre()`. Créé par le médecin afin de recueillir des avis complémentaires.
- **MembreGroupe** : attributs `id`, `role` et `dateAjout`. Méthode `quitter()`. Représente l'appartenance d'un professionnel à un groupe de spécialistes.
- **MessagePatientMedecin** et **MessagePatientKine** : attributs `id`, `contenu`, `type`, `dateEnvoi` et `lu`. Méthode `marquerLu()`. Modélisent les échanges de la messagerie, respectivement entre le patient et le médecin, et entre le patient et le kinésithérapeute.

Ces classes s'enchaînent selon le parcours de soins : le patient remplit un pré-formulaire qui produit une évaluation IA ; s'il poursuit, un formulaire complet et une éventuelle analyse posturale alimentent un dossier médical, affecté automatiquement à un médecin ; celui-ci peut créer un groupe de spécialistes avant d'établir le diagnostic final, transmis au kinésithérapeute qui construit un programme de rééducation composé d'exercices et assure le suivi de la progression. La messagerie relie l'ensemble des acteurs.

4. Conclusion

Ce chapitre a présenté l'analyse complète des besoins fonctionnels et non fonctionnels de PosturaCare à travers des tableaux structurés enrichis, l'identification des quatre acteurs principaux (patient, médecin, kinésithérapeute, administrateur), ainsi que la conception du système à travers quatre diagrammes UML originaux. L'architecture technique retenue Flutter + Firebase + Firebase App Check + Google ML Kit + API Gemini + Cloudflare Worker + Cloudinary permet de répondre aux exigences de performance, de sécurité et de fiabilité d'une application médicale multiacteurs. Le chapitre suivant présentera la réalisation concrète de l'application et les interfaces développées pour chaque acteur.

Chapitre III : Réalisation et implémentation de l'application mobile proposée

1. Introduction

Ce chapitre présente la réalisation concrète de l'application mobile PosturaCare. Nous commençons par décrire les outils et technologies utilisés pour développer l'application, puis nous présentons les différentes interfaces réalisées en suivant le parcours complet de chaque utilisateur : du patient qui déclare sa douleur jusqu'au kinésithérapeute qui assure son suivi de rééducation, en passant par le médecin qui pose le diagnostic et l'administrateur qui gère l'application.

2. Architecture générale de la solution

Avant de détailler les composants techniques, il est utile de décrire le fonctionnement général du système du point de vue de l'utilisateur. Le parcours commence lorsque le patient télécharge l'application, crée un compte puis se connecte. Il ouvre alors une demande de diagnostic en renseignant un court pré-formulaire : il localise sa douleur sur un schéma corporel (de face ou de dos), précise le type de douleur, son ancienneté et son intensité sur une échelle visuelle analogique (EVA). À partir de ces éléments, un pré-diagnostic est généré par l'intelligence artificielle (Gemini), qui propose les causes possibles accompagnées d'un pourcentage de vraisemblance. Le patient choisit ensuite de s'arrêter à ce stade ou de poursuivre vers un avis médical.

S'il poursuit, le patient répond à un questionnaire plus approfondi et peut joindre si nécessaire des photos analysées sur l'appareil par Google ML Kit. À l'envoi, un dossier est créé et un médecin est automatiquement affecté selon la spécialité. Le patient et le médecin échangent ensuite via une messagerie intégrée (messages, photos, vidéos et messages vocaux). Si besoin, le médecin sollicite d'autres médecins selon leur spécialité pour l'aider à statuer. Une fois le diagnostic final posé, il clôture le dossier, qui est transmis à un kinésithérapeute.

Le kinésithérapeute consulte le verdict, propose un programme de rééducation à savoir des consignes à suivre et des exercices décrits à l'aide de vidéos proposées. Il affecte le

programme au patient il peut aussi ajouter, supprimer ou modifier les exercices proposés et reste en contact avec le patient.

L'administrateur supervise l'ensemble : gestion des comptes des praticiens, modération et bon fonctionnement du système. Les composants techniques décrits ci-dessous soutiennent ce parcours de bout en bout.

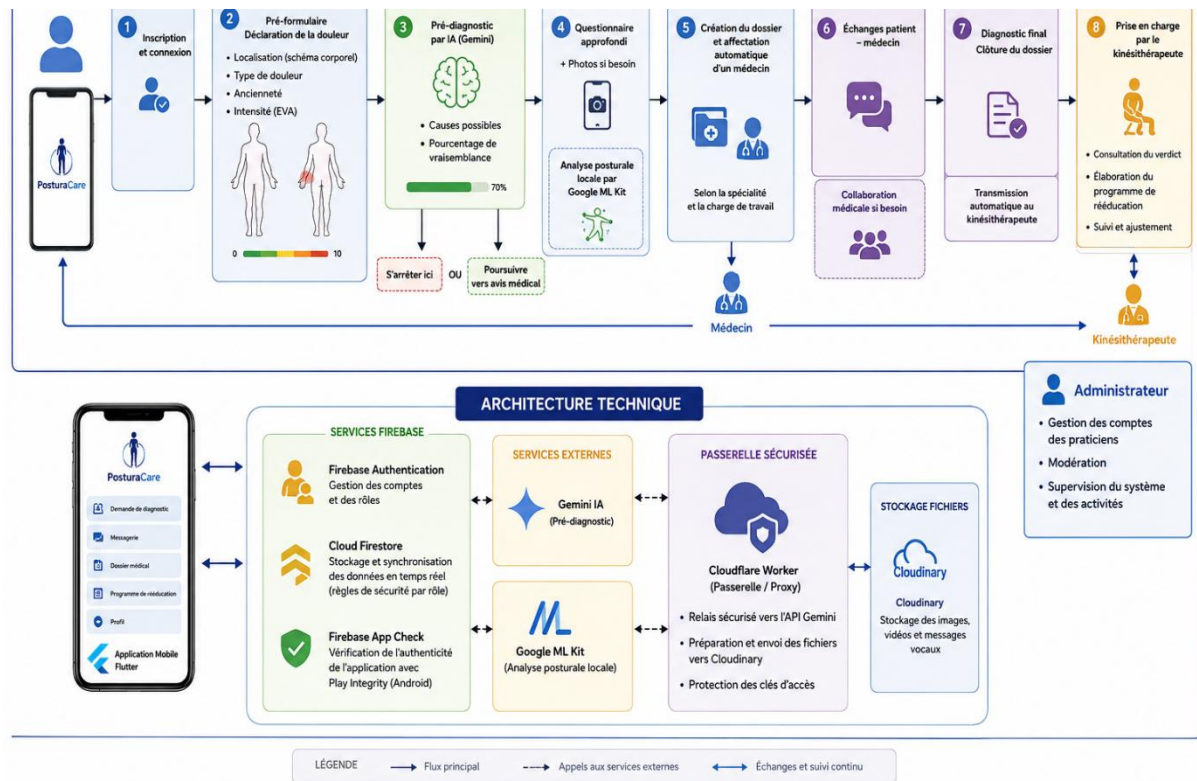


Figure 7 : Parcours de la demande de diagnostic et architecture technique du système

Pour en faciliter la lecture, les principales étapes de ce parcours, depuis l'inscription du patient jusqu'à la clôture de la demande, sont récapitulées ci-dessous :

1. Inscription et authentification du patient.
2. Ouverture d'une demande et déclaration de la douleur : localisation sur le schéma corporel, type, ancienneté et intensité sur l'échelle visuelle analogique (EVA).
3. Génération du pré-diagnostic par l'intelligence artificielle (Gemini), puis choix du patient de s'arrêter à ce stade ou de poursuivre vers un avis médical.
4. Questionnaire approfondi et, le cas échéant, analyse posturale réalisée localement.
5. Création automatique du dossier et affectation d'un médecin selon la spécialité requise.

6. Échanges entre le patient et le médecin via la messagerie intégrée et, si nécessaire, collaboration avec d'autres médecins pour statuer.
7. Établissement du diagnostic final, clôture du dossier et transmission automatique au kinésithérapeute.
8. Élaboration d'un programme de rééducation et suivi du patient, l'ensemble du système étant supervisé par l'administrateur.

Sur le plan technique, PosturaCare est organisée en plusieurs couches complémentaires, illustrées par la Figure 7 ci-dessus. La couche de présentation est une application mobile développée avec Flutter, dont la gestion d'état repose sur Riverpod et la navigation sur GoRouter ; elle offre une interface dédiée à chacun des quatre rôles. La couche de données et de sécurité s'appuie sur Firebase : l'authentification gère les comptes et les rôles, Cloud Firestore synchronise les données en temps réel selon des règles d'accès propres à chaque acteur, et Firebase App Check vérifie l'authenticité de l'application au moyen de Play Integrity sur Android. L'analyse posturale, enfin, est exécutée localement sur l'appareil par Google ML Kit, de sorte que les images ne quittent pas le téléphone pour cette étape.

Les services externes sensibles ne sont jamais appelés directement depuis l'application. Un Cloudflare Worker joue le rôle de passerelle : il relaie les requêtes vers l'API Gemini et prépare les envois de fichiers vers Cloudinary, où sont stockées les images, les vidéos et les messages vocaux. Cette passerelle évite d'exposer les clés d'accès dans l'application tout en conservant une architecture économique : elle assure le rôle d'un intermédiaire serveur sans recourir au plan payant Firebase Blaze qu'exigeraient les Cloud Functions. À partir des spécialités renvoyées par l'intelligence artificielle et des profils enregistrés dans Firestore, le système oriente ensuite automatiquement la demande vers le praticien le plus adapté.

3. Les outils utilisés

PosturaCare se compose de deux grandes parties : le front-end, l'application mobile que manipule l'utilisateur, et le back-end, les services qui fonctionnent côté serveur. L'application PosturaCare a été développée avec Flutter, un cadre de développement créé par Google qui permet de produire une seule application fonctionnant aussi bien sur Android que sur iOS. La base de données et l'authentification des utilisateurs reposent sur Firebase, un service en ligne proposé par Google. L'analyse posturale des photos s'effectue directement sur l'appareil de

l'utilisateur grâce à l'outil de détection de points anatomiques de Google, ce qui garantit la confidentialité des données médicales. Enfin, l'intelligence artificielle Gemini, utilisée pour le pré-diagnostic, est appelée via un serveur intermédiaire léger qui protège les clés d'accès sensibles et ne les expose jamais dans l'application.

3.1. Environnement de développement

L'environnement de développement utilisé pour réaliser cette application est Visual Studio Code [17], un éditeur de code gratuit et largement utilisé dans le monde du développement logiciel. Il offre une excellente prise en charge du développement Flutter grâce à des extensions dédiées proposées par Google, notamment la complétion automatique du code, la détection d'erreurs et la possibilité de tester l'application en direct sans redémarrer. Les tests ont été réalisés à la fois sur un émulateur Android et sur un appareil physique.

3.2. Langage de programmation (Dart)

Dart est le langage de programmation utilisé pour développer PosturaCare [18]. Il s'agit d'un langage moderne et structuré, créé par Google et conçu spécifiquement pour fonctionner avec Flutter. Il permet notamment de gérer facilement les opérations qui prennent du temps, comme l'envoi de données vers le serveur ou la capture d'une photo, sans bloquer le fonctionnement de l'application.

3.3. Flutter

Flutter est le cadre de développement choisi pour réaliser PosturaCare [19]. Développé et maintenu par Google, il permet de créer une seule application qui fonctionne à la fois sur les appareils Android et iOS. Cela représente un avantage considérable, car il évite de développer deux versions séparées de l'application. Flutter propose également une large bibliothèque de composants visuels prêts à l'emploi, ce qui facilite la création d'interfaces soignées et cohérentes. Son intégration avec les outils médicaux de Google, notamment la détection de points corporels, a également motivé ce choix [20].

3.4. Firebase

Firebase est le service en ligne utilisé pour gérer les données de l'application [21]. Il s'agit d'une solution proposée par Google [22] qui regroupe plusieurs fonctions essentielles

accessibles sans avoir à déployer un serveur propre. Dans PosturaCare, Firebase remplit principalement quatre rôles :

1. Gestion des comptes et des rôles : chaque utilisateur est identifié de manière sécurisée, et l'application lui attribue automatiquement son rôle (patient, médecin, kinésithérapeute ou administrateur) dès la connexion.
2. Base de données en temps réel : toutes les informations (dossiers, messages, diagnostics) sont stockées et synchronisées instantanément entre tous les acteurs, sans que l'utilisateur n'ait à actualiser manuellement.
3. Protection contre les accès non autorisés : un mécanisme de vérification garantit que seules les vraies instances de l'application peuvent accéder aux données, protégeant ainsi les informations médicales des patients.
4. Règles d'accès par rôle : des règles de sécurité définissent précisément ce que chaque acteur peut lire ou modifier, empêchant par exemple un patient d'accéder aux dossiers d'un autre patient.

3.5. Google Gemini

Google Gemini est le modèle d'intelligence artificielle générative utilisé pour produire le pré-diagnostic et guider l'examen approfondi [23]. PosturaCare s'appuie sur la version Gemini 2.5 Flash, retenue pour son compromis entre qualité de raisonnement, rapidité de réponse et coût d'utilisation. Le modèle reçoit les données du patient sous forme d'instructions structurées et renvoie un résultat directement exploitable par l'application (hypothèses, spécialité suggérée, questions complémentaires). Il n'est jamais appelé directement depuis l'application : les requêtes transitent par le Cloudflare Worker, ce qui protège les clés d'accès.

3.6. Cloudflare Workers

Cloudflare Workers est un environnement d'exécution de fonctions serveur légères, utilisé comme passerelle entre l'application et les services externes sensibles [24]. Dans PosturaCare, un Worker relaie les requêtes vers Gemini et prépare l'envoi des médias vers Cloudinary, sans jamais exposer les clés d'accès dans l'application mobile. Cette solution offre un intermédiaire sécurisé et économique, sans nécessiter le déploiement d'un serveur dédié.

3.7. Google ML Kit

Google ML Kit est la bibliothèque de vision par ordinateur utilisée pour l'analyse posturale indicative [25]. Elle s'appuie sur le modèle BlazePose [26], qui détecte automatiquement trente-trois points anatomiques (épaules, hanches, genoux, etc.) à partir d'une simple photographie. Le traitement est réalisé localement, directement sur l'appareil : les photos ne sont pas envoyées à un serveur pour cette étape, ce qui limite l'exposition des données personnelles. À partir de ces points, l'application calcule des indicateurs de posture (alignement des épaules, inclinaison du tronc, asymétrie du bassin) qui complètent le dossier du patient. Contrairement à la photogrammétrie clinique mesurée manuellement, cette détection automatisée rend possible une évaluation posturale assistée, accessible et reproductible à l'échelle d'une application mobile. Ces indicateurs sont fournis à titre purement indicatif et ne constituent pas un diagnostic médical.

Tableau 5 : Récapitulatif des technologies utilisées dans l'application PosturaCare

Technologie	Version / Package	Rôle dans le projet
Flutter	3.x (stable)	Interface mobile multiplateforme (Android + iOS)
Dart	3.x (sound null safety)	Langage de programmation principal
Firebase Authentication	firebase_auth ^5.x	Authentification et gestion des 4 rôles utilisateurs
Cloud Firestore	cloud_firestore ^5.x	Base de données NoSQL en temps réel
Firebase Spark Plan	Plan gratuit Firebase	Utilisation de Firebase Authentication, Cloud Firestore et Firebase App Check sans dépendance à Firebase Cloud Functions.

Cloud Messaging (FCM)	firebase_messaging ^14.x	Intégration préparée pour les notifications push, fonctionnalité prévue en version future nécessitant une configuration serveur
Google ML Kit	google_mlkit_pose_detection ^0.14.x	Détection des principaux landmarks posturaux via ML Kit BlazePose (on-device)
API Google Gemini	gemini-2.5-flash / Cloudflare Worker	Génération du pré-diagnostic IA, questions approfondies et analyse clinique configurable (mode Worker sécurisé, mode direct, mode mock)
Cloudinary	cloudinary_flutter ^1.x	Stockage et livraison des images posturales annotées, uploads sécurisés via Cloudflare Worker (clés API non exposées dans l'app)
Visual Studio Code	1.9x + ext. Flutter	Environnement de développement intégré
Cloudflare Worker	Workers (Cloudflare)	Backend léger sécurisé : appels Gemini API et uploads signés Cloudinary sans exposer les clés API dans l'app
Firebase App Check	firebase_app_check ^0.3	Protection des ressources Firebase contre les clients non autorisés (Play Integrity / App Attest)

4. Le front-end : l'application mobile

Cette partie présente l'application telle qu'elle apparaît à l'utilisateur, écran par écran et rôle par rôle.

4.1. Présentation des interfaces

PosturaCare propose des interfaces distinctes et adaptées à chaque acteur du système. La présentation qui suit reprend le parcours naturel de l'application : nous commençons par le patient, depuis son inscription jusqu'à la réception de son programme de rééducation, puis nous présentons les interfaces du médecin, du kinésithérapeute et enfin de l'administrateur. Toutes les interfaces sont conçues pour être intuitives et accessibles, même pour un utilisateur non familier avec les outils numériques.

4.2. Gestion de profil et authentification

Avant d'accéder à l'application, l'utilisateur doit s'inscrire et se connecter. Lors de la connexion, l'application identifie automatiquement le rôle attribué au compte (patient, médecin, kinésithérapeute ou administrateur) et redirige l'utilisateur vers son interface dédiée. Les comptes des professionnels de santé sont créés et validés par l'administrateur, qui leur transmet un code d'invitation pour finaliser leur inscription. Cette approche garantit que seuls les professionnels autorisés peuvent accéder aux données médicales. L'interface d'authentification est illustrée dans la Figure 8.

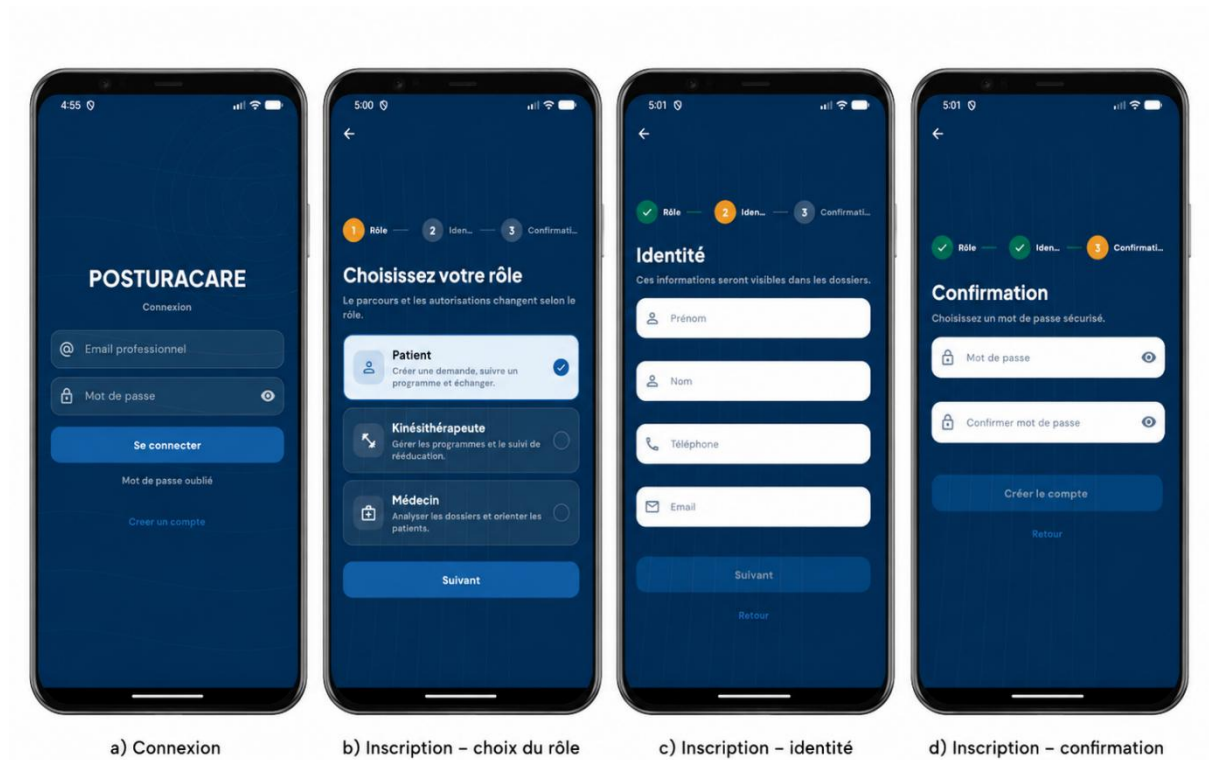


Figure 8 : Interface d'authentification

4.3. Interface patient : sélection de la zone douloureuse

Le parcours patient débute par une interface de localisation de la douleur. Le patient indique la ou les zones concernées en cliquant directement sur un schéma du corps humain représenté de face et de dos (genou, dos, épaule, nuque, hanche, etc.). Cette approche visuelle remplace un questionnaire textuel et rend la saisie accessible à tout type d'utilisateur, y compris les personnes peu à l'aise avec les outils numériques. La zone sélectionnée est ensuite utilisée pour personnaliser toutes les étapes suivantes. La Figure 9 illustre cette interface.



Figure 9 : Localisation de la zone douloureuse

4.4. Évaluation de la douleur : type, intensité EVA et contexte

Une fois la zone douloureuse sélectionnée, le patient complète un premier formulaire simple qui rassemble les informations essentielles sur sa douleur. Il indique le type de douleur ressenti (brûlure, tiraillement, blocage, etc.), son intensité sur une échelle allant de 0 à 10, sa durée, ainsi que les situations qui l'aggravent ou au contraire la soulagent. Ces informations constituent le contexte clinique de base qui sera transmis à l'intelligence artificielle pour générer un pré-diagnostic. La Figure 10 présente cette étape d'évaluation.

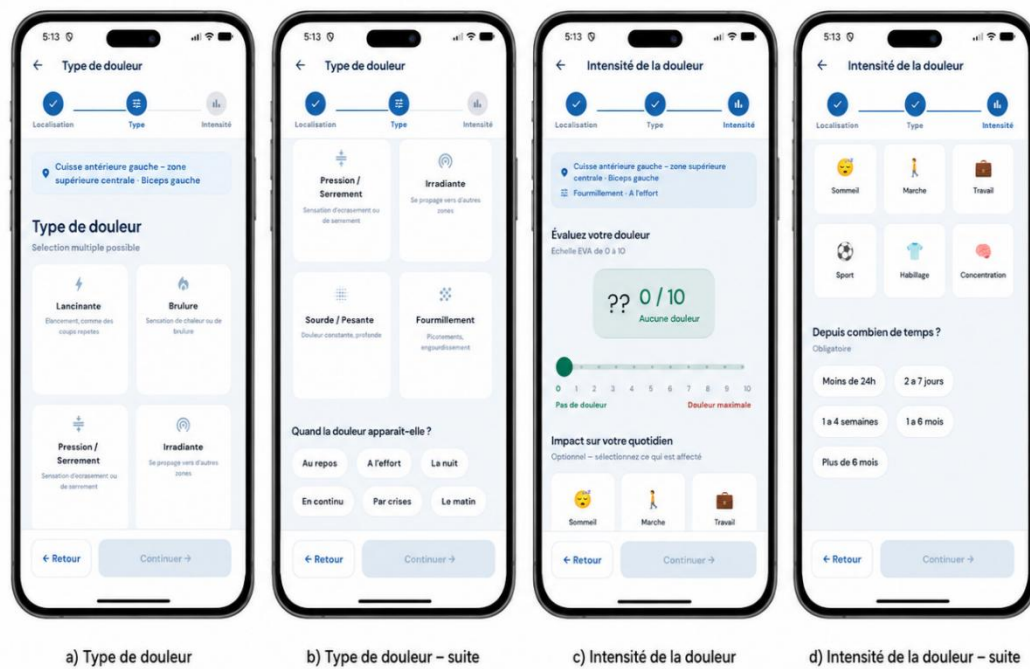


Figure 10 : Évaluation de la douleur (EVA)

4.5. Questionnaire adaptatif et pré-diagnostic IA

À partir des informations saisies dans le formulaire initial, l'application soumet les données à l'intelligence artificielle Gemini, qui génère un pré-diagnostic sous forme d'hypothèses classées par ordre de probabilité, accompagnées des spécialités médicales concernées (Figure 11). Ce pré-diagnostic est une aide à l'orientation et ne constitue en aucun cas un diagnostic médical. Il permet au patient de mieux comprendre sa situation et de décider, en toute connaissance de cause, s'il souhaite poursuivre vers une consultation médicale complète. Le questionnaire s'adapte automatiquement aux réponses du patient : des questions spécifiques s'affichent en fonction de ce qui a déjà été renseigné.



Diagnostic IA préliminaire

Figure 11 : Résultats du pré-diagnostic par IA

4.6. Examen approfondi généré par IA

Sur la base du pré-diagnostic généré par l'intelligence artificielle, le patient peut choisir de continuer vers une consultation médicale complète. S'il le souhaite, l'application lui soumet un questionnaire plus détaillé, conçu par l'intelligence artificielle en fonction de son cas spécifique. Ce questionnaire approfondi peut inclure des questions sur l'historique médical, les antécédents familiaux, les habitudes de vie, ou encore les traitements déjà essayés. Il peut également y joindre des photos pour une analyse posturale complémentaire. L'ensemble de ces informations sera transmis au médecin lors de la création du dossier. La Figure 12 illustre cette étape.

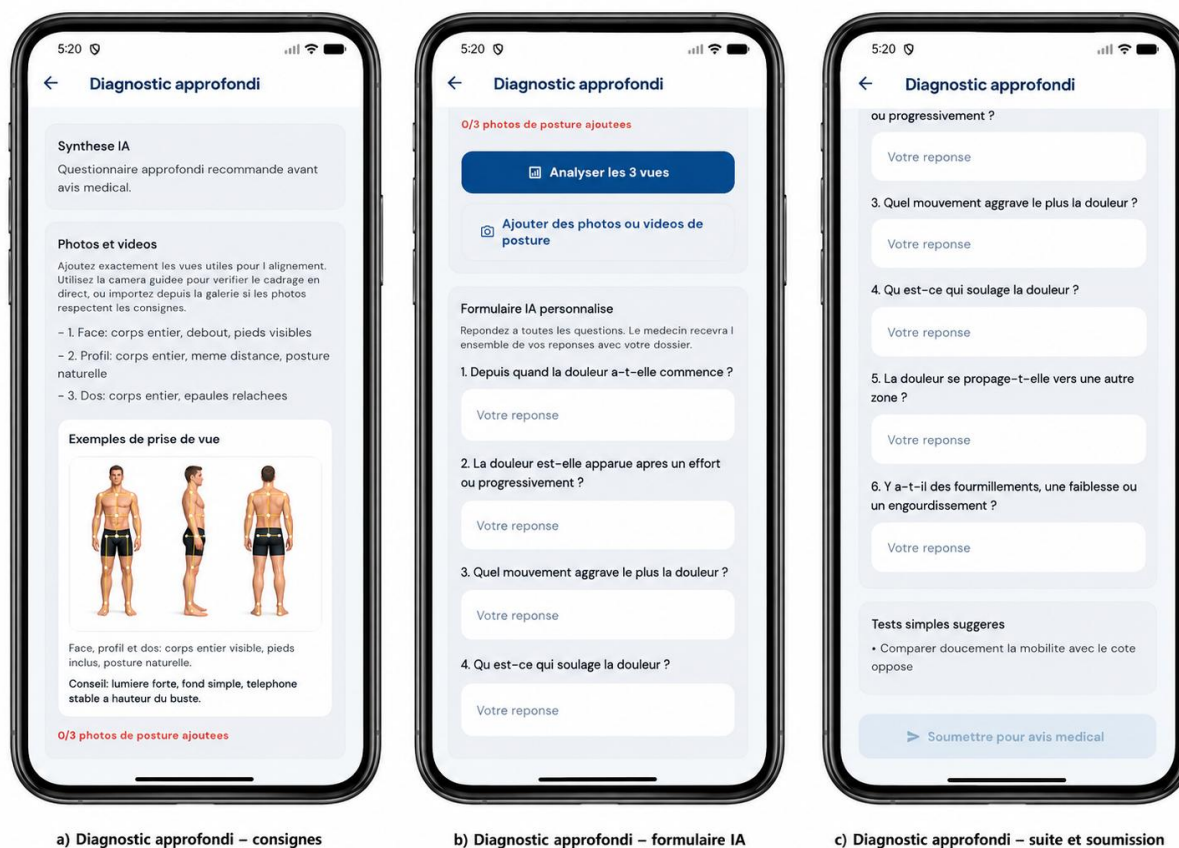


Figure 12 : Examen approfondi généré par IA

Remarque sur le nombre de questions :

Dans une consultation clinique générale, le nombre de questions posées au patient se situe habituellement entre 15 et 25. Pour PosturaCare, nous avons délibérément retenu le seuil minimal de 15 questions, réparties en deux temps : 7 questions lors du pré-diagnostic et 8 questions lors de l'examen approfondi. Ce choix vise à recueillir une information cliniquement suffisante tout en limitant la charge déclarative imposée au patient : un questionnaire trop long risquerait de le lasser et, en conséquence, de dégrader la qualité et la complétude de ses réponses.

4.7. Demande d'avis médical et orientation vers le praticien

Une fois le questionnaire complété, le patient soumet sa demande de consultation. L'application crée alors automatiquement un dossier médical numérique contenant toutes les informations saisies : localisation de la douleur, réponses au questionnaire, photos éventuelles, et hypothèses générées par l'intelligence artificielle. L'application affecte ensuite automatiquement un médecin disponible en fonction de la spécialité concernée et de sa charge de travail actuelle. La Figure 13 illustre cette étape de création du dossier et d'affectation du médecin.



Confirmation d'envoi de la demande

Figure 13 : Demande d'avis médical et orientation

4.8. Messagerie patient-praticien

PosturaCare intègre une messagerie qui permet au patient de communiquer directement avec son médecin ou son kinésithérapeute, sans quitter l'application. Chaque acteur peut envoyer des messages texte, des photos ou des vidéos, ce qui facilite le suivi entre les consultations. Par exemple, un patient peut envoyer une photo de son évolution ou poser une question à son médecin sans avoir à se déplacer. Tous les échanges sont conservés dans l'historique du dossier, garantissant une traçabilité complète. La Figure 14 présente l'interface de messagerie.

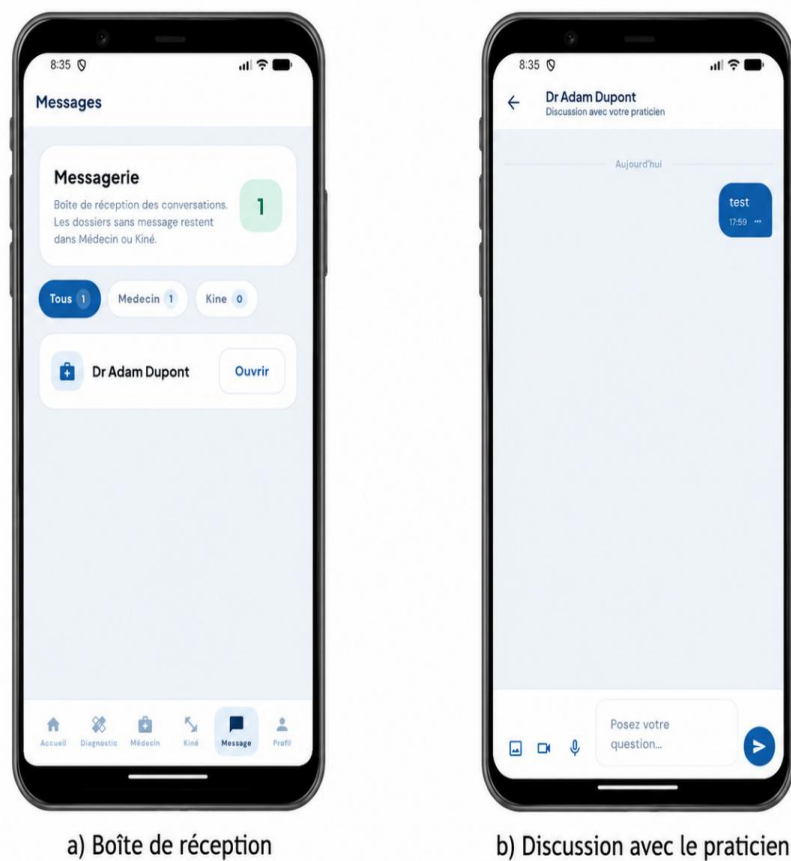


Figure 14 : Messagerie patient-praticien

4.9. Historique des demandes et centre de notifications

Cette section présente les fonctionnalités permettant au patient de suivre ses demandes médicales après leur envoi. L'application permet de consulter les demandes précédentes, leur

état d'avancement et les échanges associés avec les praticiens (Figure 15). Elle intègre également un centre de notifications interne qui agrège les événements applicatifs (nouveaux messages, changements de statut d'un dossier) via des listeners Firestore en temps réel.

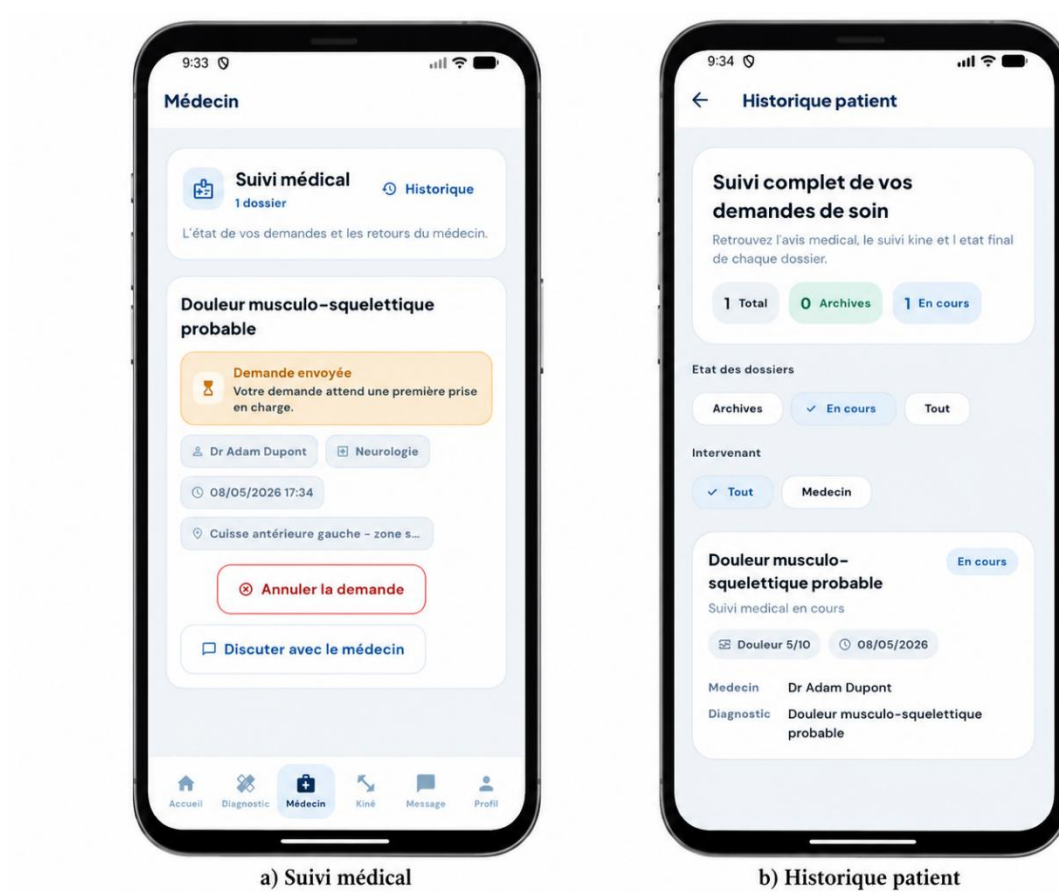


Figure 15 : Historique et centre de notifications

4.10. Module de rééducation vidéo

Lorsque le kinésithérapeute a établi le programme de rééducation, le patient peut y accéder directement depuis son application. Chaque exercice est présenté sous forme de vidéo guidée, accompagnée d'une description claire, des précautions à respecter et du nombre de répétitions recommandées. Ce module permet au patient de suivre sa rééducation de manière autonome entre les séances, et au kinésithérapeute de suivre l'avancement au fil du temps. La Figure 16 illustre cet espace de rééducation.

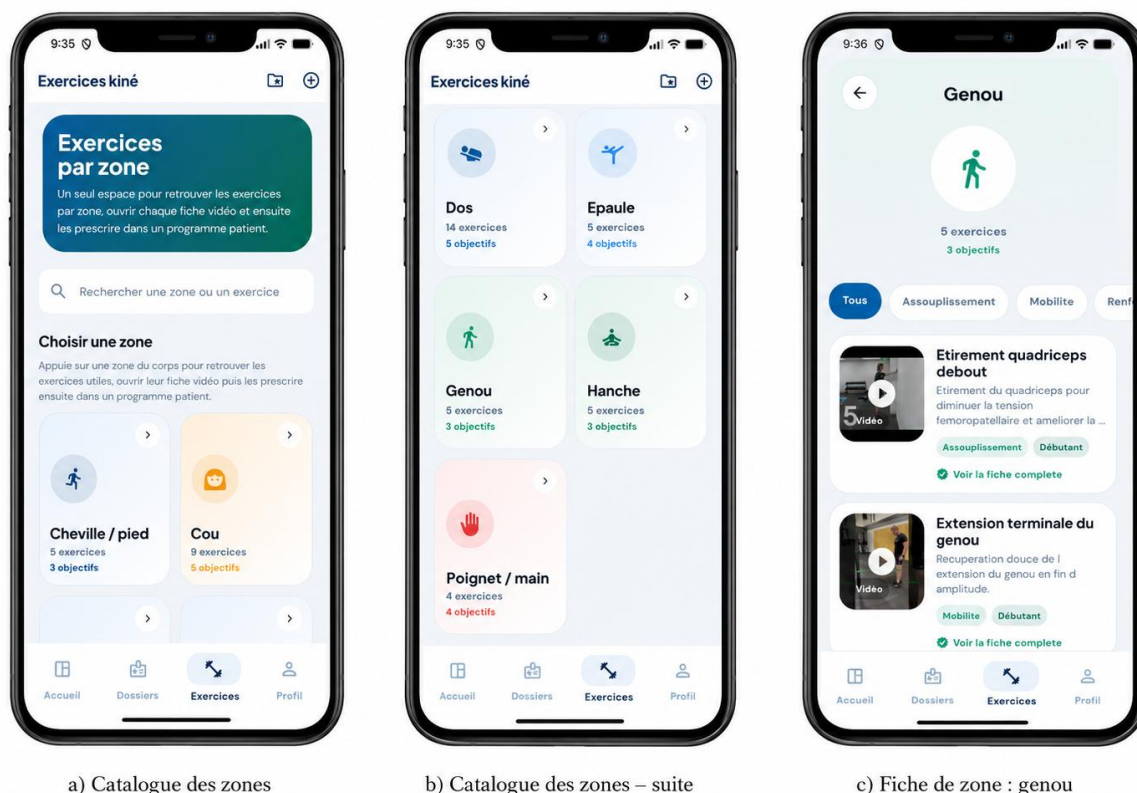


Figure 16 : Module de rééducation vidéo

4.11. Analyse posturale par photos

Lors de la saisie du questionnaire approfondi, le patient a la possibilité d'ajouter des photos de sa posture. L'application le guide pour prendre trois photos standardisées (de face, de profil et de dos), en superposant une silhouette de référence à l'écran pour faciliter le positionnement. Ces photos sont ensuite analysées automatiquement à l'aide de l'outil de détection de points anatomiques de Google [25], qui identifie les principales articulations et repères corporels (épaules, hanches, genoux, etc.). À partir de ces points, l'application calcule plusieurs indicateurs de posture tels que l'alignement des épaules, l'inclinaison du tronc ou l'asymétrie du bassin. Ces résultats sont joints au dossier du patient et mis à disposition du médecin pour compléter son analyse. Il est important de préciser que ces indicateurs ne constituent pas un diagnostic : ils servent d'éléments complémentaires d'aide à l'orientation. La Figure 17 illustre cette fonctionnalité.

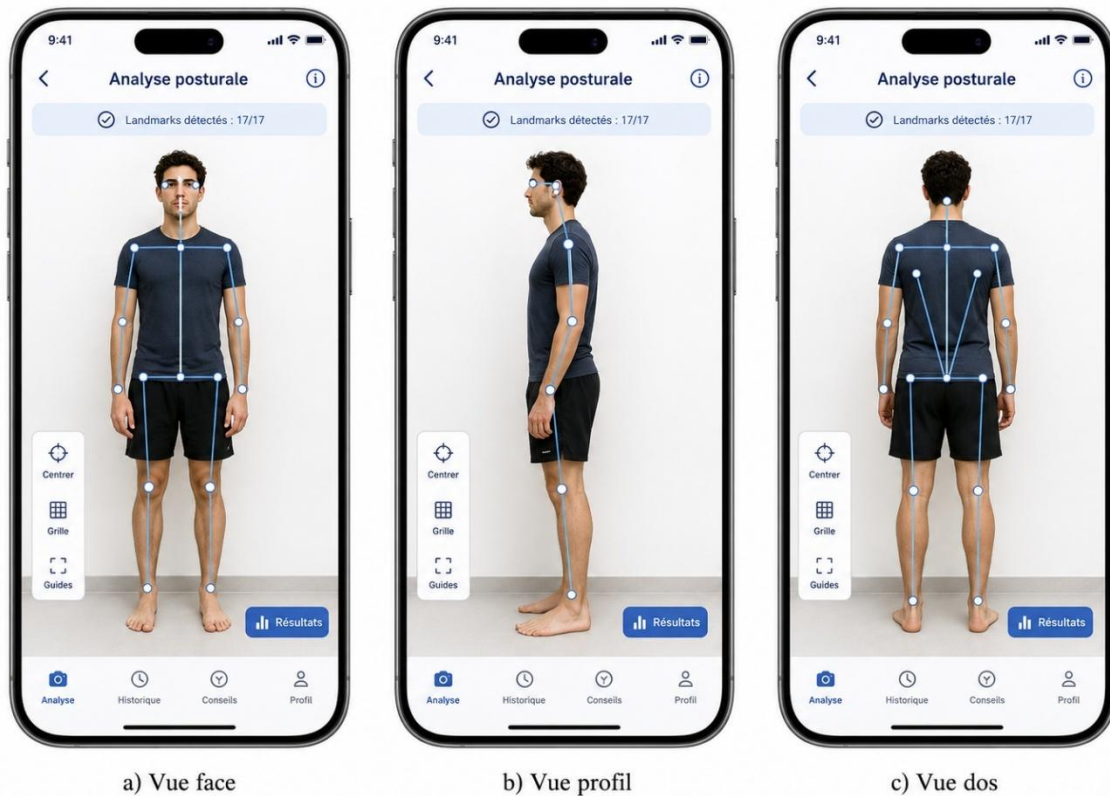


Figure 17 : Analyse posturale par photo

4.12. Interface médecin : revue des dossiers

L'interface du médecin lui présente la liste des dossiers qui lui ont été affectés, classés par statut (en attente, en cours ou traité). En sélectionnant un dossier, il accède à l'ensemble des informations du patient : résultats du questionnaire, hypothèses générées par l'intelligence artificielle, et photos posturales annotées le cas échéant (Figure 19). Le médecin peut consulter ces éléments, correspondre avec le patient via la messagerie, et si nécessaire, inviter d'autres médecins spécialistes à collaborer sur le dossier. Lorsqu'il est prêt, il saisit son diagnostic final et clôture le dossier. À ce moment, le dossier est automatiquement transmis à un kinésithérapeute pour la prise en charge de la rééducation. La Figure 18 présente cette interface.

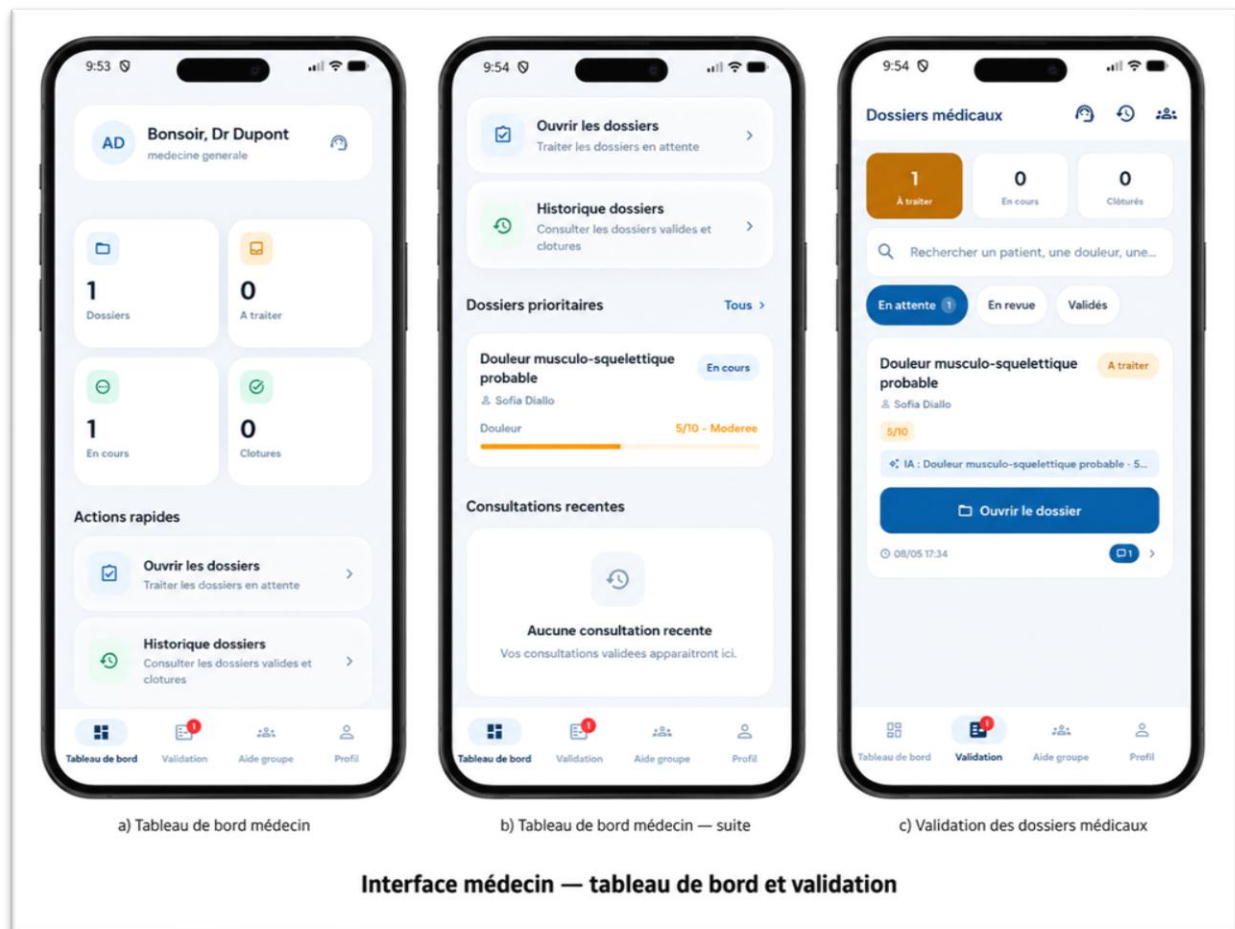
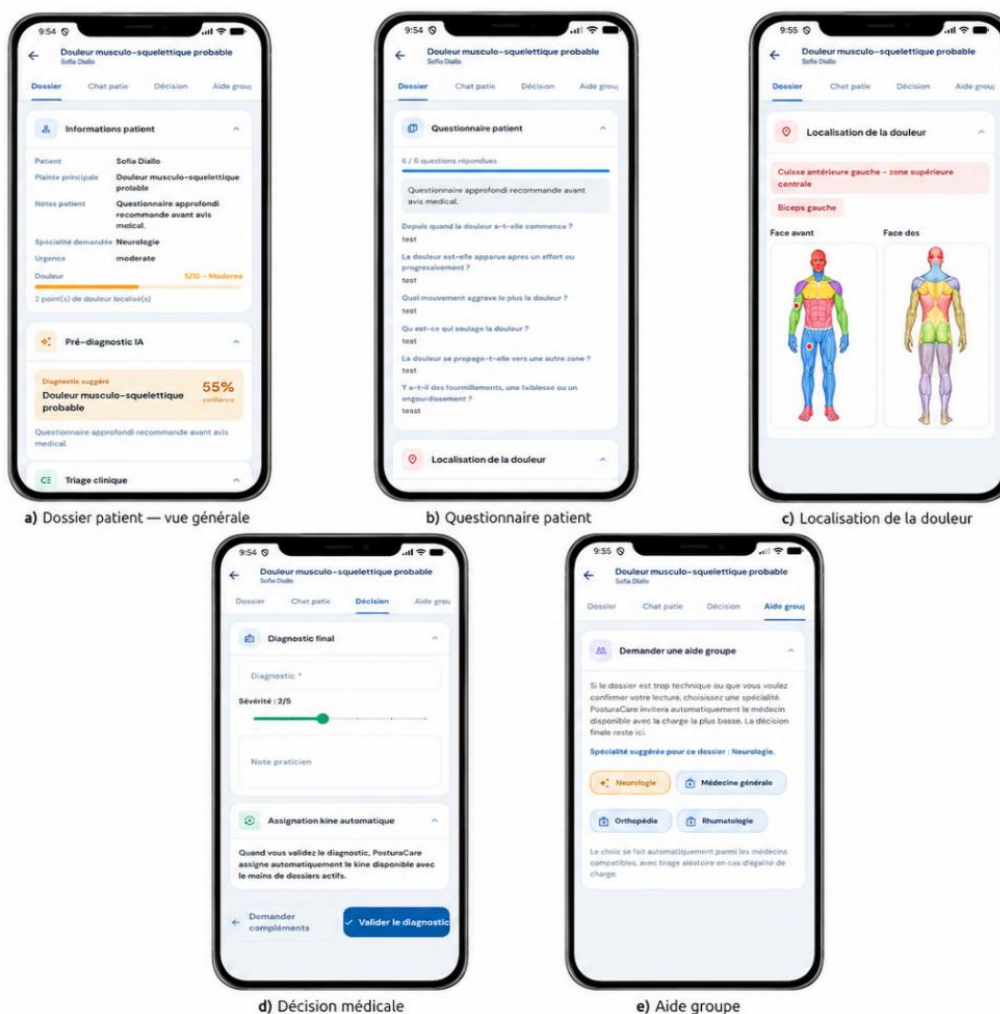


Figure 18 : Tableau de bord du médecin

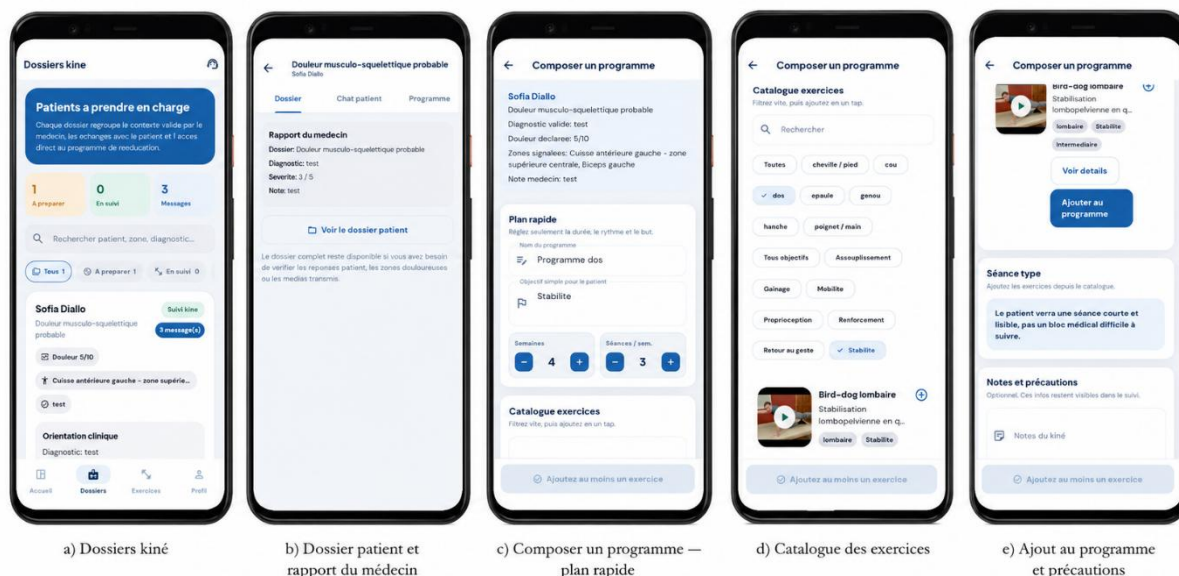


Interface médecin — consultation d'un dossier patient complet

Figure 19 : Consultation d'un dossier patient

4.13. Interface kinésithérapeute : suivi de rééducation

L'interface du kinésithérapeute lui donne accès aux dossiers qui lui sont orientés par l'algorithme d'orientation proposée selon la spécialité (Figure 20). Il peut visualiser les images posturales annotées avec les principaux landmarks ML Kit, consulter le pré-diagnostic IA et les recommandations du médecin, puis proposer un programme de rééducation personnalisé adapté au profil postural du patient. L'historique des séances et la progression du patient sont tracés dans le temps.

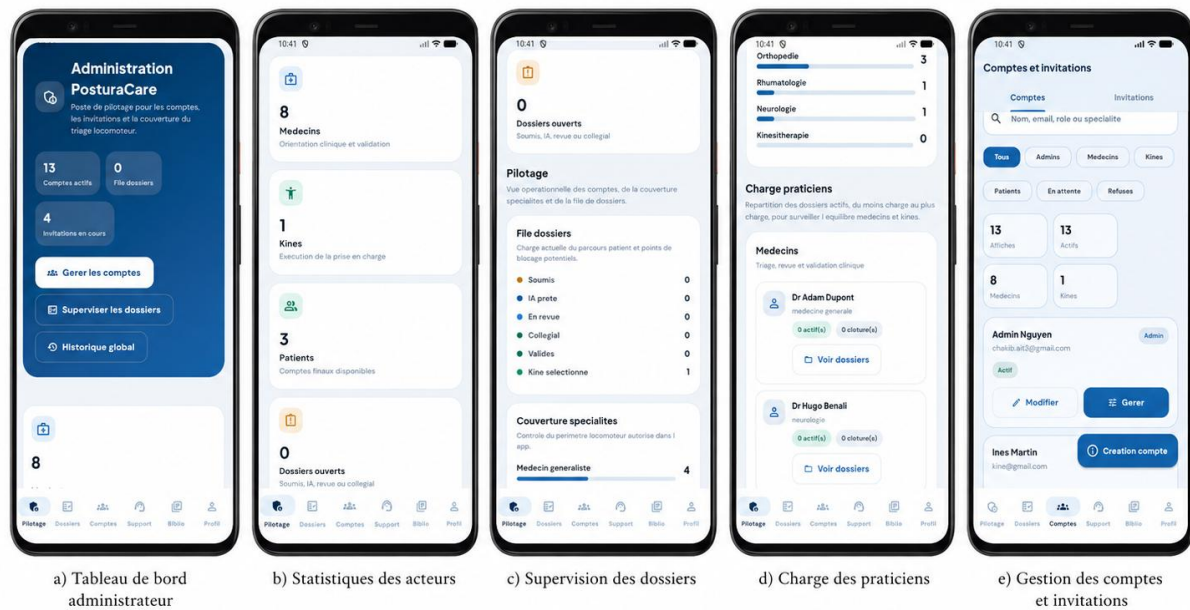


Interface kinésithérapeute — prise en charge et composition du programme

Figure 20 : Interface du kinésithérapeute

4.14. Interface administrateur : gestion et supervision

L'administrateur dispose d'un accès complet à l'application. Il crée et gère les comptes des professionnels de santé (médecins et kinésithérapeutes), définit leurs spécialités, et supervise l'ensemble du fonctionnement de l'application. Des règles de sécurité garantissent que chaque acteur ne peut accéder qu'aux données qui le concernent, et que les informations médicales des patients sont toujours protégées. La Figure 21 illustre le tableau de bord de l'administrateur.



Interface administrateur — pilotage, supervision et gestion des comptes

Figure 21 : Interface d'administration

5. Le back-end : côté serveur

Le front-end présenté ci-dessus s'appuie sur un ensemble de services qui fonctionnent côté serveur. Ces services stockent les données, sécurisent les accès et font le lien avec l'intelligence artificielle. Ils constituent le back-end de PosturaCare.

5.1. La base de données et la mise à jour en temps réel

Toutes les informations de l'application (comptes, dossiers, diagnostics, programmes de rééducation et messages) sont enregistrées dans Cloud Firestore, la base de données en ligne de Firebase. Cette base offre un avantage important : la mise à jour automatique en temps réel. Lorsqu'un patient envoie un dossier, celui-ci apparaît aussitôt chez le médecin concerné, sans aucune action manuelle. De la même façon, dès qu'un médecin pose un diagnostic ou qu'un

kinésithérapeute ajoute un exercice, le patient en est immédiatement informé. Cette synchronisation assure une continuité fluide du suivi entre tous les acteurs.

5.2. La sécurité et la confidentialité des données

Parce que PosturaCare manipule des données de santé, la sécurité et la confidentialité ont été traitées à plusieurs niveaux. L'accès passe par Firebase Authentication, qui gère les comptes et attribue à chaque utilisateur un rôle (patient, médecin, kinésithérapeute ou administrateur). Ce rôle conditionne l'accès aux données : les règles de sécurité de Firestore garantissent que chaque acteur ne consulte que les informations qui le concernent, la vérification étant faite côté serveur et non dans l'application.

Plusieurs mesures complètent ce dispositif. Firebase App Check vérifie l'authenticité de l'application au moyen de Play Integrity, afin que seules les installations légitimes accèdent aux services. Les clés d'accès aux services externes, Gemini et Cloudinary, ne figurent jamais dans l'application : elles restent côté serveur, masquées par le Cloudflare Worker. Enfin, l'analyse posturale est exécutée localement par ML Kit, si bien que les photographies ne sont pas envoyées à un serveur pour cette étape, ce qui limite l'exposition des données personnelles.

5.3. La passerelle vers l'IA et le stockage des médias

Les services les plus sensibles ne sont jamais appelés directement par l'application, afin de ne pas exposer les clés d'accès. Un petit serveur intermédiaire, le Cloudflare Worker [24], sert de passerelle : il transmet les demandes à l'intelligence artificielle Gemini et prépare l'envoi des photos, des vidéos et des messages vocaux vers Cloudinary [28], le service qui héberge ces médias. Cette solution protège les clés d'accès tout en restant économique, sans nécessiter de serveur payant.

5.4. Le moteur d'intelligence artificielle

Le cœur fonctionnel de PosturaCare repose sur un moteur d'intelligence artificielle chargé de produire le pré-diagnostic et de guider le questionnaire approfondi. Ce moteur s'appuie sur le modèle génératif Gemini 2.5 Flash de Google [23], retenu pour son compromis entre qualité de raisonnement, rapidité de réponse et coût d'utilisation. Comme décrit à la section précédente, le modèle n'est jamais sollicité directement par l'application : toutes les

requêtes transitent par le Cloudflare Worker, qui protège les clés d'accès et centralise les échanges avec le service.

Le moteur intervient en deux temps, illustrés par le diagramme de séquence de la Figure 5. Lors du pré-diagnostic, il reçoit les données du pré-formulaire (localisation de la douleur, type, ancienneté et intensité sur l'échelle EVA) et renvoie une évaluation provisoire : une liste d'hypothèses classées par ordre de probabilité, la spécialité médicale suggérée et un éventuel signal d'urgence. Si le patient choisit de poursuivre vers un avis médical, le moteur génère ensuite un examen approfondi, c'est-à-dire un ensemble de questions et de tests complémentaires adaptés au cas, dont les réponses viennent enrichir le dossier transmis au médecin.

Afin de garantir une exploitation fiable des réponses par l'application, le moteur est sollicité au moyen d'instructions structurées (prompt) qui définissent son rôle, lui fournissent les données du patient et contraignent le format de sa réponse. Le modèle retourne ainsi un résultat structuré, directement interprétable par l'application pour alimenter l'interface (hypothèses et pourcentages de vraisemblance), créer le dossier et déclencher l'affectation automatique vers la spécialité concernée.

Plusieurs garde-fous encadrent cet usage. Le pré-diagnostic est explicitement présenté comme une aide à l'orientation, et non comme un diagnostic médical : la décision finale revient systématiquement au praticien, qui valide ou corrige les éléments produits par le modèle. Cette supervision humaine constitue la principale réponse aux limites connues des modèles génératifs, notamment le risque d'erreurs ou de réponses inexactes. Le recours à un modèle distant implique par ailleurs une dépendance à la connexion réseau et le respect de règles strictes de confidentialité, déjà évoquées parmi les besoins non fonctionnels du système.

6. Les tests

Les tests fonctionnels suivants ont été réalisés sur le prototype afin de valider les principales fonctionnalités de l'application PosturaCare. Les tests ont été effectués sur émulateur Android (AVD Manager) et sur appareil physique.

Test	Résultat attendu	Résultat obtenu
Inscription patient	Création compte + rôle patient	✓ Succès
Connexion médecin	Redirection dashboard médecin	✓ Succès
Diagnostic préliminaire IA (Gemini via Cloudflare Worker)	Réponse JSON structurée avec spécialités	✓ Succès
Analyse posturale ML Kit	Détection des points anatomiques principaux	✓ Succès
Upload Cloudinary (via Cloudflare Worker)	URL image retournée et stockée dans Firestore	✓ Succès
Création demande médicale	Document patient_requests créé dans Firestore	✓ Succès
Messagerie patient-praticien	Message visible en temps réel (listener Firestore)	✓ Succès
Sécurité Firestore (rôles)	Accès bloqué aux rôles non autorisés	✓ Succès
Sécurisation des clés API (Cloudflare Worker)	Clés Gemini et Cloudinary non exposées dans l'APK	✓ Succès

Tableau 6 : Tests fonctionnels réalisés sur le prototype PosturaCare

7. Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons décrit les différentes étapes de réalisation de l'application mobile PosturaCare. Nous avons présenté l'environnement de développement, les technologies utilisées avec leurs justifications techniques dans le Tableau 5, et les interfaces développées pour chacun des quatre acteurs du système. La synchronisation temps réel via Firebase assure la continuité des échanges entre tous les acteurs. L'architecture sécurisée avec Cloudflare Worker protège les clés API sensibles, tandis que Firebase App Check garantit que seules les instances authentiques de l'application accèdent aux services. Ce travail constitue une première implémentation fonctionnelle d'une application multi acteurs intelligente de diagnostic locomoteur, d'orientation médicale, d'analyse posturale, de messagerie et de rééducation, adaptée au contexte algérien. Dans l'état actuel, PosturaCare est un prototype fonctionnel avancé : les modules principaux sont implémentés, tandis que certaines fonctionnalités comme les notifications push serveur, la validation clinique restent des perspectives d'amélioration.

Conclusion Générale

Les troubles locomoteurs représentent un enjeu majeur de santé publique, avec environ 1,71 milliard de personnes affectées dans le monde selon l'OMS [29]. La prise en charge de ces troubles reste souvent limitée par des contraintes d'accessibilité, de délais et de suivi discontinu. Notre travail avait pour objectif de concevoir et de développer PosturaCare, une application mobile de gestion du parcours de soins des troubles locomoteurs, intégrant un pré-diagnostic par intelligence artificielle, l'orientation automatique vers un médecin selon sa spécialité, la collaboration médicale, la messagerie multimédia entre acteurs, et le suivi de rééducation personnalisé.

Le premier chapitre a permis de situer PosturaCare dans le contexte des travaux existants en matière de télémédecine, de santé numérique et d'intelligence artificielle médicale, en accordant une attention particulière aux travaux universitaires algériens dans ce domaine. Le deuxième chapitre a présenté la conception de l'application, son architecture et ses diagrammes fonctionnels. Le troisième chapitre a décrit la réalisation concrète du prototype et présenté les interfaces développées pour chacun des quatre acteurs du système : le patient, le médecin, le kinésithérapeute et l'administrateur. L'originalité de PosturaCare réside dans l'intégration du pré-diagnostic par intelligence artificielle, l'affectation automatique des médecins selon leur spécialité et leur charge de travail, la collaboration entre médecins spécialistes au sein d'un même dossier, et la transmission automatique du dossier clôturé vers le kinésithérapeute pour la prise en charge de la rééducation.

Les perspectives d'amélioration et d'évolution de l'application PosturaCare sont les suivantes :

- Mener une validation clinique approfondie en collaboration avec des professionnels de santé pour confirmer la pertinence médicale des diagnostics IA et affiner les mécanismes d'orientation vers les professionnels de santé.
- Intégrer des modèles d'IA plus performants, notamment la détection posturale 3D et l'analyse vidéo dynamique, pour améliorer la précision de l'évaluation biomécanique.
- Ajouter un module de rééducation guidée avec des exercices personnalisés animés et un avatar démonstratif illustrant les mouvements corrects.

Conclusion générale

- Intégrer une fonctionnalité de téléconsultation vidéo entre patient, médecin et kinésithérapeute.
- Enrichir la bibliothèque de pathologies prises en charge et étendre le système à d'autres spécialités médicales.
- Assurer la conformité avec les réglementations algériennes sur la protection des données de santé.
- Migrer certaines automatisations avancées, comme les notifications serveur, la génération automatique de rapports ou les traitements administratifs complexes, vers Firebase Cloud Functions ou un backend dédié si le projet passe à un plan cloud payant ou institutionnel [30].

Références bibliographiques

- [1] Ghomari, O., Roquelaure, Y., Beghdadli, B., Kandouci, A. B., « Surveillance épidémiologique des troubles musculo-squelettiques du membre supérieur en entreprises dans l'Ouest algérien », *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement*, vol. 71, n° 5, pp. 781–789, octobre 2010.
- [2] GBD 2021 Low Back Pain Collaborators, « Global, regional, and national burden of low back pain, 1990–2020 », *The Lancet Rheumatology*, vol. 5, n° 6, pp. e316–e329, juin 2023.
- [3] IHME, « Global Burden of Disease Study 2021 », Seattle, WA : IHME, 2023. Disponible : <https://www.healthdata.org>
- [4] Papi, E., Koh, W. S., McGregor, A. H., « Wearable technology for spine movement assessment: A systematic review », *Journal of Biomechanics*, vol. 64, pp. 186–197, 2017.
- [5] Ruivo, R. M., Pezarat-Correia, P., « Cervical and shoulder postural assessment of adolescents », *Brazilian Journal of Physical Therapy*, vol. 18, n° 4, 2014.
- [6] Lupton, D., « The digitally engaged patient: Self-monitoring and self-care in the digital health era », *Social Theory & Health*, vol. 11, n° 3, pp. 256–270, 2013.
- [8] « Evaluation of Diagnostic and Triage Accuracy and Usability of a Symptom Checker in an Emergency Department: Observational Study », *JMIR mHealth and uHealth*, vol. 10, n° 9, e38364, 2022.
- [9] « Comparison of Diagnostic and Triage Accuracy of Ada Health and WebMD Symptom Checkers, ChatGPT, and Physicians for Patients in an Emergency Department », *JMIR mHealth and uHealth*, e49995, 2023.
- [16] Fowler, M., « UML Distilled: A Brief Guide to the Standard Object Modeling Language », 3e éd., Addison-Wesley Professional, 2003.
- [22] Khawas, C., Shah, P., « Application of Firebase in Android App Development », *International Journal of Computer Applications*, vol. 179, n° 46, 2018.
- [26] Bazarevsky, V., Grishchenko, I., Raveendran, K., et al., « BlazePose: On-device Real-time Body Pose Tracking », *arXiv preprint arXiv:2006.10204*, 2020.

[29] Organisation Mondiale de la Santé (OMS), « Troubles musculo-squelettiques », Aide-mémoire, 2022. [En ligne]. Disponible : <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/musculoskeletal-conditions>

Références webographiques

[7] Agence Presse Service (APS), « L'Algérie enregistre une avancée en adoptant l'intelligence artificielle dans le secteur de la Santé », 2024. Disponible : <https://www.aps.dz>

[10] We Are Tech Africa, « eSiha stimule les services d'e-santé en Algérie avec son application mobile », 2024. Disponible : <https://www.wearetech.africa>

[11] We Are Tech Africa, « Avec DZDOC, l'Algérien Rachid Maou connecte médecins et patients », 2025. Disponible : <https://www.wearetech.africa>

[12] Symloop, « Application Santé Algérie : télémédecine et e-health », Sétif, 2024. Disponible : <https://www.symloop.com>

[13] Vinybusiness, « 5 applications et sites web autour de l'e-santé en Algérie », 2023. Disponible : <https://vinybusiness.com/5-applications-sites-web-autour-de-le-sante-en-algerie/>

[14] Beesiha, plateforme algérienne de prise de rendez-vous et de téléconsultation médicale, 2022. Disponible : <https://www.beesiha.com>

[15] Tabibe, application algérienne de prise de rendez-vous en ligne chez les professionnels de santé, 2020. Disponible : <https://www.tabibe.fr>

[17] Microsoft Corporation, « Visual Studio Code », 2025. Disponible : <https://code.visualstudio.com>

[18] Dart Programming Language, Documentation officielle Dart, 2025. Disponible : <https://dart.dev>

[19] Flutter, « Build apps for any screen », Documentation officielle Flutter, 2025. Disponible : <https://flutter.dev>

[20] Randell, B., « Qu'est-ce que Flutter ? », AWS. Disponible : <https://aws.amazon.com/fr/what-is/flutter/>

[21] Firebase, « The platform to build apps that users love », Documentation officielle Firebase, 2025. Disponible : <https://firebase.google.com>

[23] Google LLC, « Gemini API Documentation », Google AI for Developers, 2025. Disponible : <https://ai.google.dev/docs>

[24] Cloudflare, « Cloudflare Workers Documentation », Documentation officielle Cloudflare, 2025. Disponible : <https://developers.cloudflare.com/workers/>

[25] Google LLC, « ML Kit Pose Detection », Documentation officielle Google for Developers, 2024. Disponible : <https://developers.google.com/ml-kit/vision/pose-detection>

[27] Firebase Cloud Messaging, « Firebase Cloud Messaging Documentation », Google, 2025. Disponible : <https://firebase.google.com/docs/cloud-messaging>

[28] Cloudinary, « Image and Video Management in the Cloud », Documentation officielle, 2025. Disponible : <https://cloudinary.com/documentation>

[30] Firebase, « Firebase Pricing Plans », Documentation officielle Firebase, Google, 2025. Disponible : <https://firebase.google.com/pricing>

Annexe BMC (Business Model Canvas)

Segments de Client - Cabinets médicaux privés - Cliniques privées spécialisées - Centres et cabinets de kinésithérapie - Médecins généralistes - Médecins spécialistes (rhumatologues...) - Kinésithérapeutes - Patients souffrant de douleurs locomotrices - Patients en rééducation opératoire - Personnes sédentaires à risque	 Relations avec les Clients - Relation commerciale directe avec les établissements privés - Support médical encadré et mises à jour régulières - Interface intuitive minimisant la courbe d'apprentissage - Accompagnement formation des équipes	 Proposition de valeur PosturaCare est une application mobile intelligente qui oriente rapidement un patient souffrant de troubles locomoteurs vers le bon professionnel de santé, grâce à un pré-diagnostic généré par IA et à un parcours coordonné entre médecin et kinésithérapeute Notre solution doit résoudre les problèmes suivants : - Manque de spécialistes dans les zones reculées - Douleurs locomotrices banalisées et ignorées - Patient perdu ne sait pas quel professionnel consulter - Rééducation mal suivie, voire abandonnée	Activités Clés - Développement maintenance de l'application multiplateforme - Amélioration continue des algorithmes d'IA - Démarchage commercial et déploiement chez les partenaires - Support et accompagnement des établissements	Partenariats Clés - Google LLC (Firebase, Gemini, ML Kit) — infrastructure technologique - Université Abou Bakr Belkaïd de Tlemcen — partenaire académique - Cabinets et cliniques pilotes validation terrain - Cloudinary (stockage) et Cloudflare (passerelle sécurisée) - Professionnels de santé pour le retour clinique
Sources de revenus - Abonnement mensuel par licence (cabinets et cliniques) - Services de formation et d'intégration - Contrats institutionnels (hôpitaux) sur devis		Structure de Coûts - Infrastructure cloud (Firebase, Gemini, Cloudinary) - Développement et maintenance logicielle - Démarchage commercial et déploiement - Coûts d'infrastructure croissant avec le nombre d'utilisateurs		

1. Proposition de valeur

1.1. Quels problèmes résolvons-nous pour nos clients ?

La prise en charge d'un trouble locomoteur se heurte aujourd'hui à plusieurs obstacles, depuis l'apparition de la douleur jusqu'au suivi de la rééducation. PosturaCare a été conçue pour répondre à l'ensemble de ces difficultés.

L'éloignement des spécialistes. Dans de nombreuses régions, l'accès à un rhumatologue ou à un orthopédiste suppose un déplacement long et un délai d'attente . En générant un pré-diagnostic dès les premiers symptômes, l'application oriente le patient vers le bon professionnel sans attente inutile.

Les délais de rendez-vous et l'engorgement des cabinets. Une part importante du temps de consultation est consacrée au simple recueil des symptômes. En transmettant au médecin un dossier déjà constitué, l'application réduit ce temps et fluidifie l'agenda du praticien.

La désorientation du patient. Face à une douleur, le patient ne sait pas toujours quel professionnel consulter. Le pré-diagnostic indique les spécialités concernées , ce qui supprime cette incertitude.

L'absence de dossier centralisé. Les éléments d'une prise en charge sont souvent dispersés entre plusieurs intervenants et plusieurs consultations. L'application regroupe les symptômes, les échanges et le suivi dans un dossier unique et accessible aux professionnels concernés.

Le suivi de rééducation incomplet. Une rééducation mal encadrée est fréquemment abandonnée. Le programme personnalisé et la messagerie de suivi maintiennent le lien entre le patient et son thérapeute, même à distance.

1.2. Quels besoins de nos clients satisfont nos produits ou services ?

L'application répond à quatre besoins fondamentaux : rapidité, fiabilité, coordination et continuité.

Pour le patient : une orientation médicale rapide dès l'apparition des symptômes, un pré-diagnostic compréhensible précisant les causes possibles et les spécialités concernées, la possibilité d'échanger directement avec son médecin, et un suivi de rééducation encadré sans déplacement systématique.

Pour le médecin : un dossier structuré reçu avant la consultation, qui fait gagner un temps de tri considérable et recentre l'échange sur le diagnostic ; un outil d'aide à la décision qui reste sous son entière responsabilité ; et une messagerie pour suivre son patient.

Pour le kinésithérapeute : un dossier déjà constitué et validé par le médecin, à partir duquel il bâtit un programme de rééducation personnalisé, ainsi qu'un canal de suivi à distance de la progression du patient.

Pour le cabinet ou la clinique : un outil qui fluidifie le parcours patient, optimise le temps médical, valorise l'établissement auprès de sa patientèle et renforce la fidélisation des patients.

1.3. En quoi notre offre est-elle différente de celle de nos concurrents ?

PosturaCare se distingue des solutions existantes sur plusieurs plans.

Par rapport aux outils d'auto-évaluation. Les outils grand public d'évaluation des symptômes s'arrêtent à une orientation indicative, sans aucune intervention d'un professionnel le patient reste seul avec un résultat qu'il ne peut pas faire valider. Dans PosturaCare, le pré-diagnostic est systématiquement soumis à un médecin réel.

Par rapport aux solutions de prise de rendez-vous. Ces dernières se limitent à mettre en relation le patient et un praticien, sans rien apporter sur le contenu médical. PosturaCare prépare et structure l'information médicale en amont de la rencontre.

Par la continuité du parcours. L'application couvre toute la chaîne, depuis le symptôme jusqu'au programme de rééducation, là où les solutions concurrentes ne traitent qu'une seule étape. Le pré-diagnostic est validé par le médecin, puis le dossier est transmis au kinésithérapeute.

Par la coordination multi-acteurs. Le médecin, le kinésithérapeute et le patient interviennent autour d'un même dossier, avec une messagerie commune permettant l'échange de messages, de photos et de vidéos.

1.4. Quelle est notre proposition unique de valeur ?

PosturaCare est la seule application qui relie, au sein d'un même parcours, le patient, le médecin et le kinésithérapeute autour de la prise en charge d'un trouble locomoteur. Cette proposition unique repose sur quatre piliers.

Une orientation immédiate : un pré-diagnostic structuré est généré dès l'apparition des symptômes, avec les causes possibles, leur probabilité et les spécialités concernées.

Une fiabilité clinique : le médecin demeure le seul décideur du diagnostic final, l'intelligence artificielle n'intervenant qu'en appui à l'orientation.

Une continuité des soins : la prise en charge se poursuit sans rupture, du pré-diagnostic jusqu'à la rééducation suivie à distance par le kinésithérapeute.

2. Segments de clientèle

2.1. Comment distinguons-nous nos différents clients ?

PosturaCare repose sur un modèle où le client qui paie n'est pas le même que celui qui utilise l'application. On distingue donc trois catégories.

Les clients directs sont les établissements de santé privés qui souscrivent une licence : ce sont eux qui génèrent le revenu. Les utilisateurs professionnels sont les médecins et les kinésithérapeutes qui se servent quotidiennement de l'application au sein de ces établissements. Les utilisateurs finaux sont les patients, qui bénéficient du service sans en supporter le coût.

2.2. Quels sont les différents segments que nous visons ?

Du côté des établissements clients, nous ciblons les cabinets médicaux privés, les cliniques privées spécialisées en orthopédie ou en rhumatologie, ainsi que les centres et cabinets de kinésithérapie.

Du côté des professionnels utilisateurs, l'application s'adresse aux médecins généralistes, aux médecins spécialistes tels que les rhumatologues et les orthopédistes, et aux kinésithérapeutes.

Du côté des patients, trois profils se distinguent : les patients souffrant de douleurs locomotrices à orienter, les patients en rééducation après une opération, et les personnes sédentaires présentant un risque, pour qui une évaluation précoce est utile.

Le déploiement suit deux temps. Dans un premier temps, PosturaCare cible une seule clinique partenaire : les patients de cet établissement s'inscrivent directement avec leurs informations de contact, ce qui permet de valider le parcours complet dans un contexte réel. Dans un second temps, et une fois qu'un nombre suffisant de professionnels sera présent, l'accès

s'ouvrira au grand public, mais uniquement lorsque chaque patient inscrit pourra être réellement pris en charge par un médecin disponible.

2.3. Quels sont les besoins spécifiques de chaque segment ?

Chaque segment attend une réponse différente de l'application.

Le cabinet ou la clinique cherche à optimiser le temps médical, à fidéliser sa patientèle et à se différencier par un outil moderne et fiable.

Le médecin spécialiste attend un dossier déjà structuré et un pré-diagnostic ciblé, pour entrer directement dans l'analyse clinique.

Le kinésithérapeute a besoin d'un dossier validé par le médecin et prêt à l'emploi, à partir duquel il bâtit un programme de rééducation, ainsi que d'un canal de suivi à distance.

Le patient souffrant de douleurs veut une réponse rapide et savoir quel professionnel consulter. Le patient en rééducation attend un programme personnalisé et un suivi régulier. La personne sédentaire à risque recherche surtout une évaluation préventive et précoce.

3. Relation client

3.1. Quel type de relation chaque segment attend-il de nous ?

Chaque segment attend une relation de nature différente.

Les établissements clients, cabinets et cliniques, attendent une relation commerciale et contractuelle : un accompagnement sérieux à la mise en place, un support technique réactif et la garantie d'un outil fiable dans la durée.

Les médecins attendent une relation fondée sur la confiance clinique : l'assurance que l'application reste un outil d'aide à l'orientation, qui ne se substitue jamais à leur décision.

Les kinésithérapeutes recherchent une relation de continuité, c'est-à-dire un dossier transmis prêt à l'emploi et un suivi fluide du patient.

Les patients, enfin, attendent une relation simple et rassurante, entièrement autonome depuis l'application, sans démarche complexe.

3.2. Comment entretenons-nous la relation avec nos clients ?

La relation commerciale de PosturaCare est orientée vers les établissements de santé privés, et elle évolue selon la phase du projet.

Lors de la phase pilote, un accompagnement personnalisé est proposé à chaque cabinet partenaire : mise en place de l'application, création des comptes praticiens, orientation et accompagnement des patients à la prise en main, et suivi régulier des retours d'usage.

Une fois la phase pilote terminée, la relation devient contractuelle, à travers un abonnement mensuel assorti de mises à jour régulières et d'un support technique.

La relation avec les utilisateurs finaux, médecins, kinésithérapeutes et patients, est quant à elle gérée entièrement depuis l'application. Le règlement des abonnements par les cabinets s'effectue par virement bancaire ou en espèces, sans paiement en ligne, ce qui correspond aux pratiques courantes du secteur en Algérie.

3.3. Comment pouvons-nous améliorer et personnaliser nos interactions ?

Plusieurs leviers permettent de renforcer et d'adapter la relation au fil du temps.

La formation des équipes médicales facilite l'adoption de l'application et réduit la courbe d'apprentissage. L'écoute des retours des praticiens partenaires oriente les évolutions de l'outil et entretient un sentiment de partenariat. Un support réactif, accessible directement depuis l'application, traite rapidement les difficultés rencontrées.

À plus long terme, la personnalisation de l'interface selon la spécialité ou le type d'établissement, ainsi qu'un accompagnement continu, consolident une relation durable et favorisent la fidélisation des établissements clients.

4. Canaux de distribution

4.1. Par quels canaux nos clients veulent-ils être atteints ?

Il faut distinguer le canal par lequel l'application est distribuée de ceux par lesquels les clients sont approchés.

L'application elle-même est disponible sur Google Play pour Android et sur l'App Store pour iOS, où elle est téléchargeable librement. Cette présence sur les boutiques assure la

visibilité du projet. Dans la phase pilote, l'accès reste toutefois restreint aux patients de la clinique partenaire, orientés directement par l'établissement.

Les établissements clients, eux, sont approchés par des canaux commerciaux directs : présentation de l'application, échanges avec les responsables de cabinet et phase pilote gratuite. À ces canaux s'ajoutent des canaux de notoriété, comme la présence dans les congrès et salons médicaux, le bouche-à-oreille des praticiens partenaires, ainsi que les réseaux sociaux.

4.2. Quels canaux sont les plus efficaces pour atteindre chaque segment ?

L'efficacité des canaux varie selon le segment visé.

Pour les établissements, le canal principal et le plus efficace reste le démarchage direct auprès des cabinets et cliniques privées, via des présentations suivies d'une phase pilote gratuite. Il permet de lever les réticences en montrant concrètement la valeur de l'application avant tout engagement.

Pour les professionnels de santé, le bouche-à-oreille entre confrères et la présence dans les événements médicaux sont les plus efficaces, car la recommandation d'un pair pèse davantage qu'une démarche commerciale classique.

Pour les patients, l'orientation se fait dans un premier temps directement par l'établissement, lors de la phase pilote. Ce n'est qu'à l'ouverture au grand public que les boutiques d'applications et les réseaux sociaux deviendront les canaux principaux pour les atteindre.

5. Partenaires clés

5.1. Qui sont nos partenaires clés ?

Google PosturaCare s'appuie sur trois catégories de partenaires.

Les partenaires technologiques. Google LLC constitue le partenaire technologique principal. Firebase assure l'authentification, la synchronisation des données en temps réel et le stockage des fichiers. Le service Google Gemini 2.5 Flash génère les pré-diagnostic et les formulaires d'approfondissement adaptés à chaque patient. Google ML Kit traite, de façon optionnelle, les photos envoyées par le patient pour produire une analyse visuelle complémentaire, sans intervenir dans la validation du diagnostic. Cloudinary assure le stockage et la livraison des fichiers multimédias échangés dans la messagerie. Cloudflare Workers

sécurise les appels vers les services externes sans exposer les clés de connexion dans le code de l'application.

Le partenaire académique. L'Université Abou Bakr Belkaïd de Tlemcen constitue le cadre institutionnel du projet. Elle apporte une crédibilité scientifique et facilite l'accès aux premiers professionnels de santé pour la validation des fonctionnalités médicales.

Les partenaires commerciaux. Les cabinets et cliniques privées recrutés lors de la phase pilote sont les premiers partenaires commerciaux. Leur retour d'expérience est indispensable pour affiner l'application avant un déploiement plus large.

5.2. Quels partenariats nous aident à réduire les coûts, à accéder à de nouvelles ressources ou à améliorer notre proposition de valeur ?

Chaque partenariat apporte un bénéfice distinct.

Sur la réduction des coûts, les niveaux gratuits de Firebase, de Cloudinary et de Cloudflare Workers couvrent la phase pilote et le début du déploiement, ce qui limite fortement les charges d'infrastructure au lancement. Le partenariat avec l'université et les centres de recherche y contribue également, en donnant accès à des ressources de recherche et de développement à moindre coût, dans le cadre universitaire et via d'éventuels programmes de collaboration ou subventions de recherche.

Sur l'accès à de nouvelles ressources, le service Gemini 2.5 Flash met à disposition une capacité d'intelligence artificielle qu'il serait impossible de développer en interne, tandis que le partenariat académique ouvre l'accès à un réseau de professionnels de santé et à une légitimité scientifique.

Sur l'amélioration de la proposition de valeur, Gemini est au cœur du pré-diagnostic et constitue donc le partenariat qui renforce le plus directement la valeur de l'application. Les cabinets et cliniques pilotes y contribuent également, puisque leurs retours de terrain permettent d'améliorer en continu la pertinence des diagnostics et la qualité du parcours.

6. Activités clés

6.1. Quelles sont les actions principales que nous devons entreprendre pour livrer notre proposition de valeur ?

Les activités clés de PosturaCare se répartissent en quatre grands ensembles.

Les activités techniques constituent le cœur du projet. Le développement et la maintenance de l'application en sont l'axe principal : assurer la stabilité sur Android et iOS, intégrer les retours des cabinets partenaires et déployer régulièrement de nouvelles fonctionnalités. À cela s'ajoute l'amélioration continue de l'intelligence artificielle, notamment la pertinence des pré-diagnostic générés et la qualité des formulaires d'approfondissement adaptés à chaque patient.

Les activités commerciales sont déterminantes lors de la phase de lancement. Elles comprennent l'identification des établissements cibles, la présentation de l'application, la négociation des conditions d'accès pilote, ainsi que la gestion des codes d'accès remis aux patients.

Les activités de formation et de support garantissent l'adoption de l'outil. Elles englobent la formation des équipes médicales, l'accompagnement des praticiens à la prise en main et un support technique réactif pour traiter rapidement les difficultés rencontrées.

Les activités de suivi et d'amélioration assurent enfin la pérennité du service. Le recueil et l'analyse des retours de terrain orientent l'évolution de l'application et nourrissent un cycle d'amélioration continue, à la fois technique et fonctionnelle.

7. Ressources clés

7.1. Quels sont nos actifs matériels, immatériels et humains essentiels ?

PosturaCare étant une application entièrement logicielle, ses actifs matériels sont réduits : ils se limitent au matériel de développement et aux terminaux servant à tester l'application sur Android et iOS.

Les actifs immatériels constituent l'essentiel de sa valeur. Il s'agit du code source de l'application, de son identité de marque, de l'intégration des différents services cloud, ainsi que du savoir-faire accumulé sur la conception du parcours de soins multi-acteurs.

Les ressources humaines regroupent l'équipe technique, chargée du développement, de l'intégration de l'intelligence artificielle et de la sécurité, ainsi qu'un profil commercial et de déploiement. À cela s'ajoute le réseau de contacts médicaux et universitaires, ressource humaine non technique mais déterminante pour convaincre les premiers cabinets et valider les fonctionnalités développées.

7.2. Quels sont les outils, les technologies ou les partenariats dont nous avons besoin pour réussir ?

Sur le plan technologique, Firebase constitue la colonne vertébrale de l'application. Le service Google Gemini 2.5 Flash est la ressource centrale pour l'intelligence artificielle. Google ML Kit traite de façon optionnelle les photos envoyées par les patients, pour une analyse visuelle secondaire. Cloudinary assure la livraison des fichiers multimédias et Cloudflare Workers sécurise les appels vers les services externes. L'ensemble repose sur le framework Flutter, qui permet un développement multiplateforme à partir d'une base de code unique.

Sur le plan des partenariats, le concours de Google pour la technologie, de l'université pour la crédibilité et l'accès au terrain, et des cabinets pilotes pour la validation, est indispensable à la réussite du projet.

7.3. Quels sont les principaux avantages concurrentiels de nos ressources ?

Plusieurs de ces ressources sont difficiles à reproduire et constituent un avantage concurrentiel.

Le savoir-faire sur le parcours complet multi-acteurs, qui relie le patient, le médecin et le kinésithérapeute, est le fruit d'un travail de conception spécifique. L'intégration de l'intelligence artificielle, toujours validée par un médecin réel, apporte une fiabilité que les outils grand public ne peuvent offrir. Le réseau médical et universitaire procure un accès au terrain précieux pour l'adoption. Enfin, l'architecture technique sécurisée, qui protège les clés de connexion via Cloudflare Workers, et la maîtrise des coûts d'infrastructure grâce aux niveaux gratuits, renforcent la solidité du modèle.

8. Structure de coûts

PosturaCare étant une application entièrement logicielle, elle n'engendre aucun coût de matériel ni de fabrication. Sa structure de coûts se répartit entre des coûts fixes, dominés par la masse salariale, et des coûts variables, liés à l'usage des services cloud et aux dépenses d'acquisition. Il faut préciser que, durant la phase pilote, ces charges sont presque entièrement absorbées par le porteur du projet : la structure de coûts décrite ci-dessous correspond au fonctionnement cible une fois l'activité lancée, à partir de la Phase 1.

8.1. Quels sont les coûts fixes et variables associés à notre modèle économique ?

Les coûts fixes correspondent aux charges récurrentes, indépendantes du nombre d'utilisateurs ; ils sont dominés par les ressources humaines. Le principe retenu est celui d'une

montée en charge progressive. Durant la phase pilote, le porteur du projet assure seul le développement et le suivi, sans rémunération, ce qui réduit les coûts à presque rien. Une première équipe réduite se constitue au lancement (Phase 1), puis s'étoffe à mesure que les revenus augmentent (Phase 2). Tous les montants ci-dessous sont des estimations approximatives.

Tableau 7 Évolution de l'équipe et du coût des ressources humaines par phase (approximatif)

Profil	Coût unitaire (DA)	Pilote	Phase 1	Phase 2
Développeur débutant	60 000	0	1	2
Développeur expérimenté / responsable technique	100 000	porteur	1	1
Chargé commercial et de déploiement	60 000	0	1	2
Support client et administration	30 000	0	0	1
Coût RH mensuel total (DA)	—	≈ 0	≈ 220 000	≈ 370 000

En phase pilote, l'équipe se limite au porteur du projet, qui n'est pas rémunéré : le coût des ressources humaines est donc pratiquement nul. Au lancement, une équipe réduite se met en place autour d'un développeur débutant, d'un responsable technique et d'un chargé commercial, pour un coût mensuel d'environ 220 000 DA. En phase de déploiement, l'équipe s'élargit, avec deux développeurs, deux commerciaux et un poste de support et d'administration, ce qui porte le coût des ressources humaines à environ 370 000 DA par mois.

Les coûts variables évoluent avec l'activité, le nombre d'utilisateurs et les actions commerciales menées.

Tableau 8 Estimation des coûts variables

Poste de coût variable	Estimation indicative
Service Gemini 2.5 Flash (unités de traitement)	Selon l'usage (voir décomposition ci-après)
Firebase et Cloudinary au-delà des niveaux gratuits	Proche de zéro en phase pilote, croissant à l'échelle
Frais de recrutement	15 000 – 30 000 par embauche
Publicité et acquisition (campagnes ciblées)	20 000 – 50 000 par mois en phase de lancement
Participation aux salons et congrès médicaux	50 000 – 100 000 par événement (ponctuel)

Le coût variable le plus structurant reste celui du service Gemini 2.5 Flash. Son niveau gratuit, limité à 20 requêtes par jour, ne couvre que les tests internes ; dès qu'un patient réel utilise l'application, le service fonctionne en mode payant à l'usage. Une consultation génère plusieurs appels au service : génération du pré-diagnostic, construction du formulaire approfondi et, de façon optionnelle, analyse des photos. Le tableau suivant détaille le coût par étape.

Tableau 9 Décomposition des unités de traitement consommées par étape (Gemini 2.5 Flash, tarifs juin 2026)

Étape	Unités entrée	Unités sortie	Total	Coût (dollars)
Localisation de la douleur et premier formulaire	1 500	400	1 900	0,00023
Génération du pré-diagnostic (description, pourcentages, spécialistes)	2 500	1 200	3 700	0,00058
Génération du formulaire approfondi selon les réponses	2 000	1 000	3 000	0,00046
Analyse visuelle des photos envoyées par le patient	1 000	500	1 500	0,00023
Total par consultation complète	7 000	3 100	10 100	0,00150

Au-delà de la consultation initiale, chaque patient génère en moyenne une vingtaine d'interactions mensuelles avec l'application. En comptant l'ensemble de ces échanges, le coût mensuel par patient actif est estimé à environ 0,03 dollar. Le tableau suivant projette ces coûts selon les phases de déploiement.

Tableau 10 Projection du coût mensuel par phase (hypothèse : environ 20 interactions par utilisateur actif par mois)

Phase	Utilisateurs actifs	Interactions / mois	Coût Gemini	Coût total estimé
Phase 0 — Pilote (1 clinique, jusqu'à 50 patients)	jusqu'à 50	jusqu'à 2 000	≈ 3 dollars	5 à 8 dollars
Phase 1 — Premières licences (300 utilisateurs)	300	6 000	≈ 9 dollars	20 à 35 dollars
Phase 1 — Croissance (1 000 utilisateurs)	1 000	20 000	≈ 30 dollars	60 à 100 dollars
Phase 2 — Déploiement élargi (5 000 utilisateurs)	5 000	100 000	≈ 150 dollars	250 à 400 dollars
Phase 2 — Grande échelle (20 000 utilisateurs)	20 000	400 000	≈ 600 dollars	900 à 1 400 dollars

En combinant les ressources humaines et les principaux coûts variables, on obtient une estimation approximative du coût mensuel total de fonctionnement à chaque phase. Le tableau suivant en donne une synthèse, le coût cloud étant converti en dinars au taux approximatif de 130 DA pour un dollar.

Tableau 11 Synthèse du coût mensuel total estimé par phase (approximatif)

Poste	Pilote	Phase 1	Phase 2
Ressources humaines	≈ 0	≈ 220 000	≈ 370 000
Infrastructure cloud	≈ 1 000	≈ 5 000	≈ 50 000
Publicité et acquisition	5 000	30 000	60 000
Total mensuel estimé (DA)	≈ 11 000	≈ 263 000	≈ 492 000

8.2. Quels sont les coûts les plus importants pour notre entreprise ?

Le poste le plus important est, de loin, la masse salariale, et son poids augmente avec la montée en charge. Pratiquement nul en phase pilote, le coût des ressources humaines devient le premier poste dès le lancement, puis croît encore en phase de déploiement avec l'élargissement de l'équipe. À l'inverse, les coûts cloud restent marginaux au début grâce aux niveaux gratuits et ne deviennent significatifs qu'à grande échelle, comme le montre la projection par phase. Les frais de publicité et de recrutement forment un troisième poste, dont le poids suit également la croissance de l'activité.

8.3. Comment pouvons-nous réduire les coûts ou améliorer l'efficacité de nos opérations ?

La principale source d'économie réside dans la montée en charge progressive de l'équipe : le recrutement est échelonné en fonction de la croissance des revenus, ce qui évite des charges fixes prématurées. En phase pilote, le porteur du projet assure seul l'essentiel des tâches, et l'équipe ne s'étoffe qu'une fois les premières licences signées. Les niveaux gratuits de Firebase, de Cloudfire et de Cloudflare Workers repoussent l'apparition des coûts d'infrastructure. L'acquisition privilégie le bouche-à-oreille des praticiens partenaires et le démarchage ciblé plutôt qu'une publicité large et coûteuse. Enfin, le partenariat universitaire donne accès à des ressources de recherche et de développement à moindre coût, dans le cadre de programmes de collaboration.

9. Sources de revenus

La monétisation de PosturaCare repose sur un abonnement mensuel facturé aux cabinets et cliniques privées, réglé par virement bancaire ou en espèces, sans paiement en ligne, conformément aux pratiques courantes du secteur en Algérie. Pendant la phase pilote, l'accès est gratuit pour les établissements partenaires, le coût réel étant absorbé par le porteur du projet. À partir de la Phase 1, les établissements souscrivent une licence selon une grille tarifaire.

9.1. Quels produits ou services nos clients sont-ils prêts à payer ?

Les établissements de santé sont prêts à payer pour l'accès à l'application, qui leur fait gagner du temps médical et valorise leur cabinet auprès de la patientèle. Trois sources de paiement se distinguent. La licence mensuelle d'utilisation constitue le revenu principal et récurrent. Les prestations de formation et d'intégration, facturées sur devis, apportent un revenu complémentaire lors du déploiement. Enfin, des contrats institutionnels, notamment avec des hôpitaux publics, peuvent être conclus sur devis à plus long terme. Dans ce modèle, le patient ne paie pas : c'est l'établissement qui supporte le coût du service.

9.2. Quel est notre modèle de tarification ?

Le modèle de tarification repose sur un abonnement mensuel par licence, dont le montant varie selon le type et la taille de l'établissement. La phase pilote est gratuite, afin de faciliter l'acquisition des premiers partenaires. À l'ouverture au grand public, un modèle gratuit assorti d'options payantes est envisagé. La grille suivante présente les tarifs indicatifs, convertis en dollars au taux approximatif de 130 DA pour un dollar.

Tableau 12 Grille tarifaire PosturaCare (tarifs indicatifs)

Segment	Tarif mensuel	Modèle	Phase	Remarque
Clinique pilote (jusqu'à 50 patients)	Gratuit	Acquisition	0	Coût absorbé par le porteur du projet

Segment	Tarif mensuel	Modèle	Phase	Remarque
Clinique privée (jusqu'à 5 praticiens)	5 000 à 15 000 DA	Licence mensuelle	1	≈ 38 à 115 dollars
Cabinet médical privé	3 000 à 8 000 DA	Licence mensuelle	1	≈ 23 à 62 dollars
Accès individuel	Gratuit	Option payante	2	Ouverture progressive
Hôpital public	Sur devis	Institutionnel	2	Négociation longue
Formation et intégration	Sur devis	Prestation	1 et 2	Service additionnel

9.3. Quelle est la projection de rentabilité de notre modèle ?

En rapprochant les revenus des coûts, on peut estimer le seuil de rentabilité, ou point mort, c'est-à-dire le nombre d'établissements abonnés à partir duquel l'activité couvre ses charges. En Phase 1, le coût mensuel total de fonctionnement est estimé à environ 263 000 DA. En retenant un revenu moyen approximatif de 8 000 DA par établissement abonné, les cliniques payant davantage que les cabinets, le point mort se situe autour de 33 abonnés. Le tableau suivant illustre ce seuil pour différents niveaux d'abonnement.

Tableau 13 Projection de rentabilité et point mort en Phase 1 (approximatif)

Établissements abonnés	Revenu mensuel (DA)	Coûts mensuels (DA)	Résultat mensuel (DA)
10	80 000	≈ 263 000	– 183 000 (déficit)
20	160 000	≈ 263 000	– 103 000 (déficit)
33 (point mort)	≈ 264 000	≈ 263 000	≈ 0 (équilibre)
50	400 000	≈ 263 000	+ 137 000 (bénéfice)
80	640 000	≈ 263 000	+ 377 000 (bénéfice)

Ainsi, dès qu'une trentaine d'établissements sont abonnés, l'activité atteint son équilibre, puis devient bénéficiaire au-delà. Ce seuil reste atteignable à l'échelle d'une région, ce qui rend le modèle viable. L'ouverture au grand public demeure une perspective à long terme, envisagée uniquement lorsque suffisamment de professionnels de santé seront présents sur l'application. Le mode de rémunération des médecins indépendants dans ce cadre fera l'objet d'une réflexion distincte, notamment au regard des contraintes liées au paiement en ligne en Algérie

Résumé

PosturaCare est une application mobile multi acteurs dédiée à la gestion du parcours de prise en charge des troubles locomoteurs. Elle permet à un patient de décrire ses symptômes, d'obtenir un pré-diagnostic généré par intelligence artificielle, puis d'être pris en charge par un médecin qui pose un diagnostic final après consultation et collaboration avec d'autres spécialistes si nécessaire. Le dossier est ensuite transmis automatiquement à un kinésithérapeute qui élabore un programme de rééducation personnalisé. L'ensemble du suivi s'effectue au moyen d'une messagerie intégrée permettant l'échange de messages, de photos et de vidéos entre les acteurs. L'application est développée avec Flutter et repose sur Firebase pour la gestion des données et l'authentification, Google Gemini pour le pré-diagnostic, et l'outil de détection de points anatomiques de Google pour l'analyse posturale.

Abstract

PosturaCare is a multi-actor mobile application dedicated to managing the care pathway for locomotor disorders. It enables a patient to describe their symptoms and receive an AI-generated pre-diagnosis, after which a physician reviews the case, collaborates with other specialists if needed, and delivers a final diagnosis. The case is then automatically forwarded to a physiotherapist, who designs a personalised rehabilitation program. All follow-up communication is handled through an integrated messaging system that supports text, images, and video. The application is built with Flutter and uses Firebase for data management and authentication, Google Gemini for pre-diagnosis generation, and Google's pose detection technology for postural analysis.

ملخص

PosturaCare تطبيق جوال متعدد الأطراف مخصص لإدارة مسار رعاية اضطرابات الجهاز الحركي. يتيح للمريض وصف أعراضه والحصول على تشخيص مسبق مولّد بواسطة الذكاء الاصطناعي، ثم توجيهه إلى طبيب مختص يضع التشخيص النهائي، وبعده يُحال الملف تلقائيًا إلى معالج فيزيائي يضع برنامجًا لإعادة التأهيل. يعتمد التطبيق على FI

