

Le projet « Avenir Rachis »

D.U. Métavers et Santé

“On ne fait jamais attention à ce qui a été fait ; **on ne voit que ce qui reste à faire.**” Marie Curie

Table des matières

I. Introduction.....	4
II. Contexte et Problématique	4
1. Présentation des pathologies affectant la colonne vertébrale.....	4
2. Description de la prise en charge actuelle	6
3. Émergence du projet "Avenir Rachis"	7
4. Identification de la problématique : la nécessité d'une plateforme numérique.....	7
III. Objectifs du Projet "Avenir Rachis"	7
1. Centralisation et sécurisation des données médicales	7
2. Création du "Passeport Rachis" : un dossier numérique informatisé	8
3. Intégration de la télémédecine et des programmes de rééducation	9
4. Utilisation de la blockchain pour la sécurité des données	11
IV. Publics cibles.....	11
1. Les prescripteurs-utilisateurs	12
2. Les patients utilisateurs.....	14
3. Les payeurs	15
V. Modélisation du "Passeport Rachis"	18
1. Les objets connectés existant.....	18
2. Applications existantes dédiées aux opérés du rachis	19
3. Des stars Up françaises sont également sur le marché depuis moins longtemps :.....	20
4. Intégration de la réalité virtuelle à la rééducation des patients :	20
VI. Intégration de la Réalité Virtuelle/Assistée	21
1. Partenariat avec Brainlab et le casque "Mixed Reality Viewer"	21
2. Accompagnement du chirurgien	21
3. Explications au patient et amélioration de la compréhension.....	21
4. Création d'un jumeau numérique	22
VIII. Finalité du Projet	24
1. Fonctionnalités clés	24
2. Le choix du métars.....	24
IX. Conclusion	25

I. Introduction

Ce mémoire porte sur un projet de métavers dans le cadre du DU métavers en santé. Il s'agit de la création d'un métavers autour la chirurgie du rachis. Il serait destiné aux chirurgiens du rachis (orthopédistes et neurochirurgiens), aux kinésithérapeutes et aux patients

La première étape de ce projet est une recherche qui se veut exhaustive des besoins de chacun et de l'existant mais aussi une réflexion quant à la pérennité financière du projet.

Il s'est agi de faire le point sur les différentes pathologies du rachis, des évolutions dans la prise en charge et l'identification d'un besoin. Ce besoin de plus d'accompagnement des patients mais aussi de facilitation de la communication entre les professionnels intervenant dans la prise en charge des pathologies du rachis sert à définir le projet « Avenir Rachis ». Une fois les objectifs du projet énoncés, il est nécessaire d'analyser les différentes cibles d'« Avenir Rachis » : prescripteurs, utilisateurs et payeurs. Ces différents axes de réflexion ont donné lieu à une modélisation d'un « Passeport Rachis » tenant compte de l'existant (objets connectés, applications existantes, start-up...). De nombreuses étapes, notamment financières, restent à mener pour finaliser ce projet.

II. Contexte et Problématique

1. Présentation des pathologies affectant la colonne vertébrale¹

Les **pathologies de la colonne vertébrale en échec d'un traitement médical** et qui vont nécessiter une intervention chirurgicale. Il s'agit essentiellement de **pathologies dégénératives** (hernie discale, canal rachidien rétréci, discopathie).

La hernie discale lombaire est une **pathologie fréquente touchant le plus souvent l'adulte jeune (25-45ans)**. Elle se forme à la suite d'une **lésion du disque intervertébral** provoquant l'expulsion du noyau pulpeux au travers de l'anneau fibreux. Cette expulsion peut engendrer la compression d'une racine nerveuse.

Elle se manifeste le plus souvent par une **sciatalgie**, ou une **cruralgie** parfois associée à une lombalgie. Le diagnostic se fait grâce à une IRM du rachis lombaire, ou à défaut par un scanner.

Le **traitement initial** est dans la plupart des cas **médical** avec des antalgiques, de la kinésithérapie, voire une infiltration scanno-guidée. Cependant, si la douleur persiste ou si des signes d'urgence sont présents (perte de force, problèmes urinaires ou « syndrome de la queue de cheval », douleur mal tolérée) : un **traitement chirurgical** doit s'envisager. Le traitement chirurgical consiste à réaliser une **ablation de la hernie discale** afin de soulager le nerf comprimé. Le temps d'hospitalisation est en moyenne de 2 jours. Il sera nécessaire par la suite d'effectuer de la rééducation.

1)Hernie discale cervicale

La hernie discale cervicale est une **protrusion du disque intervertébral dans le canal rachidien**.

Elle peut être secondaire au **vieillessement** ou à un **traumatisme du rachis cervical** (« coup-du-lapin »). Le diagnostic se fait grâce à une IRM du rachis cervical, ou à défaut par un scanner. Il peut aussi vous être demandé de réaliser un électroneuromyogramme afin d'étudier la conduction nerveuse.

Le traitement initial d'une hernie discale cervicale non déficitaire est médical : repos, antalgiques. Si les symptômes persistent après 2 mois de traitement médical bien conduit ou si un déficit est présent

¹ [Neurochirurgie - Rachis | CHU de Nice \(chu-nice.fr\)](http://neurochirurgie-rachis.chu-nice.fr)

ou apparaît, le traitement chirurgical doit s'envisager afin de remplacer le disque. La durée d'hospitalisation est en moyenne de 3 à 4 jours. Il sera nécessaire par la suite d'effectuer de la rééducation

2) Canal lombaire étroit

Le canal lombaire étroit (CLE) est une **pathologie fréquente**, le plus souvent acquise par suite de phénomènes dégénératifs, touchant préférentiellement l'**adulte vieillissant (>65ans)**.

Le traitement est dans un premier temps médical : lutte contre le surpoids, antalgiques, kinésithérapie, infiltration épidurale scanno-guidée. Il peut être envisagé un traitement chirurgical après échec d'un traitement médical bien conduit : il s'agit d'un **recalibrage ou laminectomie** qui consiste en l'**ablation des éléments arthrosiques par voie postérieure** afin de libérer les structures nerveuses. La durée d'hospitalisation est en moyenne de 3 à 4 jours. Il sera nécessaire par la suite d'effectuer de la rééducation.

3) Canal cervical étroit

Le canal cervical étroit est une **pathologie acquise avec l'âge**. Il correspond à un **rétrécissement progressif du canal médullaire** entraînant une compression de la moelle épinière.

Le traitement est chirurgical quand il existe des **symptômes neurologiques** ou une **souffrance de la moelle** visible à l'IRM. La chirurgie consiste en une **laminectomie ou laminoplastie par voie postérieure** (décompression de la moelle épinière) du ou des niveaux atteints. La durée d'hospitalisation est en moyenne de 4 à 6 jours. Il sera nécessaire par la suite d'effectuer de la rééducation.

4) Lombalgie chronique

La lombalgie chronique se définit par une **douleur de la région lombaire depuis plus de 3 mois**. Elle est parfois accompagnée de douleurs des membres inférieurs. Elle peut être dégénérative (le plus souvent) : d'origine discale, facettaire, mixte ; ou secondaire : traumatique, infectieuse, tumorale, inflammatoire.

Le traitement initial est conservateur avec la prise d'antalgiques adaptés, la pratique du sport, la rééducation du dos et la perte de poids. Si les douleurs persistent et limitent les activités de la vie quotidienne malgré le traitement médical, la chirurgie peut être envisagée. La durée d'hospitalisation est en moyenne de 3 à 5 jours. Il sera nécessaire par la suite d'effectuer de la rééducation.

5) Spondylolisthesis

Le spondylolisthesis correspond au **glissement d'une vertèbre sur une autre**, le plus souvent en avant, pouvant entraîner un rétrécissement du canal rachidien voire la compression d'une racine nerveuse.

Si le spondylolisthesis est minime ou asymptomatique, le traitement est en premier lieu médical : prise en charge du surpoids, maintien d'une activité physique, antalgiques, kinésithérapie. Si la douleur persiste après le traitement médical et/ou si des signes d'urgence sont présents (faiblesse musculaire, douleur mal tolérée) : un traitement chirurgical doit s'envisager. La durée d'hospitalisation est en moyenne de 3 à 5 jours. Il sera nécessaire par la suite d'effectuer de la rééducation et d'éviter le port de charges lourdes.

6) Scoliose

La scoliose est une **déformation non réductible de la colonne vertébrale dans les 3 plans de l'espace** (sagittal, axial et coronal).

Avenir Rachis

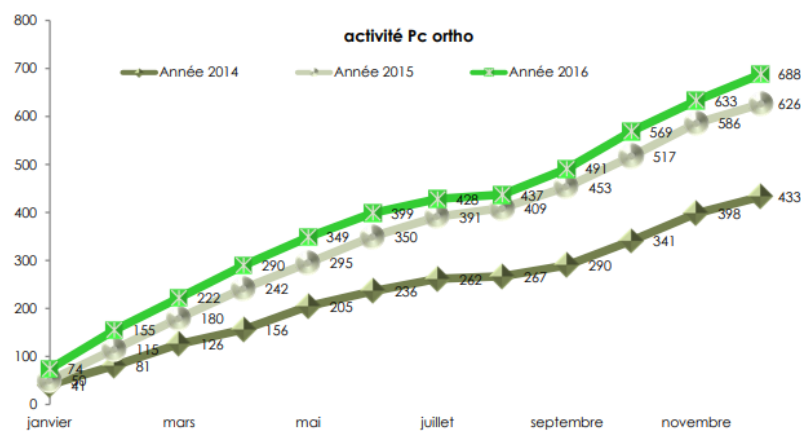
Les scolioses idiopathiques de l'adolescent sont traitées par corset rigide. Une chirurgie peut être réalisée si elle s'aggrave ou si elle est sévère d'emblée. Les scolioses dégénératives de l'adulte se traitent en première intention par traitement médical avec des antalgiques, de la kinésithérapie et une activité physique régulière. Le traitement chirurgical est réalisé en dernier recours afin de stopper la progression de la déformation, rétablir au mieux l'équilibre de la colonne et décompresser si besoin les éléments nerveux. La durée d'hospitalisation est d'environ une semaine. Il sera nécessaire par la suite d'effectuer de la rééducation au long cours.

2. Description de la prise en charge actuelle

La **chirurgie rachidienne** est une spécialité pratiquée à la fois par les **neurochirurgiens** et les **orthopédistes**.

1) L'activité en chirurgie orthopédique connaît une forte croissance

3 338 chirurgiens orthopédistes traumatologues exercent en France en 2017 (Source DREES 2016)²



1 personne sur 2 entre 18 et 60 ans, et 6 personnes sur 10 après 65 ans ont recours à la chirurgie orthopédique et traumatologique.³

2) Un parcours de soin qui se digitalise



4

² Livre blanc de la chirurgie orthopédique et traumatique 2018

³ Livre blanc de la chirurgie orthopédique et traumatique. 2018

⁴ Livret orthopédie - édition 2020 - orthopédie - Snitem

3. Émergence du projet "Avenir Rachis"

Le projet « Avenir Rachis » est né de cette double constatation avec une attente des médecins dans le digital, des besoins des patients en termes d'informations didactiques (visualisation par exemple) et d'accompagnement.

« Avenir Rachis » devrait comporter

- Dans un premier temps un chapitre didactique dédié aux médecins avec une possibilité de voir la colonne du patient en 3D. Cela permettra aux médecins de montrer aux patients leurs pathologies et d'expliquer la chirurgie. Dans un deuxième temps le métavers pourra évoluer pour permettre aux médecins de s'entraîner à la chirurgie.
- Un chapitre de suivi de l'activité post-opératoire du patient avec suggestion d'exercices physiques adaptés
- Un module individuel par patients ou l'équipe médical pourra suivre l'évolution du patient et échanger des informations médicales.

4. Identification de la problématique : la nécessité d'une plateforme numérique

Le besoin d'une plateforme regroupant médecins, kinésithérapeute, et patient a été identifiée. Il s'agit d'installer une solution technique permettant la consultation, la préparation de la chirurgie, le suivi et la surveillance à distance des patients pour :

- Améliorer la communication médecin/patient
- Visualiser et préparer la chirurgie
- Diminuer les déplacements des patients vers les services de consultation chirurgicale
- Améliorer le confort et la sérénité des patients tout en permettant de dépister rapidement les situations à risque
- Optimiser le temps médical de consultation du kinésithérapeute (en lui permettant d'intervenir à distance chez des patients)

III. Objectifs du Projet "Avenir Rachis"

1. Centralisation et sécurisation des données médicales

1) Evolution des pratiques et des soins : le soin « à la maison »

Ces dernières années ont vu le développement des soins à domicile ce qui nécessite de :

- Créer de nouveaux standards : développement des séjours courte durée après chirurgie (Ambulante, Programmes de récupération améliorée après chirurgie, sortie précoce...)
- Assurer la surveillance et la Gestion des Risques à domicile
- Rassurer et motiver le patient pour qu'il soit ACTEUR de sa prise en charge

2) L'évolution de l'environnement santé

- 1990 : débuts de la « télémédecine »
- John Mitchell, 7ème congrès international de télémédecine, 1999 : « ...l'usage combiné de l'internet et des technologies de l'information à des fins cliniques, éducationnelles et administratives, à la fois localement et à distance... »

Avenir Rachis

- 1995-2005 : essor d'internet
- 2007 : smartphones puis tablettes m-santé
- 2012 : Big data
- 2015 De la e-santé à la santé connectée », Le Livre Blanc du CNOM

3) Hébergeur de données de santé

Devant la sensibilité des données de santé, leur hébergement doit présenter toutes les conditions de sécurité adaptée à leur criticité. En effet, l'hébergement doit être réalisé par un organisme certifiée « Hébergeur de Données de Santé » (HDS)

Les activités pour lesquelles un hébergeur peut être certifié sont :

- La mise à disposition et le maintien en condition opérationnelle des sites physiques permettant d'héberger l'infrastructure matérielle du système d'information utilisé pour le traitement des données de santé ;
- La mise à disposition et le maintien en condition opérationnelle de l'infrastructure matérielle du système d'information utilisé pour le traitement de données de santé ;
- La mise à disposition et le maintien en condition opérationnelle de la plateforme d'hébergement d'applications du système d'information ;
- La mise à disposition et le maintien en condition opérationnelle de l'infrastructure virtuelle du système d'information utilisé pour le traitement des données de santé ;
- L'administration et l'exploitation du système d'information contenant les données de santé ;
- La sauvegarde de données de santé.

La liste des hébergeurs HDS se trouve : [Liste des hébergeurs certifiés | Agence du Numérique en Santé \(esante.gouv.fr\)](#)

2. Création du "Passeport Rachis" : un dossier numérique informatisé

Selon la CNIL lorsque vous inscrivez un fichier dans un registre, il faut indiquer obligatoirement sa finalité : c'est cette finalité déclarée que vous aurez à respecter tout au long de la construction et de l'utilisation de votre fichier, les grands principes des règles de protection des données personnelles⁵ :

- Principe de finalité : usage déterminé et légitime.
- Principe de pertinence des données : informations pertinentes et nécessaires au regard des objectifs.
- Principe d'une durée limitée de conservation des informations précise et déterminée en fonction de l'objet de chaque fichier.
- Principe du droit des personnes : il est nécessaire d'obtenir un accord exprès, avertir du droit d'accès et de rectification ainsi qu'un droit d'opposition
- Principe de sécurité et de confidentialité des données : responsable de traitement = responsable de la sécurité en cas de circulation des données

⁵ CNIL. [Question | CNIL](#)

Avenir Rachis

Donnée personnelle (définition CNIL) : Toute information identifiante directement ou indirectement une personne physique (ex. nom, no d'immatriculation, no de téléphone, photographie, date de naissance, commune de résidence, empreinte digitale...

Dans le cadre de ce projet, il s'agirait du :

- Finalité : Suivi, pré- et post-opératoire, d'un patient souffrant de pathologie du rachis pour favoriser le retour à une vie normale (rétablissement, APA...)
- Pertinence : données sur le rachis en pré- et post-opératoire, suivi de l'activité des patients
- Limite : durée du suivi post-opératoire (kinésithérapie incluse)
- Droit : recueillir l'accord du patient
- Sécurité : hébergeur HDS

3. Intégration de la télémédecine et des programmes de rééducation

Le digital connaît une expansion importante chez le tout-à-chacun :

- 35 % de la population utilise un objet connecté
- 11% dans le domaine de la santé
- 44% des patients s'inquiètent de l'utilisation de leurs données !
- 38% recueillent des données
- Croissance importante (X 2 en 3 ans)
- 350 000 applis santé / bien-être⁶ .

⁶ HAS. Évaluation des applications dans le champ de la santé mobile (mHealth)

Avenir Rachis

ANALYSE DU TOP 150 DES APPLICATIONS MÉDICALES SUR iOS ET ANDROID EN FRANCE

24%

seulement des app. déclarent l'intervention d'un professionnel de santé lors de la conception.



Un chiffre proche de zéro lorsqu'il s'agit des patients.

12%
iOS Gratuite

8%
Android Gratuite

40%
iOS Payante

28%
Android Payante

62%

des app. signalent clairement à qui elles sont destinées dans leur description ou à leur lancement.



66%
iOS Gratuite

48%
Android Gratuite

66%
iOS Payante

60%
Android Payante

62%

de ces app. comportent un contenu médical ou scientifique

MAIS

seules 19% d'entre elles citent leurs sources.



21%
iOS Gratuite

7%
Android Gratuite

29%
iOS Payante

11%
Android Payante

79%

des app. n'ont pas de Conditions Générales d'Utilisation (dans l'app. ou dans un site web dédié).



51%

n'affichent pas les coordonnées de contact de l'éditeur.



59%

des app. ont une fonction évidente de recueil de données (pathologie(s), mail, âge, sexe, poids, traitement, géolocalisation, antécédents, etc).



42%

de celles-ci n'ont aucun élément d'information en lien avec le traitement de ces données.

CONCLUSION

La labellisation efficace et transparente sur le plan médical, de l'usage, de l'éthique et du juridique est un réel besoin pour que se développe la confiance en santé mobile.

Méthodologie :

• Sources : applications du « Top 150 », soit l'analyse des 25 premières applications dans les stores iOS (iPhone et iPod) et Android, dans les catégories « gratuites » et « payantes », sous le thème « applications médicales » de ces stores.

• Données extraites le 9 juillet 2015

• Auditeurs : deux médecins et un pharmacien



Au sujet du label mHealth Quality de dmd Santé

mHealth Quality est un label associé à un store d'applications labellisées. Le grand public, les patients et les professionnels de santé ont enfin un espace de confiance ne contenant que des applications pertinentes sur le plan médical et respectueuses de leur vie privée.

Plus d'informations : mHealth-Quality.eu

11 Septembre 2015

dmd⁺
santé



bpifrance



4. Utilisation de la blockchain pour la sécurité des données

La blockchain utilise un élément de **signature digitale** afin d'effectuer des transactions sécurisées et sans risque de fraude. Cette caractéristique rend impossible la corruption ou le changement de données d'un individu par d'autres utilisateurs sans une signature digitale spécifique.⁷

La blockchain est une compilation de 3 technologies de pointe :

- Les clés cryptographiques
Les clés cryptographiques se présentent sous forme de clé privée et de clé publique. Ces clés aident à effectuer des transactions sécurisées réussies entre deux parties. Chaque individu dispose de ces deux clés qu'il utilise pour produire une référence d'identité digitale sécurisée. Cette identité sécurisée représente l'aspect le plus important de la technologie blockchain. Dans le monde de la blockchain crypto, on se réfère à cette identité comme à une signature digitale utilisée pour autoriser et contrôler les transactions.
- Les réseaux de pair à pair contenant un registre partagé
La signature digitale est fusionnée avec le réseau pair à pair. Ce dernier consiste en un grand nombre d'individus qui agissent en tant qu'autorité utilisant les signatures digitales afin d'arriver à un accord quant aux transactions et autres échanges. Lorsqu'une transaction est autorisée, elle est certifiée par une vérification mathématique résultant en une transaction sécurisée réussie entre les deux parties connectées sur le réseau. En résumé, les utilisateurs de la blockchain utilisent des clés cryptographiques pour effectuer différents types d'interactions digitales via un réseau de pair à pair.
- Les calculs mathématiques et informatiques permettant de stocker les transactions et les enregistrements du réseau

En résumé, une blockchain est une liste d'enregistrements de données qui fonctionne comme une base de données décentralisée. Les données sont organisées en blocs, qui sont classés chronologiquement et sécurisés par **cryptographie**.

IV. Publics cibles

Il y a 3 publics cibles :

- Les prescripteurs/utilisateurs (chirurgiens orthopédiques ou neurologues, kinésithérapeutes)
- Les patients utilisateurs
- Les payeurs

⁷ [Blockchain : des technologies de sécurisation avancée \(digitalcook.fr\)](https://digitalcook.fr/blockchain-des-technologies-de-securisation-avancee/)

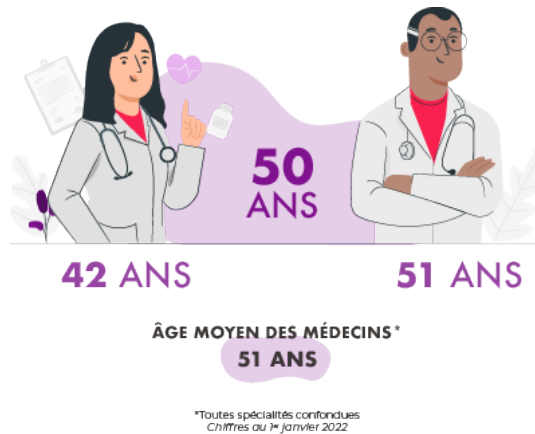
Avenir Rachis

1. Les prescripteurs-utilisateurs

1) Populations

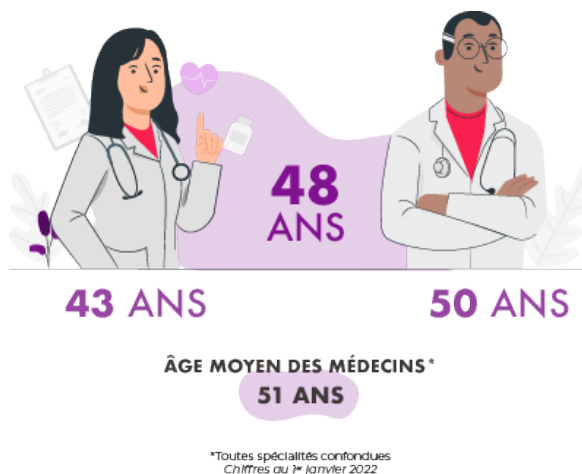
Les chirurgiens orthopédiques

En 2022, 3 723 chirurgiens orthopédiques et traumatologues exerçaient en France. La profession tend à se rajeunir et se féminiser⁸.



Les neurochirurgiens⁹

En 2022, 652 neurochirurgiens exercent en France soit 1 neurochirurgien pour 100 000 habitants. La profession est faiblement féminisée



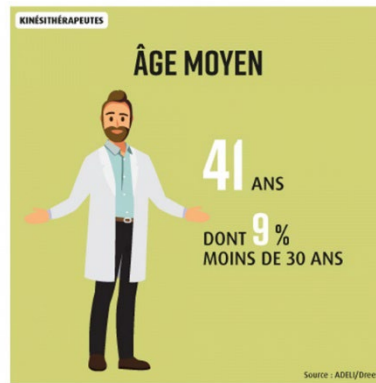
Les kinésithérapeutes

La population des kinésithérapeutes est de 91 485 personnes, relativement jeune. Ils ont fait leurs études avec l'outil digital et y sont plutôt familiarisés.

⁸ Livre blanc de la chirurgie orthopédique et traumatique 2018

⁹ Chiffres clés : Neurochirurgien | Profil Médecin (profilmedecin.fr)

Avenir Rachis



2) Recommandations médicales



MODULE 2

Bases physiologiques et évaluation de l'appareil locomoteur et de la motricité
Moyens thérapeutiques en MPR

Recommandations pour la rééducation associée à la chirurgie lombaire



Pr Arnaud Dupeyron

Faculté Médecine Montpellier Nîmes, Université Montpellier

Jeudi 20 janvier 2022

Recommandations pour la rééducation associée à la chirurgie lombaire :

- **RECOMMANDATION 1** Une prise en charge éducative (réassurance, activités quotidiennes, neurophysiologie de la douleur) doit être proposée avant chirurgie lombaire (Grade B pour discectomie, Grade C pour fusion et prothèse). Cette éducation peut être associée à des exercices spécifiques (renforcement, endurance, reprogrammation neuromotrice, étirements) avant chirurgie de fusion (Grade C) et de prothèse (AE).
- **RECOMMANDATION 2** Une activité physique régulière doit être proposée avant chirurgie lombaire (fusion ou prothèse), 150 minutes par semaine en privilégiant des activités indépendantes personnalisées (AE)

Place de la kinésithérapie

- Avant l'opération :
 - Aide le patient à conserver le mouvement et à préserver son autonomie. Il peut contribuer à diminuer les douleurs du patient et également lui donner des astuces en termes d'ergonomie.

Avenir Rachis

- Aide également le patient à se préparer pour l'intervention : s'il n'a pas trop mal, le patient va pouvoir réaliser des activités et des exercices spécifiques de renforcement musculaire et d'étirements.
- Après l'intervention : il guide le patient pendant la période de cicatrisation puis l'aider à reprendre ses activités sportives et professionnelles.
- Après l'opération :
 - RECOMMANDATION 3 La rééducation après chirurgie lombaire a pour objectif de rassurer le patient, d'améliorer sa mobilité, ses capacités fonctionnelles et son autonomie. Elle doit tenir compte de l'état physique et psychologique du patient, des suites opératoires, de ses activités professionnelles et de loisir (AE)
 - RECOMMANDATION 4 : Après une chirurgie du rachis lombaire, un programme d'exercices adapté (à l'âge, à la compréhension, à la douleur, aux capacités et à l'environnement du patient) et supervisé, basé sur un livret, une application ou un site Internet (de préférence validés) doit être proposé au patient (grade C). Ce programme peut être réalisé ou poursuivi à domicile (AE)
 - RECOMMANDATION 5 : Après une chirurgie du rachis lombaire, il est recommandé aux patients de marcher dès le jour de l'intervention, d'introduire progressivement les mouvements de la colonne vertébrale (AE) et de reprendre leurs activités de la vie quotidienne dans les deux premières semaines postopératoires (grade B pour la discectomie ; AE pour fusion et prothèse)

2. Les patients utilisateurs

1) Opérations concernées

Les opérations concernées sont principalement

- Hernie discale
- Canal lombaire étroit
- Arthrodèse lombaire
- Prothèses discales
- Arthrodèse sacro-iliaque...

2) Les patients

Justification du choix de ce public cible

Avant d'étendre le projet « Avenir Rachis » à tous les patients lombalgiques, nous avons tout d'abord orienté notre stratégie de démarrage en ciblant une population précise de patient.

En se limitant à la population des patients opérés puis dans un second temps la population des patients avec une indication opératoire nous concentrons l'accès à la plateforme à un segment de pathologies non chroniques.

Cette sélection nous permet d'éviter les écueils liés aux pathologies chroniques telle qu'une moindre observance des traitements associée souvent à une motivation diminuée.

« la préhabilitation est un programme de préparation avant l'intervention chirurgicale. Elle permet de limiter les complications postopératoires et d'améliorer la vitesse de récupération en préparant les patients en amont d'une chirurgie majeure. »

Les patients dont l'opération est programmée sont dans une dynamique curative et sont plus motivés à se préparer au mieux à une intervention chirurgicale et donc plus observant des programmes pré et post opératoire proposé par la plateforme.

Dans un second temps en élargissant notre cible vers les patients ayant une indication chirurgicale nous faisons profiter à ces patients, dont la date d'opération n'est pas encore programmée, d'un outil permettant de suivre leur évolution et pourquoi pas d'aider à la décision opératoire.

Psychologie du public cible

Population très diverse en âge et en pathologie. L'annonce du recours à la chirurgie du dos est à la fois attendue et redoutée. La peur et la perspective de la fin des souffrances sont associées.

Psychologiquement ces patients n'ont pas la même « inertie » que les patients atteints de maladie chroniques : ils sont confrontés à la douleur au quotidien et ont un objectif d'amélioration de leur situation par l'intervention chirurgicale

Au-delà de la simple opération, il s'agit d'un véritable projet thérapeutique qui inclut la kinésithérapie. Ainsi, le recours à la préhabilitation est recommandé en amont de l'opération et la kinésithérapie pour favoriser la récupération.

Toutefois, pour être mené à bien le projet thérapeutique nécessite un investissement de la part du patient pour réaliser les exercices et être observant. Toutefois les études font apparaître une faible observance¹⁰ :

- Entre 20 et 41 % des patients n'ont fait aucun des exercices prescrits
- Seulement 15 à 60 % ont fait la totalité des exercices
- Observance moyenne inférieure à 1 session par semaine...

Un programme d'auto-rééducation est recommandé par la HAS. Ainsi la réalisation d'exercices thérapeutiques adaptés à la situation clinique, enseignée par un kinésithérapeute, puis poursuivie à domicile, est recommandée au grade B.¹¹

3. Les payeurs

1) Les patients

- Il existe pléthore de documents proposant des exercices issus des différents centres de chirurgie.
- Il est difficile d'obtenir des patients qu'ils pratiquent leurs exercices à domicile (cf observance) après qu'ils leur aient été enseignés par un kinésithérapeute.
- La kinésithérapie est prise en charge par la Sécurité sociale et les mutuelles

Il ne semble pas raisonnable de concevoir un business plan prévoyant un financement par les patients.

¹⁰ SOFCOT 2022 , Bases physiologiques et évaluation de l'appareil locomoteur et de la motricité Moyens thérapeutiques en MPR [médecine physique et de réadaptation]

¹¹ E Doceul. Mesures de l'observance à un programme d'auto-rééducation dans le cadre de patients atteints de lombalgie chronique commune. Revue de la littérature.2021

2) Les sociétés savantes

La SOFCOT est la société française de chirurgie orthopédique pourrait être intéressée par la subvention du métavers.

Cela serait un outil mis à la disposition de ses adhérents. Il faut prévoir de travailler avec les leaders de la SOFCOT pour valider le contenu et cela ne peut se faire que dans le cadre qu'un codéveloppement du métavers.

La SOFCOT accompagne de près la révolution numérique déjà en cours que représente l'essor de la santé connectée et qui touche notre spécialité comme de nombreuses autres spécialités médicales

La SFCR (société française de chirurgie rachidienne) et la SFN (société française de neurochirurgie) sont aussi des sociétés savantes pouvant être contactées.

3) Les établissements de santé¹²

Le système hospitalier français comprend un secteur public, un secteur privé à but non lucratif et un **secteur privé constitué d'entreprises commerciales, l'hospitalisation privée à but lucratif**. Ce dernier est constitué sous forme de sociétés de personnes ou de capitaux, au sein desquelles s'exerce l'activité libérale des praticiens. Il comporte en France environ **1000 établissements** : en France 1 opération chirurgicale sur 2 a lieu dans le privé à but lucratif.

	Entités		Nombre de lits		Nombre de places	
	2013	2017	2013	2017	2013	2017
Secteur public	1 458	1 364	256 957	246 395	41 794	42 385
CHR/CHU	183	178	73 656	71 082	9 808	10 510
CH, hors anciens hôpitaux locaux	721	716	134 776	132 804	16 715	17 041
CH, anciens hôpitaux locaux	261	231	10 631	9 555	175	53
CH spécialisés en psychiatrie	98	95	25 904	23 944	14 648	14 331
Établissements de SLD	174	127	8 935	7 050	0	0
Autres établissements publics	21	17	3 055	1 960	448	450
Secteur privé non lucratif	712	680	58 241	56 482	12 903	13 882
CLCC ¹	21	21	2 887	2 732	891	671
Établissements de SCD ou pluridisciplinaires	155	143	19 423	18 805	2 573	2 847
Établissements de soins de SSR	366	371	25 367	25 669	4 051	4 652
Établissements de SLD	46	19	2 185	850	0	0
Autres établissements à but non lucratif	124	126	8 379	8 426	5 388	5 712
Secteur privé à but lucratif	1 022	1 002	98 008	96 988	17 245	19 185
Établissements de SCD ou pluridisciplinaires	532	498	58 105	53 629	13 387	13 816
Établissements de soins de SSR	334	350	26 954	29 396	2 661	3 597
Établissements de lutte contre les maladies mentales	144	145	12 447	13 568	1 197	1 687
Établissements de SLD	12	7	502	377	0	50
Autres	0	2	0	18	0	35
Ensemble	3 192	3 046	413 206	399 865	71 942	75 452

13

Ces établissements évoluent dans un contexte extrêmement **réglementé** : pas de liberté d'installation (obtention sélective d'autorisations pour des ouvertures de lits) ni de liberté tarifaire : chacun des

¹² Cliniques privées, l'autre eldorado du capital investissement. [Cliniques privées, l'autre eldorado du capital investissement – \(viedebio.com\)](http://viedebio.com)

¹³ DRESS. Les établissements de santé - édition 2019

2400 groupes homogènes de soins (GHS) a un **tarif réglementé** par la Sécurité Sociale et facturable par la clinique au patient. En revanche, les médecins libéraux exerçant en secteur 2 au sein de la clinique, fixent librement, déontologiquement avec tact et mesure, le montant de leurs prestations médicales

Les principaux groupements sont :

- **Ramsay Générale Santé** (124 établissements, 17% des parts de marché de l'hospitalisation privée générale dans le pays, 6000 médecins libéraux) est une filiale de l'australien Ramsay Health Care, **groupe australien de cliniques privées coté en Bourse**. **Ramsay Health Care et Crédit Agricole Assurances vie (Prédica) détiennent respectivement 50.91% et 38.40% des parts soit au total près de 90% du capital et des droits de vote de Ramsay Générale de Santé.**
- ELSAN «NOTRE SANTÉ AUTREMENT» Almayiva Santé a été créé en 2007 par l'acquisition d'un premier établissement à Marseille, puis s'est développé à travers de multiples opérations de croissance externe en région Paca et en Île-de-France, où il compte 41 cliniques. **Son chiffre d'affaires cumulé est de plus de 2 milliards d'euros et représente 20% de l'activité de l'hospitalisation privée en France.**
- Groupe VIVALTO Santé **possède 32 cliniques et 1900 praticiens et fait exception en ayant développé un modèle original dite « 3ème voie » associant leurs praticiens et managers au capital dans un schéma de partage de gouvernance** avec un déploiement misant sur quelques pôles régionaux. Ces pôles régionaux facilitent la mobilité des praticiens spécialisés qui interviennent ainsi dans plusieurs cliniques de proximité, ce qui élargit le panel de leurs compétences.
Le chiffre d'affaires de Vivalto est de **600 millions d'euros annuel.**

Ces groupements innovent fortement :

- A l'instar de l'application développée pour avoir en temps réel le temps d'attente dans ses services d'urgence, RGDS en a lancé une autre, à ce jour dans 3 établissements, Start'Op, afin de fluidifier l'admission des patients. L'excellence opérationnelle dans le parcours de soins, c'est aussi l'objectif du groupe Elsan, né de la fusion de Vedici et Vitalia, et en passe d'absorber MédiPôle Partenaires. « *L'objectif est d'installer dans nos cliniques des parcours personnalisés* », explique le professeur Gilles Kemoun, en charge de ce dossier. C'est le cas en orthopédie, où a été créée une fonction d'infirmière coordonnatrice et mis en place des partenariats avec d'autres acteurs de la chaîne de soins.¹⁴

Un de ces groupement peut être un payeur intéressé d'offrir à ses médecins une telle innovation.

4) Les mutuelles

Les mutuelles peuvent aussi être intéressées dans le cadre d'une politique de communication et d'accompagnement des patients. L'idée est que la mise à disposition du métavers permettra d'améliorer la récupération des patients et ainsi diminuer les coûts de la prise en charge.

¹⁴ Les echos. Les leaders français de l'hospitalisation privée innovent et se restructurent sous la contrainte tarifaire. 3 avril 2017

5) Les laboratoires

Un laboratoire implanté dans le marché de la chirurgie orthopédique pourrait aussi être intéressé par le métavers, cela serait une mise à disposition d'une solution d'accompagnement à ses clients. La création d'un tel métavers ferait partie d'une campagne de communication dans le cadre d'un travail d'association avec des experts. Si c'est l'option retenue, elle rend le recours aux mutuelles et la SOFCOT plus aléatoire car généralement ces payeurs ne veulent pas être associés à un laboratoire.

En l'état actuel aucun de ces payeurs ne peut être retenus pour une subvention totale du métavers. Une fois la proposition médicale définie, il peut être intéressant de prospecter auprès de ces payeurs sans restriction.

V. Modélisation du "Passeport Rachis"

Comme évoqué précédemment les pathologies du rachis nécessitent des séances de kinésithérapie en post op mais si possible en pré-op aussi. « Avenir Rachis » doit accompagner les patients dans leur programme de kinésithérapie à l'aide des données recueillies. Il s'agit de :

- L'intégration des données des objets connectés
- Suivi de l'état de forme physique
- Suivi de l'effort de la journée
- Suivi de la fréquence cardiaque moyenne
- Suivi des calories brûlées
- Programme de rééducation par pathologie



1. Les objets connectés existant

1) Bracelet connecté ou montre intelligente :

Mesure de la fréquence cardiaque en continu. Suit l'activité physique quotidienne, y compris le nombre de pas, la distance parcourue, les calories brûlées, etc. Il permet aussi de suivre la qualité du sommeil et permet la notification de rappels pour les médicaments ou les rendez-vous médicaux.

2)-Capteurs de mouvement :

Utilisés pour surveiller la mobilité et l'activité du patient, ils peuvent détecter les changements de posture et les mouvements inattendus qui pourraient indiquer des problèmes post-opératoires.

3)Podomètres :

Mesurent le nombre de pas et la distance parcourue, ce qui est important pour évaluer la reprise de l'activité physique post-opératoire.

4)Balance intelligente :

Mesure le poids corporel et peut être utilisée pour suivre les variations de poids post-opératoires. Il y a souvent associé à l'intervention chirurgicale un objectif de perte de poids dans le cadre des pathologies rachidiennes.

5)Capteurs de force et de pression :

Utile pour évaluer la répartition du poids corporel pendant la marche et la posture debout, ils peuvent aider à identifier des déséquilibres post-opératoires.

6)Capteurs de mouvement spécifiques à la colonne vertébrale :

Mesurent l'amplitude des mouvements de la colonne vertébrale et sont utiles pour surveiller la récupération de la mobilité de la colonne après une intervention.

7) Applications mobiles de suivi de la rééducation :

Offrent des vidéos et des instructions pour les exercices de rééducation post-opératoires et permettent aux patients de suivre leur progression et de signaler d'éventuels problèmes.

8) Applications de suivi de la douleur :

Permettent aux patients de noter leur niveau de douleur quotidiennement et facilitent la communication avec les professionnels de la santé pour ajuster la gestion de la douleur.

9)Application de suivi du sommeil :

Selon le bilan initial, la qualité du sommeil peut être un indicateur de l'évolution favorable d'un patient

2. Applications existantes dédiées aux opérés du rachis

Il existe déjà de multiples applications proposant des exercices spécifiquement pour les opérés du rachis lombaire.

1) Kaia Health (application allemande)

L'application propose des programmes de rééducation personnalisés pour les lombalgies. Elle utilise la caméra de votre smartphone pour suivre votre posture et la qualité de vos mouvements pendant les exercices. Elle fournit des retours en temps réel pour vous aider à corriger votre posture.



2)My Recovery

C'est une application anglaise de suivi de la rééducation après une intervention chirurgicale ou en cas de lombalgie. Elle offre des programmes de rééducation personnalisés et permet de suivre l'évolution des symptômes et des mouvements.



3)Physiotec

C'est une célèbre application francophone (Canada) qui propose une grande variété d'exercices de rééducation, y compris pour les lombalgies. Les exercices



sont accompagnés de vidéos explicatives pour une bonne exécution avec un suivi de la progression au fil du temps.

3. Des stars Up françaises sont également sur le marché depuis moins longtemps :

1) Kinovea

C'est une application développée en France qui peut être utilisée pour l'analyse vidéo du mouvement. Elle peut être utile pour les professionnels de la santé qui souhaitent analyser la posture et les mouvements des patients opérés du rachis et leur fournir des exercices de rééducation appropriés.



2) Axomove

C'est une application française de télééducation qui permet aux patients opérés du rachis de suivre des programmes de rééducation personnalisés.



Elle offre des exercices adaptés à chaque patient et permet aux kinésithérapeutes de suivre la progression à distance.

4. Intégration de la réalité virtuelle à la rééducation des patients :

1) Virtualis VR

C'est une plateforme de rééducation virtuelle qui propose des exercices de rééducation en utilisant la VR.



Virtualis

See beyond reality*

Elle permet aux patients de suivre des séances de rééducation immersives tout en étant supervisés à distance par des professionnels de la santé.

2) MindMaze

C'est une entreprise qui développe des applications de réalité virtuelle pour la rééducation.

mindmaze

Bien qu'elle ne soit pas exclusivement française, elle propose des solutions de rééducation virtuelle utilisées dans le domaine médical en France.

3) Revinax

C'est une entreprise française spécialisée dans la réalité virtuelle créée par un neurochirurgien. Cette plateforme est plutôt orientée vers la formation des chirurgiens



4) RelieVRx™¹⁵

Premier traitement de réalité virtuelle (RV) à domicile autorisé par FDA et dont il a été cliniquement prouvé qu'il réduit les douleurs de la lombalgie chronique. Le programme propose différents programmes avec pour objectif la réduction des douleurs dont des séances de relaxation et aussi des exercices actifs



Principe

RelieVRx, en tant que système de réalité virtuelle immersif sur ordonnance est destiné à fournir un traitement d'appoint, basé sur des compétences de thérapie cognito-comportementale et autres méthodes comportementales pour des patients (âgé de 18 ans ou plus) ayant reçu un diagnostic de

¹⁵ [Clinical Results | RelieVRx](#)

lombalgie chronique. Le dispositif est destiné à une utilisation à domicile pour la réduction de la douleur et des interférences associées à la lombalgie clinique.

Les séances quotidiennes consistent en des techniques établies de gestion de la douleur telles que la conscience du corps, la distraction de la douleur, la relaxation et la modification du comportement. Les sessions de réalité virtuelle immersives sont utilisées sur 8 semaines à raison de 6 minutes en moyenne par jour. Chaque séance s'appuie sur la neuroplasticité précédente, la capacité du cerveau à modifier, changer et s'adapter en réponse à l'expérience.

Dans la lombalgie

Plus de 2 000 études et 30 ans de recherche ont montré que la réalité virtuelle (RV) immersive peut réduire considérablement l'activité cérébrale liée à la douleur en modulant simultanément les zones clés du cerveau liées à la douleur (émotionnelle, cognitive, expérientielle, comportementale et sensorielle).

Résultats

Près de 2 patients sur 3 (65 %) du groupe de traitement ont présenté une réduction cliniquement significative* de l'intensité de la douleur.

Près de la moitié des patients (46 %) du groupe de traitement ont connu une réduction de 71 % de l'intensité de la douleur en moyenne.

La technologie existe déjà, il pourrait être avantageux de créer un partenariat avec une de ces applications de rééducation. Cela serait un gain de temps pour le développement mais limiterait notre évolution.

VI. Intégration de la Réalité Virtuelle/Assistée

1. Partenariat avec Brainlab et le casque "Mixed Reality Viewer"

La « Mixed Reality Viewer » Permet d'extraire des images d'un écran plat pour les intégrer au monde réel. En un clin d'œil, la pièce est numérisée à des fins d'informatique spatiale et les images sont transférées du logiciel « Elements Viewer » à l'écran.

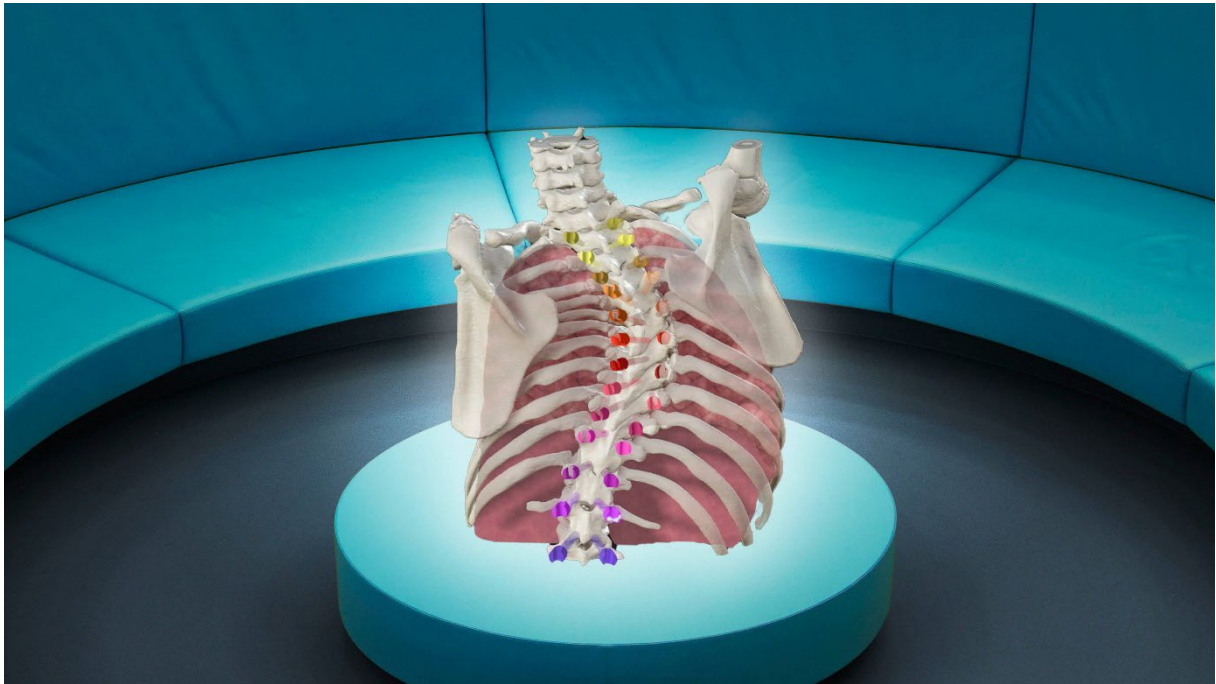


2. Accompagnement du chirurgien

L'utilisation de la réalité virtuelle permet une modélisation tridimensionnelle du rachis du patient et peut permettre une simulation chirurgicale. Ainsi le chirurgien pourra anticiper ses différents actes chirurgicaux et modéliser le résultat ; mais aussi former d'autres professionnels. En effet, la simulation est aujourd'hui un enjeu majeur de la formation chirurgicale.

3. Explications au patient et amélioration de la compréhension

Pour permettre aux patients de mieux comprendre leur diagnostic et leur intervention, cela permet de leur montrer leur anatomie propre ainsi que le plan de procédure en 3D. La réalité mixte facilite la prise de décision concertée avec les patients et leurs proches



4. Création d'un jumeau numérique¹⁶

1.)Définition

Un **jumeau numérique**, est un modèle numérique qui reconstitue fidèlement un objet, une opération ou un système (rachis). Ces clones numériques peuvent servir de multiples usages.

Notre jumeau numérique n'est pas seulement une réplique parfaite d'un rachis à un moment précis, mais il comprend également le suivi médical de l'état initial jusqu'au postopératoire en passant par la chirurgie. Ainsi, notre jumeau numérique reflète non seulement l'objet lui-même, mais aussi son histoire de développement et de fabrication.

C'est pourquoi de plus en plus d'applications sont développées pour aider à suivre les paramètres de santé d'une personne en temps réel.

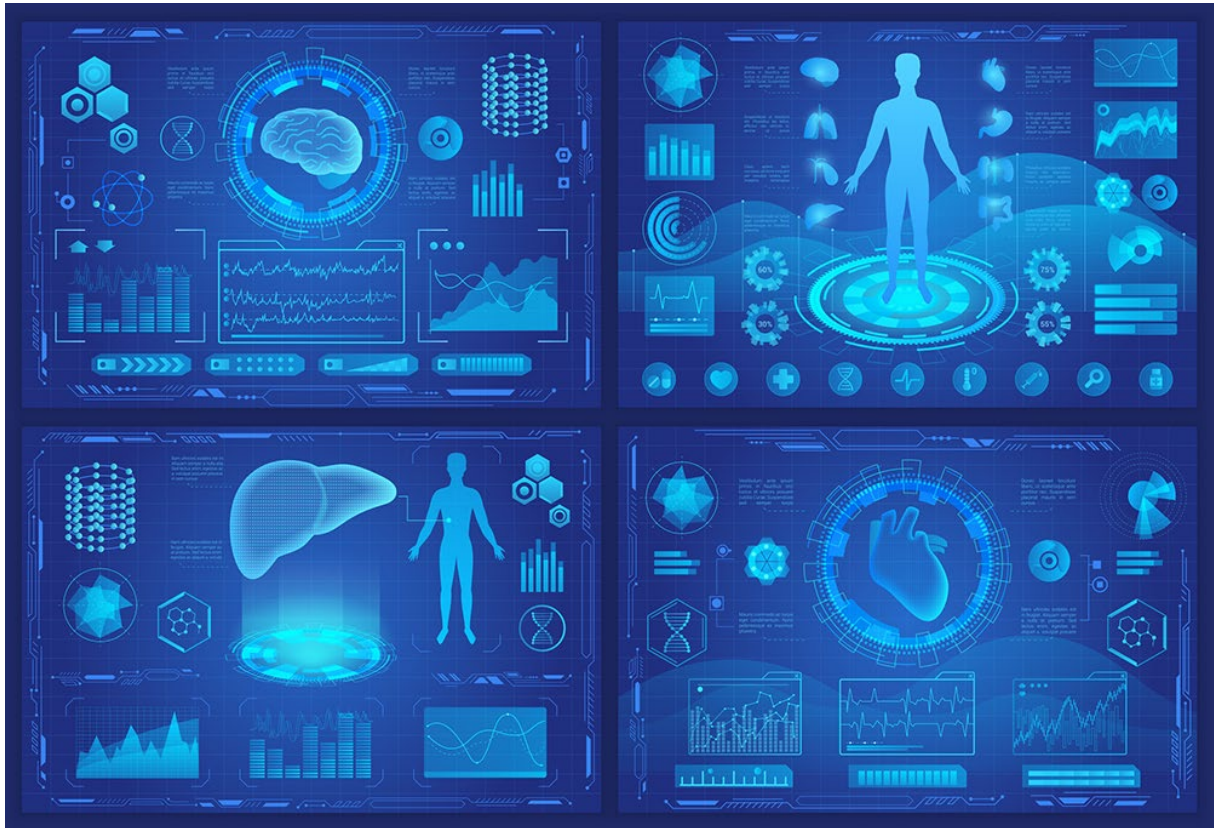
2)Jumeau numérique et internet des objets

Le jumeau numérique utilise des technologies telles que l'Internet des objets (IoT), l'intelligence artificielle (IA), la réalité virtuelle (VR), les capteurs, l'impression 3D et le métavers¹⁷. Cette technologie permet de créer un modèle virtuel du patient, même au niveau moléculaire, facilite la sélection des procédures chirurgicales appropriées et permet de prédire la réponse du patient aux thérapies extrêmes.

Les informations sur la santé des patients, y compris les dossiers médicaux, les résultats des tests et examens de diagnostic, l'historique des médicaments prescrits et les données provenant des dispositifs portables et d'autres sources, peuvent être collectées et stockées pour construire le jumeau numérique d'un patient.

¹⁶ Wikipédia [Jumeau numérique — Wikipédia \(wikipedia.org\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Jumeau_numérique)

¹⁷ Knowhow. [Le jumeau numérique dans le secteur de la santé - KnowHow \(distrelec.com\)](https://www.knowhow.com/fr/le-jumeau-numerique-dans-le-secteur-de-la-sante/)



Les simulations peuvent être exécutées en temps réel sur le jumeau numérique, fournissant les données nécessaires à la recherche. Cela permet au personnel médical de mieux évaluer les chances de réussite d'un traitement ou d'une thérapie. En effectuant la procédure sur un jumeau numérique, il est possible de voir quelle solution fonctionnera le mieux pour le patient.

3) Jumeau numérique et chirurgie

Le jumeau numérique permet de planifier l'opération lors d'une réunion de l'équipe multidisciplinaire, de la pratiquer dans le simulateur et de rappeler la simulation pendant l'opération pour vérifier l'anatomie du patient et minimiser les dommages structurels accidentels. Ces méthodes visent à prévenir les erreurs susceptibles de se produire lors d'une opération et permettent aux médecins de mieux se préparer à ce qui va se passer.

Ainsi, il existe des plateformes « 3-en-1 » pour la planification et la génération d'implants et d'instruments sur-mesure appliqué à la chirurgie orthopédique. C'est un métavers qui permet au chirurgien de manipuler des examens d'imagerie natifs, spatialement et donc naturellement. Les interfaces peuvent être de différentes natures : lunettes de réalité augmentée, PC, tablettes... Il suffit de disposer d'un simple navigateur internet pour accéder aux scènes d'opérations simulées. Le jumeau numérique du patient est traité avec des outils 3D temps réel, totalement virtuels. Le chirurgien peut lui appliquer des transformations chirurgicales telles que des coupes, l'ancrage de vis ou encore de plaques osseuses¹⁸.

Le jumeau permettra de modéliser l'acte opératoire avant, pendant et après sa réalisation.

¹⁸ Académie de médecine. [Metaverse pour les jumeaux numériques des patients. Les possibilités offertes en chirurgie par la puissance de la 3D en temps réel | Académie Nationale de Chirurgie \(academie-chirurgie.fr\)](https://www.academie-chirurgie.fr/)

VIII. Finalité du Projet

Cette analyse a permis de déterminer des fonctionnalités pouvant être utiles pour nos 3 cibles (chirurgiens, kinésithérapeutes, patients). Ces fonctionnalités sont existantes individuellement, elles ne sont pas associées :

- En préopératoire :
 - Visualisation pédagogique 3D du rachis, de l'opération et du résultat attendu
 - Entraînement chirurgical
 - Exercices de kinésithérapie préopératoires
- Une coordination entre les professionnels de santé
- En postopératoire
 - Visualisation du résultat de l'opération
 - Suivi des exercices de kinésithérapie et suivi de la récupération

C'est l'association de ces fonctionnalités qui font l'intérêt d'« Avenir Rachis » pour des investisseurs et les utilisateurs.

1. Fonctionnalités clés

Réalisation des interventions chirurgicales dans les établissements de santé partenaires

La prise en charge d'un patient « rachis » donne lieu à la création d'un jumeau numérique à partir de ses données physiques et radiologiques. Cette modélisation doit permettre utilisation à la fois pédagogique (expliquer au patient) et pratique (entraînement chirurgical). Pour cela la prise en charge doit être réalisée dans des établissements partenaires équipés.

Suivi postopératoire intégré

La plateforme propose un suivi postopératoire chirurgical et fonctionnel via notamment le suivi du programme de kinésithérapie. Ce suivi est réalisé via les différentes données physiologiques et physiques du patient qui vont alimenter son jumeau numérique.

Coordination entre les professionnels de santé

La coordination entre les différents professionnels de santé prenant en charge le patient « rachis » est clé pour optimiser son rétablissement. L'utilisation d'un jumeau numérique permet à chaque professionnel de santé d'implémenter de nouvelles données et de consulter l'évolution de l'état du patient et de sa récupération.

2. Le choix du métavers

La solution métavers s'impose car ils associent la combinaison de progrès récents en microélectronique à une puissance de calcul permettant une immersion en haute résolution vidéo comme audio, ainsi qu'un rendu de plus en plus réaliste des environnements immersifs permis par la puissance de traitement des processeurs graphiques embarqués¹⁹.

Un métavers est un service en ligne donnant accès à des simulations d'espaces 3D temps réel, partagées et persistantes, dans lesquelles on peut vivre ensemble des expériences immersives

¹⁹ Mission exploratoire sur les métavers- rapport complet 2022

Avenir Rachis

En pratique la plateforme « Avenir Rachis » proposera 3 entrées différentes que l'on soit chirurgie, kinésithérapeute ou patient avec des fonctionnalités propres associées.

- Chirurgien : modélisation, simulation, suivi et coordination
- Kinésithérapeute : exercices, suivi, coordination
- Patients : modélisation, exercices et suivi

IX. Conclusion

Dans ce mémoire il s'est agi de faire le point sur les différentes pathologies du rachis, des évolutions dans la prise en charge et l'identification d'un besoin. Nos trois cibles d'utilisation retenues sont les chirurgiens (orthopédiques et neurologiques), les kinésithérapeutes et les patients. Il est clairement apparu un besoin d'accompagnement pré et postopératoire. En préopératoire, une modélisation de la technique chirurgicale ainsi que des exercices de kinésithérapie sont attendus par nos cibles pour une bonne préhabilitation ainsi qu'une proposition pédagogique à destination des patients. En postopératoire un accompagnement kinésithérapeutique s'avère utile pour une meilleure réhabilitation. L'ensemble des cibles doivent aussi pouvoir se coordonner pour une prise en charge complète. Il a été fait un état des lieux sur l'existant afin d'identifier les technologies utilisées et la proposition d'un métavers s'est imposée de par les fonctionnalités qu'il propose (coordination en temps réel de plusieurs cibles, modélisation 3D, sécurisation des données...). Toutefois, de nombreuses étapes, notamment financières, restent à mener pour finaliser ce projet.

La mise en place de « Avenir Rachis » doit permettre l'amélioration des techniques opératoires ainsi que la prise en charge globale d'un patient « rachis » au service d'une meilleure réhabilitation

Ce projet avait été proposé par un leader médical, qui l'a vendu et qui de ce fait n'a pas souhaité le finaliser. En l'absence de leadership nous avons principalement avancé sur une étude de marché mais le business plan reste à étudier. Cela nous permettra alors un premier tour de table avec nos différentes cibles « payeurs » retenues ainsi que les prises de contact avec les développeurs techniques (modélisation, simulation...)