RÉPUBLIQUE DU BÉNIN
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ D'ABOMEY-CALAVI

INSTITUT DE FORMATION ET DE RECHERCHE EN INFORMATIQUE

BP 526 Cotonou Tel : +229 21 14 19 88
http://www.ifri-uac.net Courriel : contact@ifri.uac.bj

MÉMOIRE

pour l'obtention du

Diplôme de Licence en Informatique

Option : Séurité Informatique

Présenté par :
Vincent **HOUSSOU**

Conception d'une application décentralisée pour un Registre Médical Partagé et Sécurisé

Sous la supervision :
Professeur C. Eugène **EZIN**
Enseignant chercheur à l'Université D'Abomey Calavi

Membres du jury :

Sylvain KPENAVOUN CHOGOU	Professeur	FSA	Président
Erick ADJE	Ingénieur	IFRI	Examinateur
EZIN C. Eugène	Professeur	IFRI	Rapporteur

Année Académique : **2023-2024**

Sommaire

Dédicace ii

Remerciements iii

Résumé iv

Abstract iv

Liste des figures v

Liste des sigles vii

Introduction 1

1 Revue de littérature 4

2 Conception de l'Application 15

3 Présentation de la solution 30

Table des matières 40

Dédicace

Je dédie ce mémoire à :

- mon père M. Honoré **HOUSSOU**,
- ma mère Mme Edith **ZOUNGBENOU**,
- mon frère et ma soeur,
- Mes proches et amis.

Remerciements

Tout d'abord, je remercie Dieu Tout Puissant de m'avoir donné la force et la patience nécessaire pour achever ce travail de mémoire.

Mes sincères remerciements à mon honorable encadreur, le **Professeur Eugène C. EZIN**, Directeur de l'Institut de Formation et de Recherche en Informatique (IFRI), de sa disponibilité, son soutient continu, ces précieux conseils et la confiance qu'il m'a accordée qui ont fortement contribué à mener à bien ce travail.

Je remercie également les membres du jury, qui vont accepter de lire et d'évaluer ce travail.

Enfin, je tiens à remercier, Charlot DEDJINOU qui m'a aidé tout au long de ce travail et tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin pour l'accomplissement de ce mémoire.

Résumé

Le monde change continuellement, entrainé par les innovations technologiques sucitées dans plusieurs domaines et qui imposent des défis de taille parmi lesquels se distingue l'interopérabilité des systèmes. Le secteur sanitaire de notre pays est particulièrement affecté par ce défi. En effet, l'un des principaux obstacles auxquels est confronté le secteur sanitaire béninois est la difficulté d'accéder aux informations médicales des patients, notamment en raison de la dispersion de ces données dans différents cabinets médicaux et hôpitaux. Il n'est pas rare que les patients eux-mêmes oublient les traitements qu'ils ont reçus ou les établissements qu'ils ont fréquentés, ce qui rend la compilation de leur historique médical difficile, voire impossible. Dans ce contexte, l'objectif de ce mémoire consiste à proposer une application décentralisée visant à gérer les données de santé des patients en utilisant la blockchain. Cette solution permet d'améliorer l'interopérabilité entre les cliniques, les hôpitaux et les autres prestataires de services de santé. Donc, les fournisseurs de services pourront travailler ensemble sur un seul système.

Mots clés : Blockchain, Confiance, Santé, Dossier Médical Partagé, DWT

Abstract

The world is continually changing, driven by technological innovations in several areas and which impose significant challenges, among which the interoperability of systems stands out. The health sector of our country is particularly affected by this challenge. Indeed, one of the main obstacles facing the Beninese health sector is the difficulty of accessing patient's medical information, particularly due to the dispersion of this data in different medical practices and hospitals. It is not uncommon for patients themselves to forget the treatments they received or the facilities they attended, making compiling their medical history difficult or impossible. In this context, the objective of this dissertation is to propose a decentralized application aimed at managing patient health data using blockchain. This solution helps improve interoperability between clinics, hospitals and other healthcare providers. This will allow service providers to work together on a single system.

Key words: Blockchain, Trust, Health, Shared Medical Record, DWT

Liste des figures

1.1 Les quatre grands principes de la blockchain . . . 6
1.2 Les 4 différents types de technologie blockchain . . . 7
1.3 Diffrérence entre les modèles de Blockchain . . . 8
1.4 Composant d'un Bloc . . . 9
1.5 Fonctionnement de la Blockchain (Source : . . . 10
1.6 Mécanisme d'interconnexion des blocs par empreintes cryptographiques . . . 11
1.7 Architecture de chaînage cryptographique des blocs . . . 11
1.8 Classement des pays de la CEDEAO selon leur taux d'adoption des cryptomonnaies . . . 12
1.9 Analyse Comparative . . . 14

2.1 Visual Studio Code . . . 18
2.2 REMIX IDE . . . 18
2.3 Processus de développement d'une Application Décentralisée . . . 19
2.4 Arbre décisionnel d'adoption de la Blockchain . . . 20
2.5 Diagramme de cas d'utilisation du système . . . 21
2.6 Inscription et Validation d'un Docteur . . . 22
2.7 Enregistrement des patients et documents médicaux . . . 23
2.8 Demande d'accès au dossier médical . . . 24
2.9 Test du deploiement . . . 26
2.10 Vérification admin . . . 27
2.11 Ajout d'un admin . . . 27
2.12 Revérification des admins . . . 28
2.13 Inscription d'un docteur . . . 29
2.14 Vérification Docteur . . . 29

3.1 Page d'accueil DWT . . . 30
3.2 Inscription . . . 31
3.3 Connexion . . . 31
3.4 Connexion . . . 32
3.5 Tableau de bord de l'administrateur . . . 32
3.6 La liste des admins . . . 33
3.7 La liste des agents médicaux . . . 33
3.8 La liste des patients . . . 34
3.9 La liste des documents médicaux d'un agent médical . . . 34
3.10 La liste des patients d'un agent médical . . . 35
3.11 La liste des documents médicaux d'un patient . . . 35
3.12 La liste des documents médicaux d'un patient . . . 36

3.13 Page d'aide pour le patient 36

Liste des sigles

DApp :

Application Décentralisée vii, 2, 16

DOM :

Document Object Model vii, 17

DWT :

DoTo Wèmá Tce v, vii, 1, 15, 16, 20, 30

UML :

Unified Modeling Language vii, 20

Introduction Générale

1. Contexte et Justification

Au Bénin, comme dans de nombreux pays africains, le système de santé fait face à des défis majeurs en matière de gestion des dossiers médicaux [**?**]. L'absence d'un système unifié de dossiers médicaux crée des obstacles significatifs dans la continuité et la qualité des soins. Selon un rapport de l'Organisation Ouest Africaine de la Santé (OOAS), plus de 60% des établissements de santé au Bénin utilisent encore des systèmes de documentation papier, rendant le partage et la conservation des informations médicales particulièrement complexes. Le mémoire de KPOSSOU Ahouéfa Pascale Ninon [**?**] souligne également les difficultés majeures rencontrées par les établissements de santé dans la gestion et le partage des informations médicales. Les principaux enjeux identifiés sont :
La fragmentation des données médicales entre différents prestataires de santé
Les risques de perte ou d'altération des informations médicales
L'inexistence d'un mécanisme centralisé et sécurisé de partage des données

C'est dans cette optique que DWT, basée sur la technologie blockchain, apporte une solution innovante : un registre distribué et sécurisé permettant au patient d'avoir une visibilité complète sur ses données et aux professionnels de santé d'accéder à une vue globale du dossier médical.

Problématique

Aujourd'hui, dans le secteur sanitaire béninois, une grande quantité de données médicales sont véhiculées et stockées. Le système médical actuel se compose de nombreux départements centralisés tels que les prestataires de soins de santé, les hôpitaux publics et privés, les cliniques, les compagnies d'assurance, les pharmacies, les familles des patients et d'autres entités qui fonctionnent séparément. Les données privées hautement sensibles des patients doivent être fréquemment partagées entre les parties prenantes. Les dossiers médicaux sont stockés sur papier ou, dans certains cas, électroniquement.Les données stockées sont principalement confinées aux centres médicaux que le patient visite, et l'accès à ces données peut être difficile, voire impossible dans certains cas. Par exemple, en cas de perte du système de stockage du dossier médical interne, les données médicales peuvent être perdues et devenir irrécupérables. De plus, l'accès aux dossiers médicaux pourrait être compromis si un centre de santé est fermé ou n'est pas fonctionnel.

Par conséquent, il existe un besoin urgent d'un système de stockage décentralisé pour la gestion des documents médicaux. Un tel système garantirait la confiance entre les parties prenantes et assurerait que les données puissent être récupérées même en cas de perte de l'unité de stockage principale.

3. Statistiques

- En analysant les incidents majeurs de ces dernières années, on constate que le secteur médical est devenu une cible privilégiée des cybercriminels. Par exemple, en 2017, le système de santé britannique (NHS) a subi une attaque d'envergure compromettant les données confidentielles de plusieurs millions de patients.
- Plus récemment, une base de données contenant les informations médicales de près de 500 000 patients a été repérée en circulation sur des forums du dark web, illustrant la valeur marchande considérable de ce type d'informations pour les cybercriminels.
- Un autre cas d'étude frappant est celui de Singapour, où une intrusion dans le système SingHealth a abouti au vol des données personnelles et médicales d'environ 1,5 million de patients - soit près de 25% de la population du pays. Cet incident souligne la vulnérabilité des systèmes centralisés traditionnels.

Plusieurs situations similaires voient le jour chaque année. Il en va alors de notre intérêt de mettre en place un système pour limiter au maximum ces actions.

4. Objectifs

L'objectif principal de ce projet est de mettre en place une DApp de gestion des dossiers médicaux. De manière spécifique, cette solution vise à :

- fournir une plateforme décentralisée et conviviale permettant de garantir l'intégrité des données et leur traçabilité,
- instaurer la confiance entre les prestataires de services de santé et les patients,
- permettre aux professionnels de santé d'accéder aux données des patients et aux patients d'avoir un meilleur contrôle sur leurs données.

5. Organisation du document

Le mémoire sera organisé en trois chapitres.
Le premier chapitre est intitulé **Revue de littérature**
Dans ce chapitre on fera une revue de littérature sur la Blockchain en présentant son historique, son fonctionnement ainsi que quelques de ces applications.
Le deuxième chapitre est intitulé **Conception de l'Application**

Ce chapitre sera consacré aux explications relatives à toutes les étapes de développement de notre solution.
Le troisième chapitre est intitulé **Présentation de la solution**
A ce niveau on présentera la réalisation et l'implémentation de notre système.

Chapitre 1

Revue de littérature

Introduction

L'émergence des cybermenaces et la nécessité croissante de sécuriser les échanges numériques ont conduit au développement de nouvelles architectures de sécurité. Parmi celles-ci, la **Blockchain** se distingue par son approche novatrice de la confiance numérique. Si cette technologie a d'abord été conçue pour les transactions financières décentralisées, ses mécanismes de sécurité intrinsèques ont rapidement suscité l'intérêt des experts en cybersécurité. À l'instar des mutations technologiques majeures qui ont transformé notre rapport au numérique, la Blockchain propose un nouveau paradigme de sécurité. En distribuant la confiance à travers un réseau de nœuds plutôt que de la centraliser, elle offre une réponse technique aux problématiques modernes de sécurité des données. Dans ce chapitre, nous analyserons les mécanismes cryptographiques et les protocoles de sécurité qui sous-tendent la technologie Blockchain, avant d'explorer ses implémentations pratiques dans différents contextes sécuritaires.

1.1 Présentation de la technologie Blockchain

1.1.1 Définition

1. **La Blockchain :** Technologie décentralisée et transparente pour le stockage et la transmission d'informations, qui garantit la validité et la sécurité de toute transaction de données. [**?**].

2. Il s'agit d'une base de données transactionnelle distribuée, similaire à un grand livre comptable décentralisé et partagé. Elle conserve et transfère de la valeur ou des informations par le biais d'Internet de manière fluide, sûre et indépendamment du contrôle central. [**?**].

3. La Blockchain est une technologie de base de données sophistiquée qui facilite une transmission transparente des informations dans un réseau d'entreprises. Une blockchain conserve les informations dans des blocs connectés entre eux dans une chaîne. Les informations sont cohérentes sur le plan temporel, car il est impératif d'obtenir le consentement du réseau pour éliminer ou modifier la chaîne. Ainsi, l'utilisation de la technologie Blockchain permet d'établir un grand registre inaltérable ou inchangable pour le suivi des commandes, des paiements, des comptes

et d'autres opérations. Les mécanismes intégrés du système empêchent les transactions non autorisées et assurent une cohérence dans la vision commune de ces transactions. [**?**].

Comme proposition de résumé pour toutes les définitions qui précèdent on peut définir la **blockchain** comme étant une base de données partagée permettant de créer la confiance entre des individus sans faire appel à des intermédiaires. L'architecture ici est décentralisée, autrement dit les données sont distribuées entre les utilisateurs, il n'existe pas une entité centrale qui s'occupe des données.

1.1.2 Historique de la Blockchain

Le développement de la Blockchain s'inscrit dans une longue tradition de recherche en cryptographie et en sécurité des systèmes distribués. Les travaux précurseurs de Ralph Merkle sur les arbres de hachage à la fin des années 1970 ont posé les bases cryptographiques essentielles de cette technologie [**?**].
Une première application concrète émerge en 1992 avec l'intégration des arbres de Merkle dans les systèmes d'horodatage sécurisé. Le NY Times franchit une étape décisive en 1995 en implémentant cette technologie dans son système d'archivage numérique, créant ainsi le plus ancien registre distribué encore opérationnel [**?**].
L'innovation majeure de Hal Finney en 2004 avec le système RPoW (Reusable Proof Of Work) marque un tournant décisif. Ce système pionnier intègre des mécanismes de validation cryptographique basés sur RSA et résout le défi technique de la double dépense via un registre distribué vérifié en temps réel [**?**].
L'évolution technologique de la blockchain se structure en trois phases majeures :

- **Phase expérimentale (Blockchain 1.0)** Lancée avec Bitcoin en 2008, cette période établit les fondements de la sécurité distribuée avec des protocoles de consensus robustes et une architecture de blocs sécurisée.
- **Phase d'expansion (Blockchain 2.0)** L'avènement d'Ethereum révolutionne le concept avec l'introduction de contrats intelligents auto-exécutables et cryptographiquement sécurisés.
- **Phase d'industrialisation (Blockchain 3.0)** Les développements actuels se concentrent sur l'optimisation des protocoles de sécurité, la scalabilité des réseaux et l'interopérabilité des systèmes.

1.1.3 Caractéristiques principales de la technologie Blockchain

L'architecture de sécurité de la blockchain repose sur quatre piliers fondamentaux :

- **La décentralisation** : Distribution des mécanismes de sécurité à travers le réseau, éliminant les vulnérabilités liées à la centralisation et renforçant la résilience globale du système.
- **L'immuabilité** : Mise en œuvre de mécanismes cryptographiques garantissant l'intégrité des données et leur traçabilité complète, rendant toute altération détectable par le réseau.
- **Le consensus** : Implémentation de protocoles de validation distribuée assurant la cohérence et l'authenticité des transactions à travers le réseau.
- **La sécurité** : Combinaison de redondance distribuée et de cryptographie asymétrique protégeant contre les attaques et assurant la disponibilité des données.



FIGURE 1.1 : Les quatre grands principes de la blockchain

Source Figure 1.1 : [1]

1.1.4 Les modèles de la Blockchain

L'architecture des réseaux Blockchain se décline en quatre catégories principales, chacune présentant des caractéristiques distinctes en termes de gouvernance et d'accessibilité.

- **Réseaux Blockchain publics**
  Ces réseaux se caractérisent par leur nature ouverte et égalitaire. Accessibles à tous sans restriction, ils accordent à chaque participant des droits identiques en matière de consultation, de modification et de validation des données. Ce modèle est particulièrement répandu dans l'univers des cryptomonnaies, comme en témoignent le Bitcoin et l'Ethereum.

- **Réseaux Blockchain privés**
  À l'inverse des réseaux publics, ces systèmes fonctionnent sous l'égide d'une organisation unique qui régit l'ensemble des accès et des privilèges. Cette centralisation du contrôle en fait des réseaux partiellement décentralisés. Un exemple significatif est le réseau Ripple, qui facilite les échanges de devises numériques entre institutions.

[1] https://www.cahiers-espi2r.fr/1039

- **Réseaux Blockchain hybrides**
  Cette architecture conjugue les avantages des modèles public et privé. Elle permet aux organisations d'établir une distinction entre les données accessibles publiquement et celles nécessitant un accès restreint. L'utilisation de contrats intelligents garantit la transparence des transactions privées tout en préservant leur confidentialité. Cette approche trouve notamment son application dans le secteur bancaire, où la gestion des actifs numériques requiert différents niveaux d'accès.

- **Réseaux Blockchain de consortium**
  Cette configuration repose sur une gouvernance partagée entre plusieurs organisations. Les membres du consortium, sélectionnés au préalable, collaborent pour maintenir le réseau et définir les politiques d'accès. Cette structure convient particulièrement aux secteurs nécessitant une coopération inter-organisationnelle étroite. Le Global Shipping Business Network Consortium illustre ce modèle, visant à moderniser le transport maritime par la technologie Blockchain.

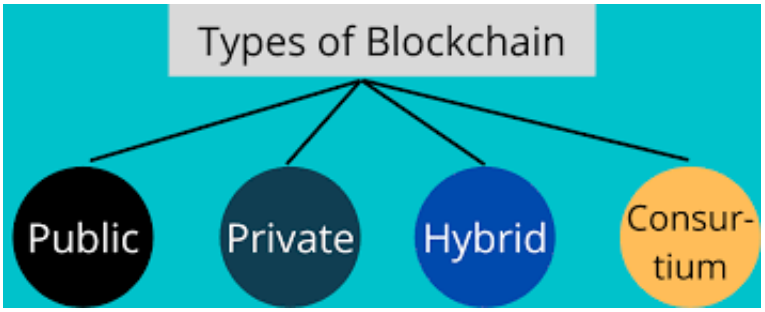


FIGURE 1.2 : Les 4 différents types de technologie blockchain

Source Figure 1.2 : [2]

1.1.4.1 Comparaison entre les modèles de la Blockchain

La diversité des modèles Blockchain - publics, privés, hybrides et consortiums - reflète la variabilité des besoins organisationnels en matière de décentralisation et de gouvernance. Chaque architecture présente un ensemble unique de caractéristiques qui influence son adoption dans différents contextes d'utilisation.
Le tableau comparatif ci-dessous met en lumière les spécificités distinctives de ces quatre architectures, permettant d'éclairer le choix d'un modèle adapté aux objectifs spécifiques d'une organisation ou d'un projet.

[2] https://devcommunity.io/articles/quels-sont-les-4-differents-types-de-technologie-blockchain

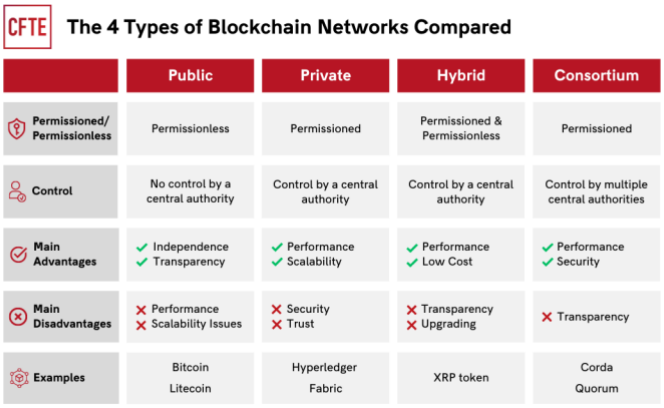


FIGURE 1.3 : Diffrérence entre les modèles de Blockchain

Source Figure 1.3 : [3]

1.1.5 Fonctionnement de la blockchain

La blockchain s'articule autour d'une structure de données évolutive constituée d'unités élémentaires appelées blocs. L'intégrité et la sécurité de cette chaîne sont garanties par des mécanismes cryptographiques qui assurent l'interconnexion des blocs. Comme l'illustre la figure 1.4, l'architecture de chaque bloc repose sur trois composantes fondamentales [**?**] :

- **L'empreinte cryptographique (hachage)** : Constituant l'identifiant unique du bloc, cette empreinte peut être assimilée à une signature numérique distinctive, comparable à une empreinte digitale dans le monde physique.
- **La référence au bloc antérieur** : Cette composante intègre l'empreinte cryptographique du bloc précédent, établissant ainsi la continuité de la chaîne et garantissant son immuabilité.
- **Les métadonnées structurelles** : Ces éléments contextuels enrichissent le bloc d'informations essentielles, notamment l'horodatage et l'identifiant séquentiel du bloc, permettant sa traçabilité temporelle et positionnelle dans la chaîne.

[3] https://blog.cfte.education/types-of-blockchain-networks/

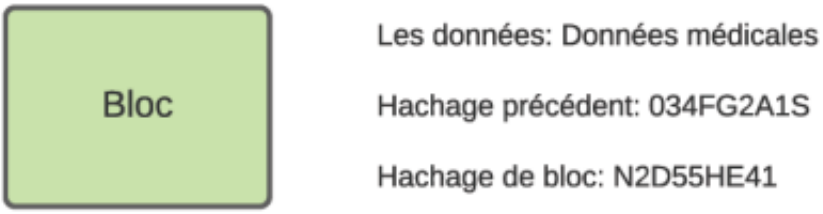


FIGURE 1.4 : Composant d'un Bloc

Source Figure 1.4 : [4]

Bien que la blockchain repose sur des mécanismes techniques sophistiqués, son fonctionnement peut être synthétisé en quatre phases essentielles. Ces processus, largement automatisés par les protocoles blockchain, s'articulent comme suit :

- **Phase 1 : Enregistrement transactionnel** La genèse du processus débute par la création d'une transaction, matérialisée sous forme d'un bloc de données. Cette transaction, qu'elle concerne des actifs numériques ou physiques, intègre un ensemble d'attributs caractéristiques :

  1. L'identification des parties prenantes
  2. La nature de l'opération effectuée
  3. La temporalité de la transaction
  4. La localisation de l'événement
  5. La finalité de l'échange
  6. Le quantum d'actifs transférés
  7. Les prérequis transactionnels satisfaits

- **Phase 2 : Validation consensuelle**
  La légitimité de la transaction est établie par un mécanisme de consensus distribué. Les modalités de validation, définies lors de l'initialisation du réseau, varient selon la typologie de la blockchain mais requièrent l'approbation d'une majorité qualifiée des participants.

- **Phase 3 : Construction de la chaîne**
  Suite à l'obtention du consensus, les transactions sont agrégées en blocs, analogues aux pages d'un registre numérique. Chaque bloc est doté d'une empreinte cryptographique unique qui établit un lien indissoluble avec le bloc précédent. Cette architecture cryptographique garantit l'inaltérabilité des données : toute modification, délibérée ou accidentelle, altère l'empreinte cryptographique, révélant ainsi toute tentative de falsification. La robustesse de cette structure s'accroît avec chaque nouveau bloc, suivant un principe de renforcement cumulatif comparable à une structure architecturale : l'ajout de blocs n'est possible qu'au sommet de la chaîne, et toute altération d'un bloc intermédiaire compromettrait l'intégrité de l'ensemble de la structure.

[4] LEMAGIT-https://www.lemagit.fr/conseil/Blockchain-bien-comprendre-le-fonctionnement-de-la-Preuve-de-Travail

- **Phase 4 : Distribution du registre**
  L'ultime étape consiste en la dissémination synchronisée du registre actualisé à l'ensemble des nœuds participants, assurant ainsi la cohérence globale du système.

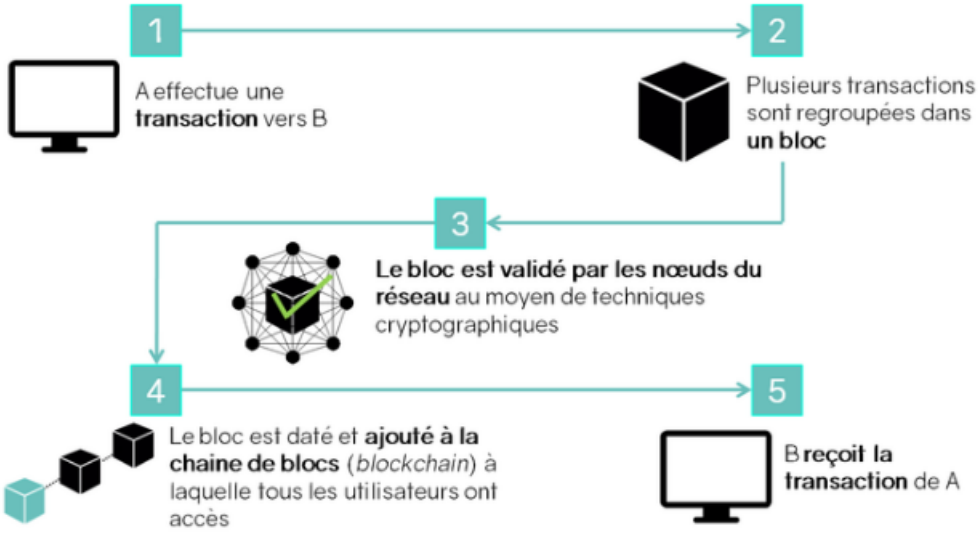


FIGURE 1.5 : Fonctionnement de la Blockchain (Source :

.

Source Figure 1.5 : [5]

1.1.5.1 Hachage

L'empreinte cryptographique, communément appelée hachage, constitue un élément fondamental de la sécurité blockchain. Selon [**?**], elle se définit comme un procédé cryptographique permettant la transformation d'données de longueur variable en une séquence alphanumérique fixe et condensée. Cette technique se distingue des méthodes de chiffrement classiques par son caractère unidirectionnel, garantissant l'impossibilité de reconstituer les données originelles à partir de leur empreinte sans disposer de la clé cryptographique appropriée. Cette propriété en fait un outil particulièrement adapté à la sécurisation des bases de données, à la protection des informations utilisateurs et à l'authentification sécurisée. La génération de l'empreinte cryptographique s'effectue via une fonction mathématique complexe dont l'irréversibilité constitue une caractéristique essentielle. Dans le contexte blockchain, cette fonction intègre trois paramètres principaux : **Empreinte** = f(données, empreinte antérieure, métadonnées)

Cette fonction présente deux propriétés fondamentales :

- L'unicité : chaque combinaison d'entrées produit une empreinte unique
- La sensibilité : une modification minime des données d'entrée entraîne une transformation radicale de l'empreinte résultante

Comme l'illustrent les figures 1.6 et 1.7, l'interconnexion des blocs repose sur un mécanisme d'empreintes cryptographiques chaînées : l'empreinte d'un bloc N constitue une donnée d'entrée pour le

[5] Cedig-https://www.cegid.com/fr/blog/blockchain-metiers-chiffre-doivent-sy-interesser/

calcul de l'empreinte du bloc N+1. Cette architecture débute par un bloc initial, désigné comme "Genesis Block", caractérisé par une empreinte antérieure nulle. L'intégrité de la chaîne est garantie par la correspondance systématique entre l'empreinte d'un bloc et l'empreinte antérieure du bloc suivant.

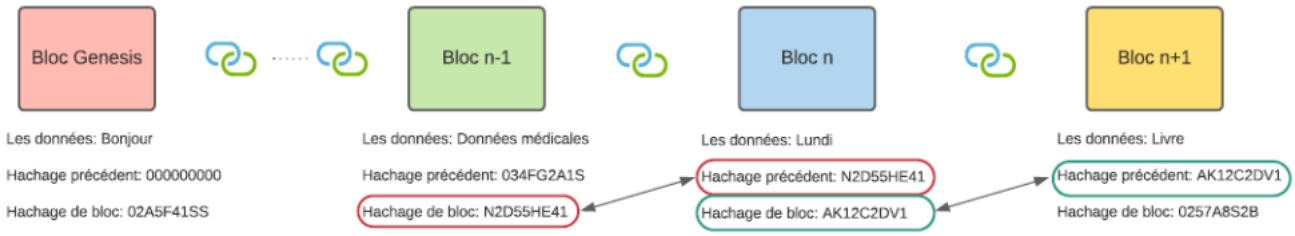


FIGURE 1.6 : Mécanisme d'interconnexion des blocs par empreintes cryptographiques

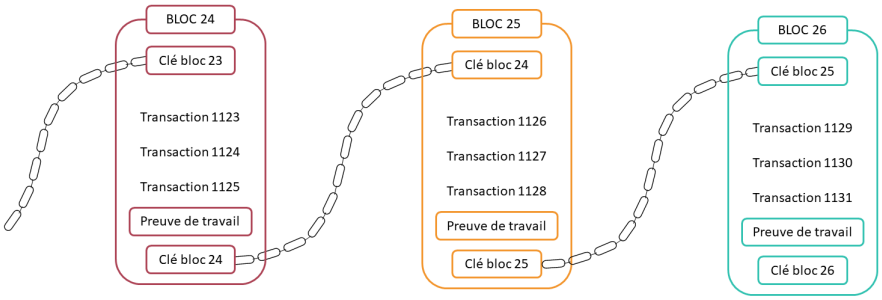


FIGURE 1.7 : Architecture de chaînage cryptographique des blocs

1.2 Émergence et adoption de la Blockchain au Bénin

L'intégration de la technologie blockchain au Bénin connaît une progression significative, marquée par l'émergence d'initiatives innovantes dans différents secteurs d'activité. Cette adoption progressive témoigne de la maturité croissante de l'écosystème technologique béninois.

1.2.1 Écosystème des cryptomonnaies et solutions blockchain

Le paysage blockchain béninois se caractérise par la présence de plusieurs acteurs majeurs développant des solutions innovantes :

- izichange
  Cette plateforme se positionne comme une interface d'interconnexion entre les cryptomonnaies et les services de paiement mobile, facilitant l'intégration des actifs numériques dans l'écosystème financier africain.

- hrefhttps ://www.f6s.com/company/ubuntuenergyledger Ubuntu Energy Ledger
  Fondée en 2018, cette entreprise innove dans le secteur énergétique en développant une application décentralisée sur la blockchain EOS. Le système permet l'optimisation de la distribution

énergétique en facilitant la revente d'excédents d'énergie solaire aux compagnies nationales d'électricité. Cette initiative, portée par Vital Sounouvou, répond notamment aux problématiques de pics de consommation et de stabilité du réseau électrique.

- Yellow Card
  Cette plateforme d'échange se distingue comme un acteur majeur dans l'écosystème crypto-monétaire béninois, offrant une infrastructure sécurisée pour les transactions en Bitcoin. L'intégration de fonctionnalités de portefeuille numérique renforce son positionnement dans l'écosystème local.

- Barka Change
  Cette solution propose une approche multimodale (web et mobile) pour les échanges de cryptomonnaies, facilitant ainsi l'accès aux actifs numériques pour les utilisateurs béninois.

L'analyse du cabinet Chainalysis [**?**] souligne la position stratégique du Bénin dans l'adoption des cryptomonnaies au sein de la CEDEAO, le classant parmi les dix pays les plus avancés de la région en matière d'intégration des actifs numériques dans leur système financier.

Tableau 3 : Indice d'adoption des crypto-monnaies au sein de la CEDEAO en 2021

N°	Pays (*)	Indice (sur 1)	Rang au niveau mondial (sur 157)
1	Nigeria	0.26	6
2	Togo	0.19	9
3	Ghana	0.14	17
4	Bénin	0.07	36
5	Côte d'Ivoire	0.05	54
6	Sénégal	0.03	93
7	Mali	0.02	115
8	Burkina Faso	0.01	131
9	Cap-Vert	0,00.	149

Source : Chainalysis (Rapport 2021 sur l'adoption de la crypto-monnaie dans le monde)
(*) La Gambie, la Guinée, la Guinée-Bissau, le Liberia, le Niger et la Sierra Leone ne sont pas classés.

FIGURE 1.8 : Classement des pays de la CEDEAO selon leur taux d'adoption des cryptomonnaies

1.2.2 Applications blockchain dans le secteur sanitaire

1.2.2.1 État de l'art des solutions blockchain en santé

1. PassCare : Innovation en gestion des données médicales Cette solution, développée par InnovHealth, représente une avancée significative dans la gestion numérique des données de santé, comptabilisant environ 250 000 utilisateurs en France. Ce dispositif se matérialise sous forme d'une carte similaire à une carte bancaire, dépourvue de puce, et offre une interface complète de gestion des données médicales. Le système présente plusieurs caractéristiques innovantes :
   - Accès sécurisé via un "Cœur-code" ou une clé alphanumérique
   - Gestion des autorisations d'accès contrôlée par le patient

- Infrastructure hybride combinant cloud privé et blockchain
- Sécurisation par hachage cryptographique des données
- Déploiement international (Canada, Suisse, Liban) avec des perspectives d'expansion en Afrique (Gabon, Côte d'Ivoire) [**?**]

2. **Blockpharma** : Traçabilité pharmaceutique
   Cette startup française [**?**] développe une solution innovante de traçabilité des médicaments, intégrant :

   - Une interface avec les systèmes d'information pharmaceutiques
   - Un système de détection des contrefaçons
   - Des algorithmes de Machine Learning pour l'optimisation de la détection

3. **Nebula Genomics** : Démocratisation des données génétiques
   Cette initiative, portée par le généticien Georges Church, propose une approche novatrice du marché des données génétiques [**?**]. Le système repose sur :

   - Une blockchain pour la gestion sécurisée des données génétiques
   - Un modèle économique basé sur la rémunération en cryptomonnaie
   - Une architecture décentralisée garantissant l'anonymat des donneurs
   - Une infrastructure évolutive intégrant l'intelligence artificielle

1.2.2.2 État des lieux du secteur sanitaire béninois face à la blockchain

L'intégration de la technologie blockchain dans le système de santé béninois demeure à ce jour embryonnaire. Cette situation, bien que représentant un retard technologique apparent, constitue potentiellement un terrain fertile pour l'innovation dans plusieurs domaines :

- Sécurisation et gestion des dossiers médicaux
- Traçabilité de la chaîne d'approvisionnement pharmaceutique
- Optimisation des processus administratifs de santé
- Interopérabilité entre les différents acteurs du système de santé

1.3 Analyse comparative et justification de la nouvelle approche

Le secteur de la gestion des données médicales a vu émerger diverses solutions, chacune tentant de répondre à des enjeux spécifiques comme la sécurité, la traçabilité et l'accessibilité des informations. Afin d'identifier les limites des approches existantes et de positionner la solution proposée (DWT), une analyse comparative a été menée en prenant en compte plusieurs critères clés : la technologie utilisée, le domaine médical ciblé, le contrôle des données par le patient, la contextualisation, l'interopérabilité, et le modèle de sécurisation.

Le tableau ci-dessous synthétise cette comparaison :

🔬 Analyse Comparative des Solutions Existantes

Critère	PassCare	Blockpharma	MédICIS	Solution DWT
Technologie Blockchain	Privée	Traçabilité	Web Classique	**Décentralisée Native**
Domaine Médical	Passeport Santé	Authentification Médicaments	Gestion RDV & Dossiers	**Registre Médical Partagé**
Contrôle Patient	Partage Limité	Vérification Ponctuelle	Contrôle Basique	**Contrôle Total**
Contextualisation	Français	Global	Local (Bénin)	**Adapté au Contexte Béninois**
Interopérabilité	Faible	Restreinte	Limitée	**Large et Intégrée**
Modèle de Sécurisation	Carte + Cloud	Authentification	Système Classique	**Décentralisation Complète**
Année de Création	2016	2017	2022	2024
Modèle Économique	3M€ Levés	Startup Tech	Projet Académique	Projet Académique
Innovation Principale	Carte QR	Traçabilité	Gestion RDV	**Adaptation Contextuelle Locale**

FIGURE 1.9 : Analyse Comparative

Cette analyse met en évidence les faiblesses des solutions actuelles, telles que la faible interopérabilité ou le contrôle limité des patients sur leurs données. En revanche, la solution DWT se distingue par une approche décentralisée native, une contextualisation adaptée au Bénin, et un contrôle total offert aux patients. Ces éléments permettent à DWT de répondre de manière innovante et efficace aux besoins spécifiques du domaine médical dans un contexte local.

Conclusion

Ce chapitre initial a permis d'établir le cadre conceptuel nécessaire à l'appréhension de la technologie blockchain. L'analyse a progressé depuis les fondements historiques et théoriques jusqu'aux applications pratiques, en passant par l'examen des différents modèles architecturaux. L'étude des cas d'usage, tant au niveau international que dans le contexte spécifique du Bénin, a mis en lumière le potentiel transformatif de cette technologie, tout en soulignant les opportunités de développement qui restent à explorer.

Chapitre 2

Conception de l'Application

Introduction

L'émergence de la technologie Blockchain dans le domaine médical révolutionne la gestion et le partage des données cliniques. Cette technologie offre un double avantage : elle permet non seulement le stockage sécurisé des informations médicales, mais assure également un contrôle précis des accès à ces données. Cette innovation technologique garantit aux patients l'intégrité et l'inviolabilité de leurs dossiers médicaux, tout en préservant la confidentialité de leurs informations personnelles.

La conception de notre solution DWT nécessite une approche méthodique et structurée. Cette démarche préliminaire est essentielle pour développer un système qui répond précisément aux attentes et aux besoins des utilisateurs finaux.

Ce chapitre détaille les différentes entités constituant le système DWT, leur interaction dans le processus de contrôle et de protection des données, ainsi que leur rôle dans la sécurisation des échanges d'informations entre les différents acteurs. Nous justifierons également les choix technologiques retenus pour concrétiser ce projet.

2.1 Choix techniques

Cette section expose notre approche méthodologique de gestion de projet, présente l'écosystème technologique sélectionné et détaille les outils de développement mobilisés pour la réalisation de notre application.

2.1.1 Méthodologie de gestion du projet

Nous avons privilégié la méthodologie Scrum, une approche agile particulièrement adaptée au développement de solutions informatiques complexes.

SCRUM : Une Approche Agile Innovante La méthode Scrum [**?**] représente un cadre de travail agile particulièrement efficace pour la gestion d'équipes engagées dans des projets informatiques complexes.

Cette méthodologie s'articule autour de cycles de développement appelés "sprints", d'une durée flexible de 1 à 4 semaines. L'organisation Scrum repose sur trois piliers essentiels :

1. **Product Owner** : Figure stratégique chargée de la vision produit et de la priorisation des fonctionnalités.
2. **Scrum Master** : Garant méthodologique assurant l'application optimale des principes Scrum.
3. **Équipe de développement** : Collectif autonome responsable de la concrétisation technique du projet.

Dans le cadre du projet DWT, mon maître de mémoire cumule les responsabilités de Product Owner et de Scrum Master, tandis que j'assume le rôle de développeur.

2.1.2 Technologies utilisées

Notre solution, conçue comme une application décentralisée (DApp), s'appuie sur un écosystème technologique couvrant trois aspects fondamentaux : le développement des contrats intelligents, la gestion de l'interface utilisateur, et les interactions entre la blockchain et le frontend.

2.1.2.1 Technologie pour la rédaction des contrats intelligents

La conception de nos contrats intelligents repose sur le langage **Solidity**.

Solidity [?] représente un langage de programmation orienté objet spécifiquement conçu pour l'élaboration de contrats intelligents. Développé par une équipe d'experts incluant Christian Reitwiessner, Alex Beregszaszi et Yoichi Hirai, ce langage s'est imposé comme la référence pour le déploiement de contrats intelligents sur diverses plateformes blockchain, particulièrement Ethereum.

2.1.2.2 Technologie pour le deploiement des contrats

Notre solution repose sur **Ethereum**, choisi pour sa maturité dans le domaine des applications décentralisées (DApp). Le réseau de test **Sepolia** a été sélectionné comme environnement de déploiement des contrats.

- **Ethereum** [?] occupe la deuxième position mondiale en termes de capitalisation boursière dans l'univers des cryptomonnaies. Cette plateforme se distingue par sa capacité à héberger une multitude d'applications décentralisées, notamment dans le secteur de la DeFi. Lancée en 2015, Ethereum transcende le concept de monnaie numérique en proposant une infrastructure informatique décentralisée mondiale. Sa flexibilité permet le développement d'applications diverses, des jeux aux outils financiers, en passant par des systèmes de gestion de données complexes. Comme le souligne l'Ethereum Foundation : "Ethereum offre un cadre pour codifier, décentraliser, sécuriser et échanger pratiquement tout type d'information ou de valeur."

- **Sepolia** [?], lancé en 2021, constitue un réseau de test Ethereum utilisant le mécanisme de preuve d'enjeu. Cet environnement de test, optimisé pour les développeurs, se caractérise par sa rapidité de synchronisation et son efficacité en termes de ressources grâce à un système de validateurs contrôlé. Son approvisionnement en ETH de test en fait un outil idéal pour le développement et le test d'applications Ethereum.

2.1.2.3 Technologie pour le Frontend

L'interface utilisateur repose sur l'alliance de **React** et **Tailwind CSS**.

- **React** [?], maintenu par Meta et une communauté active depuis 2013, représente une bibliothèque JavaScript open source dédiée à la création d'interfaces utilisateurs dynamiques. Sa particularité réside dans son approche par composants et son système de gestion d'état, facilitant le développement d'applications web monopages. L'utilisation d'un DOM virtuel optimise les performances en minimisant les mises à jour du navigateur.

- **Tailwind CSS** [?] innove en proposant une approche utilitaire du styling CSS. Contrairement aux frameworks traditionnels, Tailwind CSS privilégie la flexibilité en fournissant un ensemble de classes utilitaires permettant une personnalisation fine de chaque élément de l'interface.

2.1.2.4 Technologie pour les interactions blockchain-frontend

L'intégration blockchain-frontend s'appuie sur la bibliothèque **Ethers.js**.

Ethers.js [?] constitue une solution JavaScript complète et performante pour l'interaction avec les réseaux Ethereum et compatibles EVM. Cette bibliothèque facilite la communication avec la blockchain via différents protocoles (JSON-RPC, Etherscan, MetaMask, Infura, Alchemy, Cloudflare). Son architecture modulaire et ses fonctionnalités TypeScript en font un outil polyvalent pour le développement d'applications décentralisées.

2.1.3 Environnement de développement

Notre environnement de développement s'articule autour de deux outils principaux :

- **Visual Studio Code** Cet éditeur de code multiplateforme développé par Microsoft offre un environnement de développement complet intégrant le débogage, la coloration syntaxique, l'autocomplétion intelligente, et le contrôle de version Git.

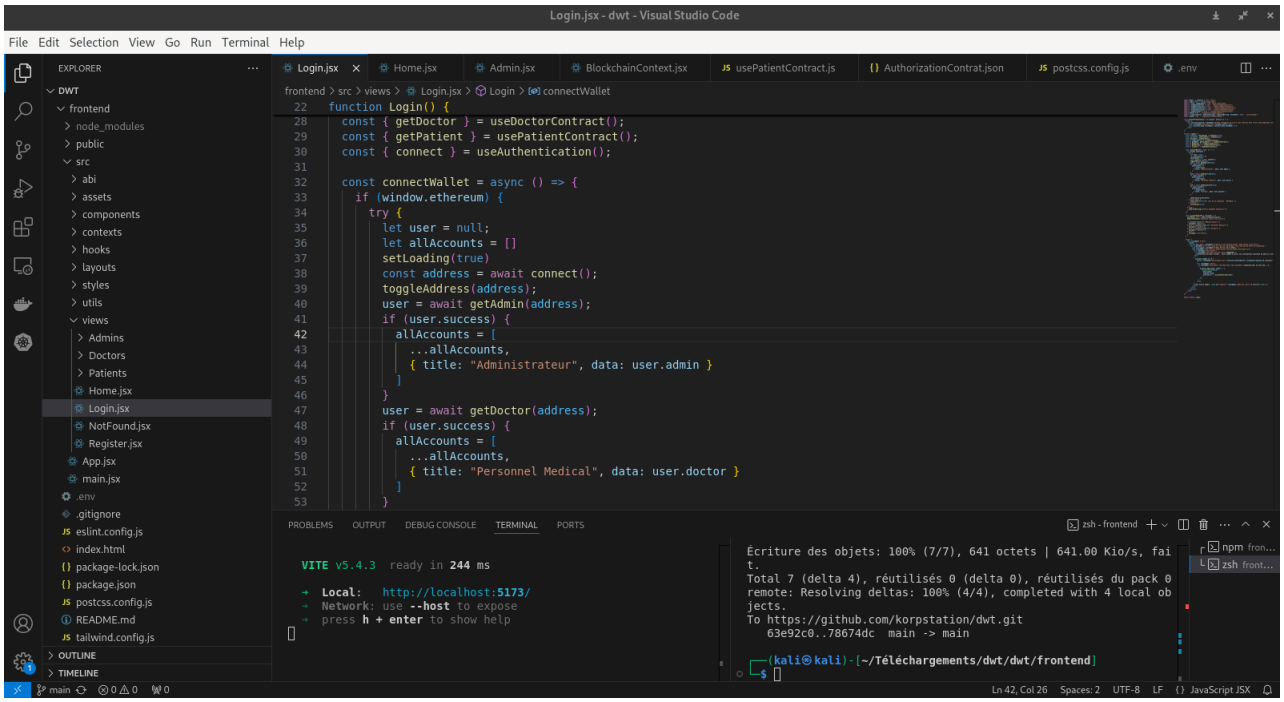


FIGURE 2.1 : Visual Studio Code

- **Remix IDE**
  Remix IDE se positionne comme un environnement de développement intégré open source spécialisé pour Ethereum. Il offre des fonctionnalités essentielles pour le développement Web3, notamment l'écriture, la compilation et le débogage de contrats Solidity.

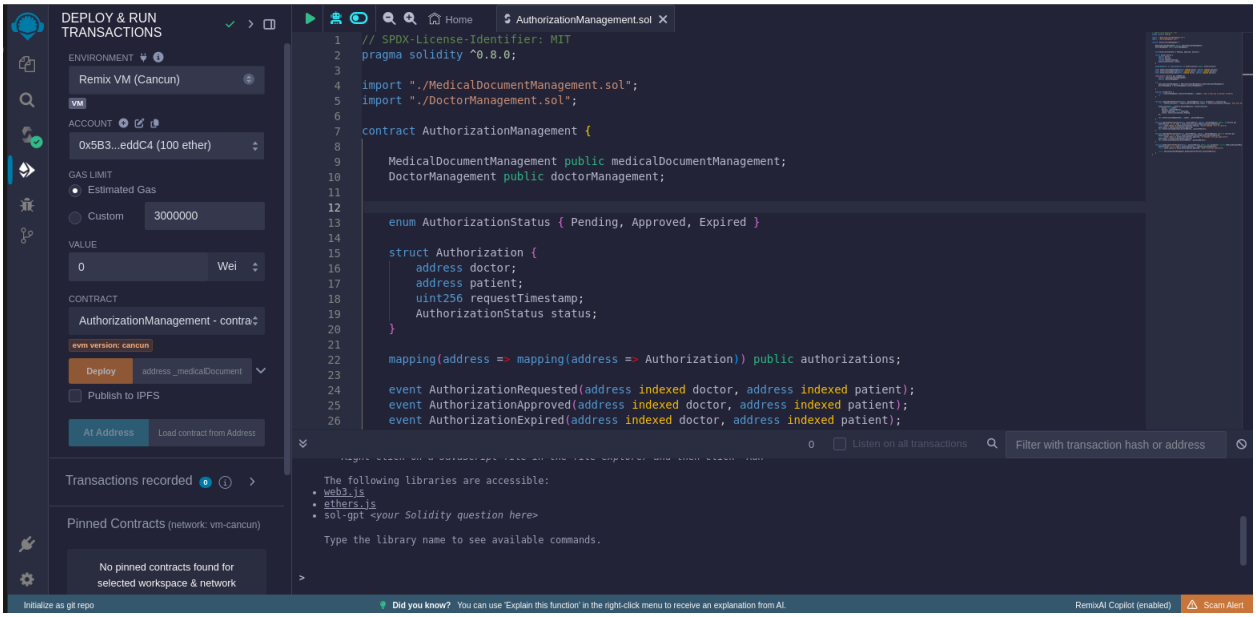


FIGURE 2.2 : REMIX IDE

2.2 Conception

2.2.1 Étapes de développement

Le développement d'une application sur la blockchain nécessite une approche méthodique et structurée. Cette méthodologie se décompose en plusieurs phases distinctes et complémentaires, comme illustré ci-dessous :

Phase	Importance
Idéation	Définir le concept central et l'utilité.
Design UX/UI	Créer une expérience utilisateur optimale et une interface intuitive.
Développement de Smart Contract	Établir les règles d'affaires de votre DApp et assurer leur bonne exécution.
Sécurité et Tests	Prévenir les vulnérabilités et garantir une application fiable.
Déploiement	Mettre en ligne l'application et veiller à son bon fonctionnement.
Scalabilité	Assurer la capacité de la DApp à grandir et à gérer un nombre croissant d'utilisateurs.

FIGURE 2.3 : Processus de développement d'une Application Décentralisée

Source Figure 2.3 : [1]

2.2.1.1 Idéation et Modélisation

- **Idéation**

1. ***Justification de l'utilisation de la Blockchain*** L'adoption de la technologie Blockchain pour notre projet se justifie par trois avantages majeurs :
   Sécurité renforcée : La nature décentralisée de la Blockchain élimine le risque de point unique de défaillance, caractéristique des systèmes centralisés traditionnels. Cette architecture distribuée offre une protection accrue des données médicales, permettant aux patients de visualiser et de gérer efficacement les droits d'accès à leurs informations personnelles.
   Interopérabilité optimisée : La Blockchain facilite la collaboration entre les différents acteurs du système de santé (cliniques, hôpitaux, prestataires) en fournissant une infrastructure unifiée et standardisée pour le partage des données. **Transparence garantie** : Les mécanismes intrinsèques de la Blockchain assurent une traçabilité complète des informations

[1] W3r.oneleMagazine\T1\textendashhttps://w3r.one/fr/blog/blockchain-web3/developpement-dapps

de santé, tout en intégrant des garanties contre les erreurs humaines et les tentatives de manipulation frauduleuse.

2. *Analyse de la pertinence de la Blockchain*

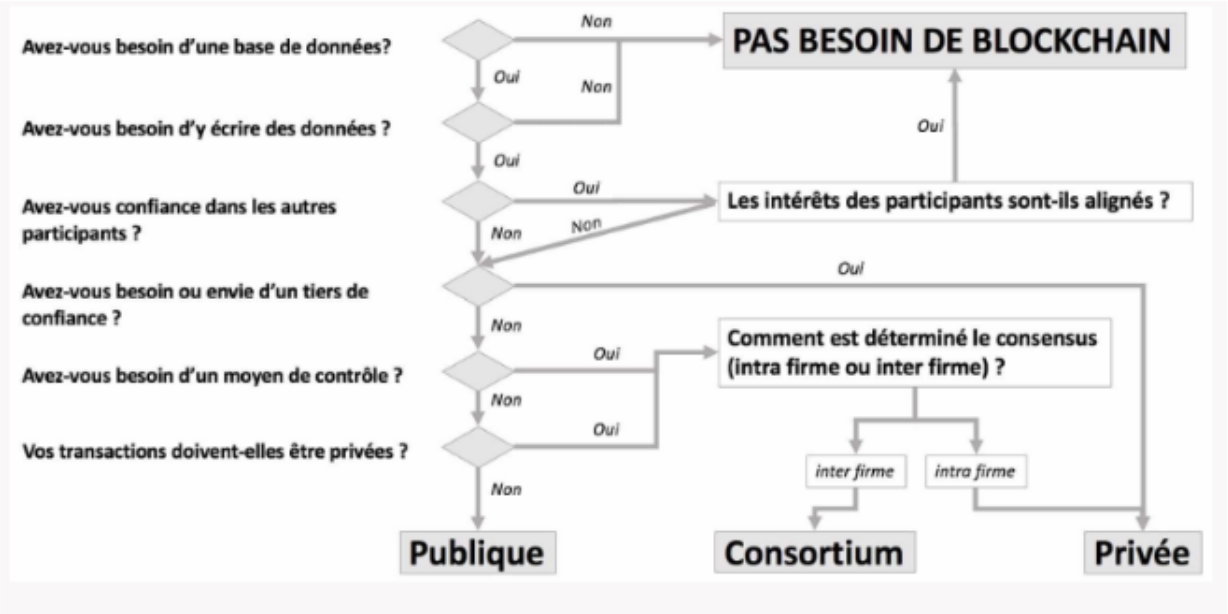


FIGURE 2.4 : Arbre décisionnel d'adoption de la Blockchain

Source Figure 2.4 : [2]

L'analyse basée sur l'arbre décisionnel (figure 2.4) confirme la pertinence de la Blockchain pour notre solution DWT. Notre système nécessite une base de données persistante pour la gestion des dossiers médicaux, dans un contexte où la confiance entre les différents acteurs ne peut être présumée absolue.

3. **Cartographie des acteurs du système DWT**
   Notre système s'articule autour de deux catégories d'acteurs :

   Utilisateurs professionnels et patients : Cette catégorie englobe l'ensemble des professionnels de santé (médecins, personnel hospitalier), les organismes de santé (assurances, laboratoires d'analyses, pharmacies) ainsi que les patients. **Administrateurs système** : Cette catégorie regroupe les gestionnaires techniques responsables du bon fonctionnement de la plateforme.

- **Modélisation**

1. Diagramme de cas d'utilisation
   Le diagramme de cas d'utilisation, élément fondamental de la modélisation UML, offre une représentation synthétique des interactions utilisateur-système. Cet outil de modélisation permet d'identifier et d'organiser les fonctionnalités essentielles tout en clarifiant

[2] LesEchos\T1\textendashhttps://solutions.lesechos.fr

les besoins des utilisateurs. Notre système met en scène trois catégories d'acteurs principaux : les patients, les agents médicaux et les administrateurs. Leurs interactions sont détaillées dans la figure 2.5.

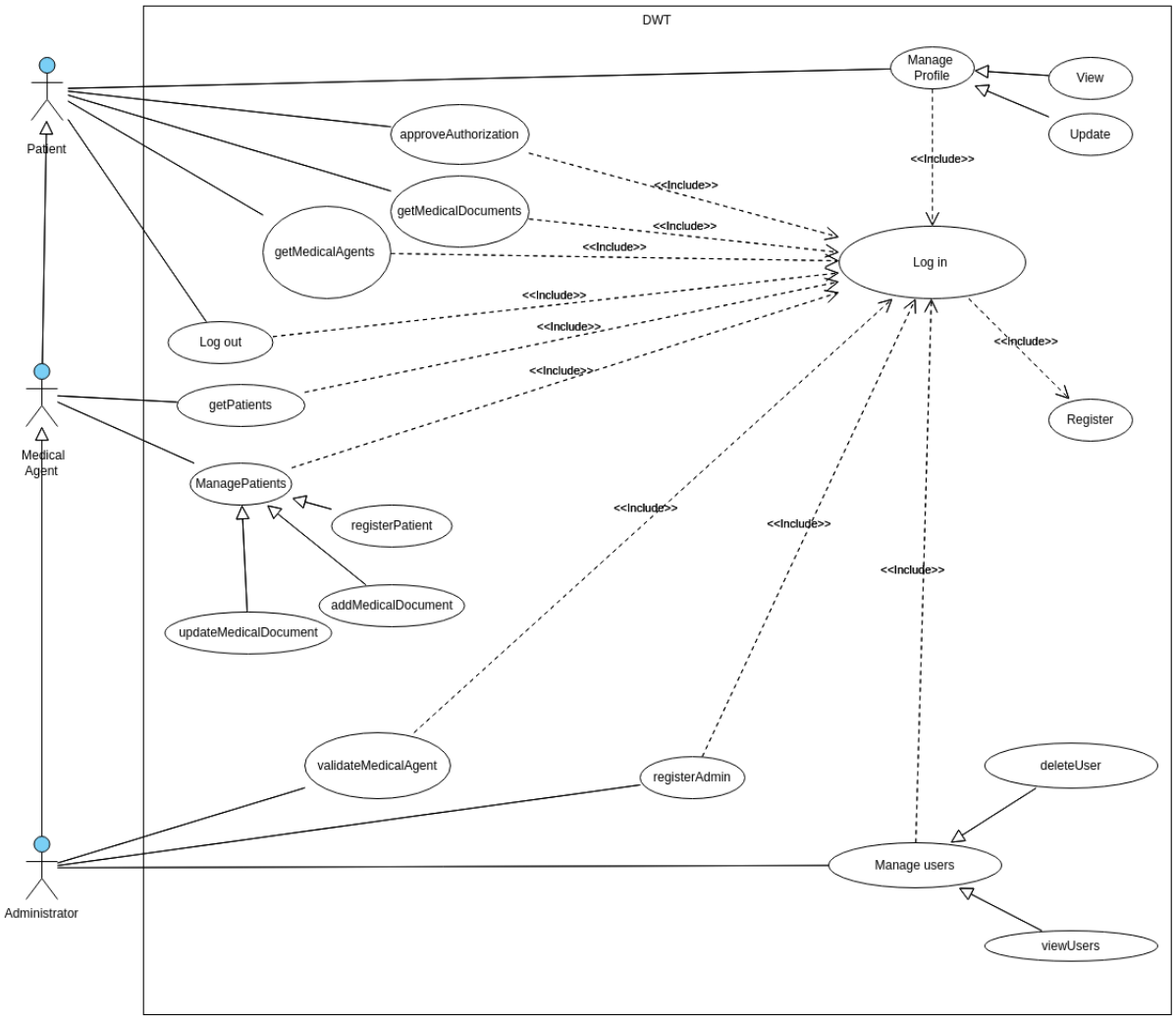


FIGURE 2.5 : Diagramme de cas d'utilisation du système

2. Les diagrammes de séquence

   – **Inscription et validation d'un agent médical**
   Ce diagramme 2.6 montre le processus d'inscription d'un nouveau docteur sur la plateforme. Après l'inscription, le compte du docteur est en attente de validation par un administrateur. Le docteur ne peut pas enregistrer des patients ou rédiger des docu-

ments médicaux tant que son compte n'est pas validé.

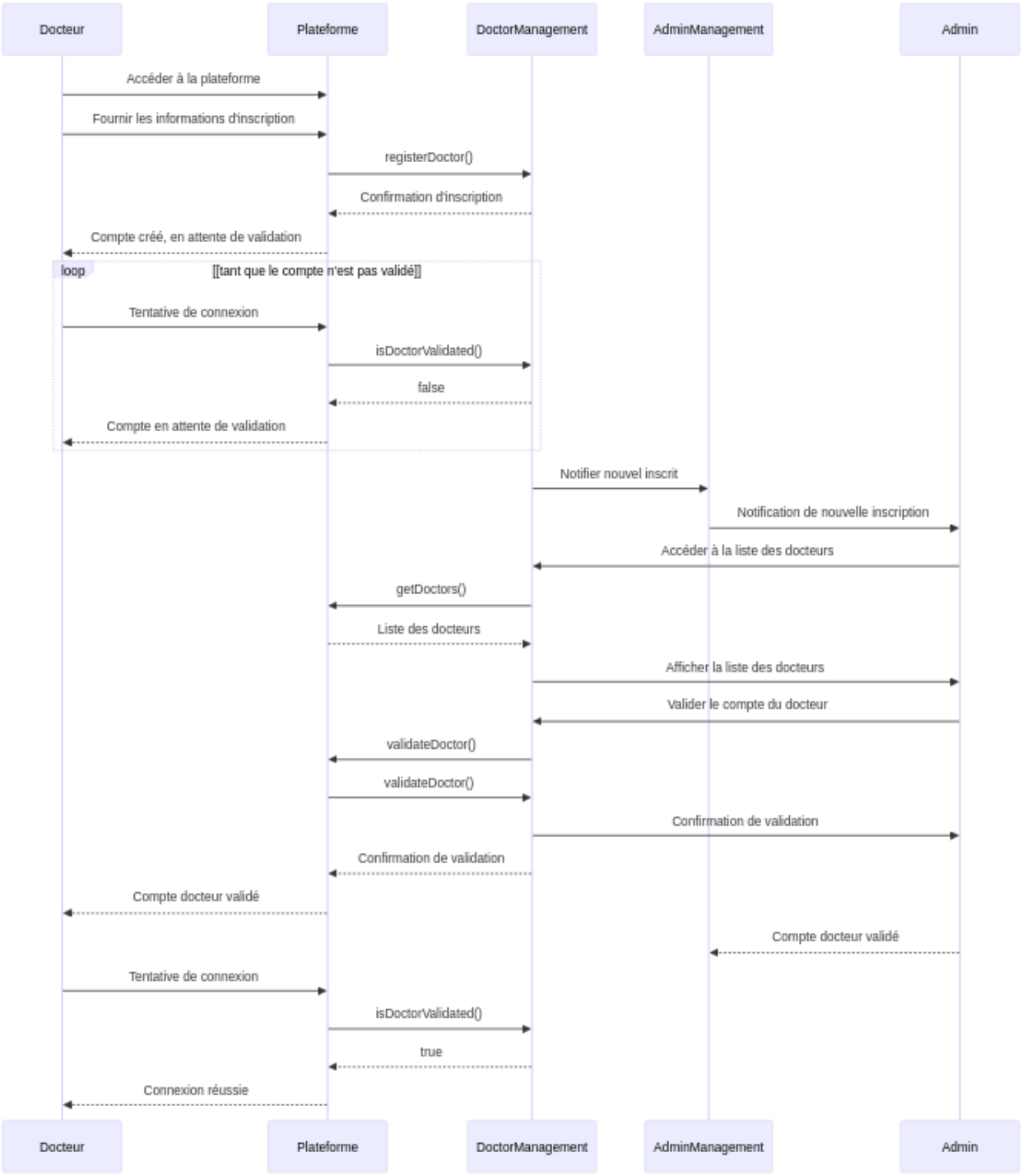


FIGURE 2.6 : Inscription et Validation d'un Docteur

– **Enregistrement des patients et documents médicaux**
Ce diagramme 2.7 montre comment un docteur qui souhaite rédiger un document médical à un patient. Si le patient existe, le docteur lui redige le document médical. Sinon, le docteur enregistre d'abord le patient. Ensuite, le docteur peut rédiger et ajouter un document médical pour le patient.

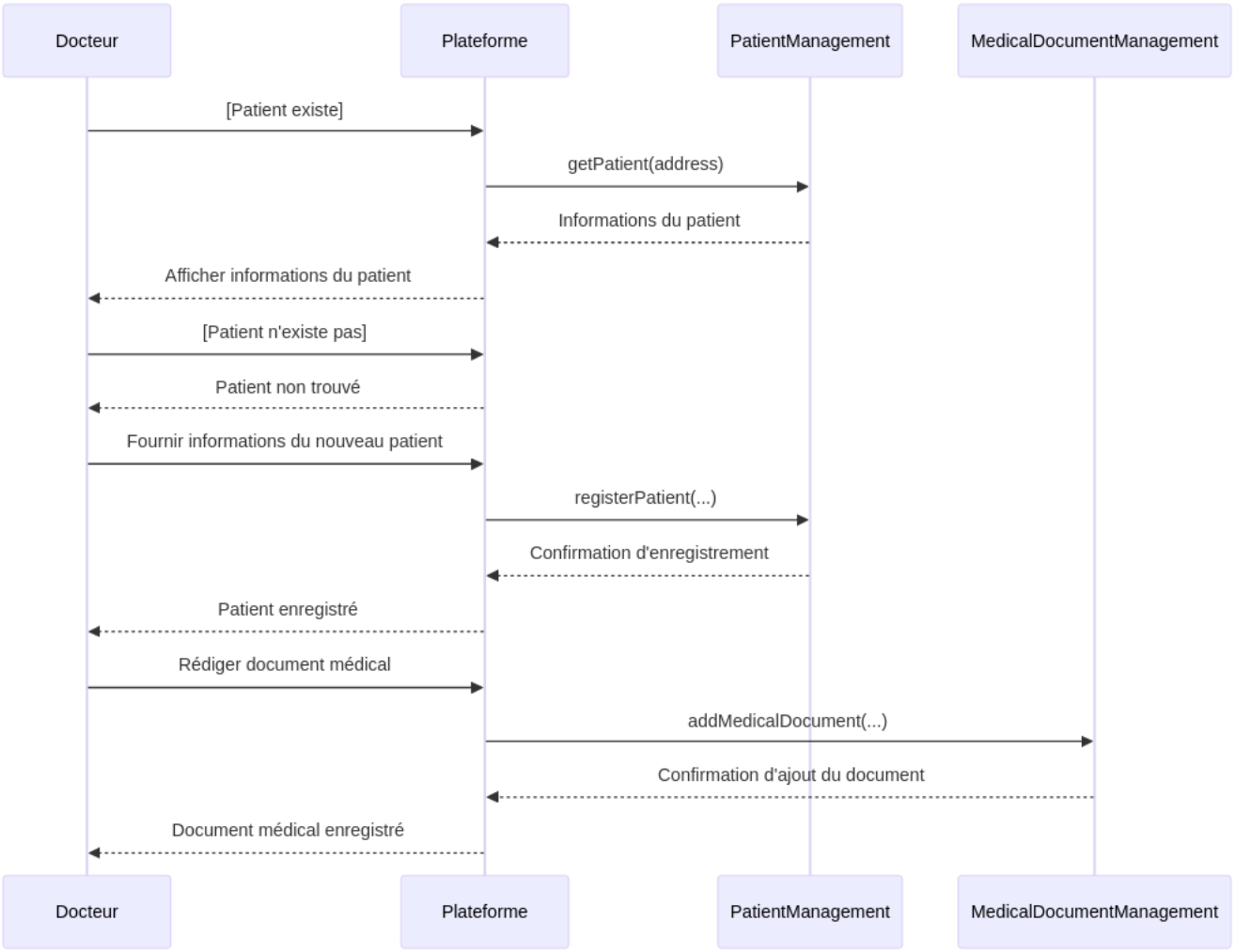


FIGURE 2.7 : Enregistrement des patients et documents médicaux

– **Demande d'accès au dossier médical**
  Ce diagramme illustre le processus de demande d'accès à un dossier médical par un docteur. En situation normale, le patient est notifié et peut accepter ou refuser l'accès. En cas d'urgence, un administrateur peut autoriser l'accès rapidement. Une fois l'accès autorisé, le docteur peut consulter le dossier médical.

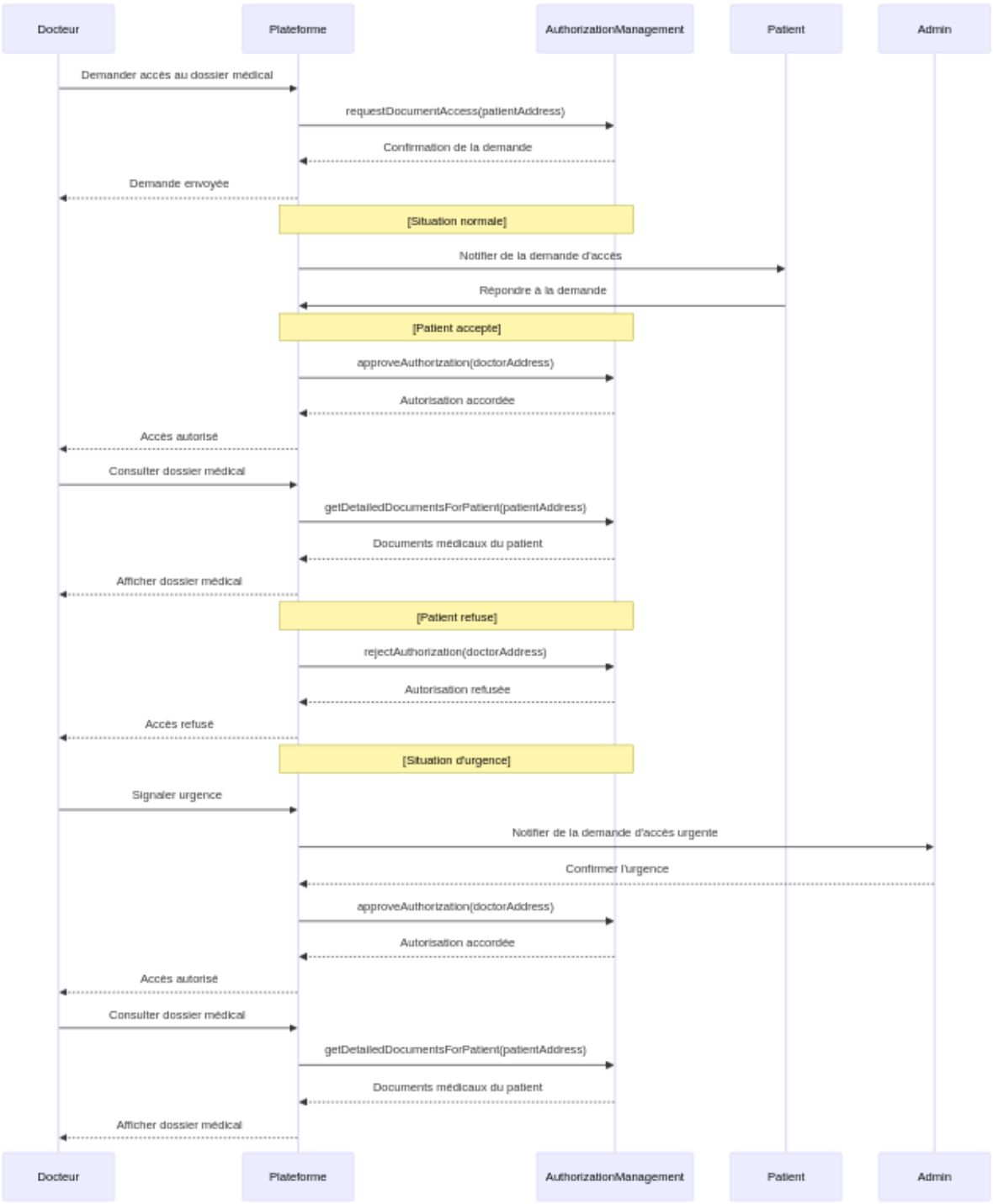


FIGURE 2.8 : Demande d'accès au dossier médical

2.2.1.2 Design UX/UI

Dans cette phase de conception, nous avons développé une interface utilisateur privilégiant la simplicité et l'efficacité. Notre approche s'est concentrée sur certains aspects essentiels :

- Une navigation intuitive et fluide pour tous les utilisateurs
- Une expérience utilisateur (UX) optimisée et centrée sur les besoins des utilisateurs
- Une sélection de couleurs harmonieuse pour une meilleure lisibilité

- Une interface responsive assurant une utilisation confortable sur tous les appareils

L'objectif était de créer une interface à la fois moderne et fonctionnelle, permettant aux utilisateurs d'accéder facilement à toutes les fonctionnalités du système.

2.2.1.3 Développement de Smart Contrat

- **Contrat AdminManagement**

  Ce contrat gère les administrateurs qui supervisent l'ensemble du système. Ses fonctionnalités incluent :

  1. Enregistrement des administrateurs avec des informations détaillées.
  2. Mise à jour et suppression d'administrateurs.
  3. Consultation de la liste des administrateurs.
  4. Nous avons initialisé le premier admin qui sera celui va déployer les contrats.

  Seul un administrateur a accès aux fonctions de ce contrat.

- **Contrat DoctorManagement**

  Ce contrat est responsable de la gestion des agents médicaux. Ses fonctionnalités sont :

  1. Enregistrement et mise à jour des agents.
  2. Validation des médecins pour s'assurer qu'ils sont autorisés à accéder au système. (Cette fonction peut être uniquement appelé par un administrateur)
  3. Consultation et suppression des médecins.(Egalement accessible uniquement aux admins)

- **Contrat PatientManagement**

  Ce contrat gère tout ce qui est lié aux patients. Ses principales fonctionnalités incluent :

  1. Enregistrement des patients avec des informations personnelles (Cette fonction permet à un agent médical d'inscrire un patient dans le système).
  2. Mise à jour des informations des patients.
  3. Consultation des informations concernant un patient
  4. Voir la liste complète des patient et suppression des patients. (Réservé aux admins)

- **Contrat MedicalDocumentManagement**

  Ce contrat gère les documents médicaux associés aux patients. Les fonctionnalités principales incluent :

  1. Création de documents médicaux pour les patients, par les agents médicaux (consultations, prescriptions, allergies, etc.).
  2. Mise à jour de ces documents.
  3. Consultation des documents médicaux par le médecin ou le patient autorisé.

  Ce contrat permet aux médecins de créer et gérer des dossiers médicaux pour les patients.

- **Contrat AuthorizationManagement**

  Ce contrat permet de gérer les autorisations entre médecins et patients. Les fonctionnalités sont :

  1. Demande d'accès aux documents médicaux par les médecins.
  2. Approbation des autorisations par les patients ou l'administrateur(pour les cas d'urgence).
  3. Expiration des autorisations, pour s'assurer que l'accès est limité dans le temps.

  Le contrat garantit que les médecins ne peuvent accéder aux documents des patients qu'après avoir reçu une autorisation explicite.

2.2.1.4 Tests et Deploiement

Dans le cadre de ce projet, j'ai utilisé l'IDE Remix pour écrire, tester et déployer les smart contracts sur le réseau de test Sepolia. Remix offre une interface conviviale qui m'a permis de développer rapidement les contrats, d'exécuter des tests unitaires et de simuler leur comportement avant de les déployer. Remix intègre également des outils de débogage et des interactions directes avec le réseau Ethereum, ce qui m'a facilité la tâche pour vérifier l'exactitude des contrats. Le réseau de test Sepolia a été utilisé pour valider les fonctionnalités dans un environnement sécurisé avant un déploiement potentiel sur le mainnet.

1. **Le contrat AdminManagement**
   Nous avons deployé le contrat dans le réseau de test de Remix IDE [**?**]. Pour le tester nous avons d'abord vérifier si l'adresse qui a déployé le contrat est un admin ce qui était bien le cas. Ensuite nous avons ajouter un autre admin et vérifier si celà fonctionnait.

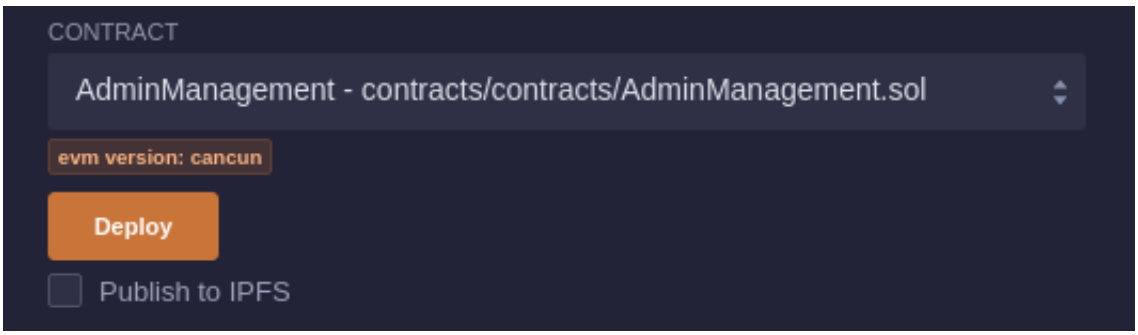


FIGURE 2.9 : Test du deploiement

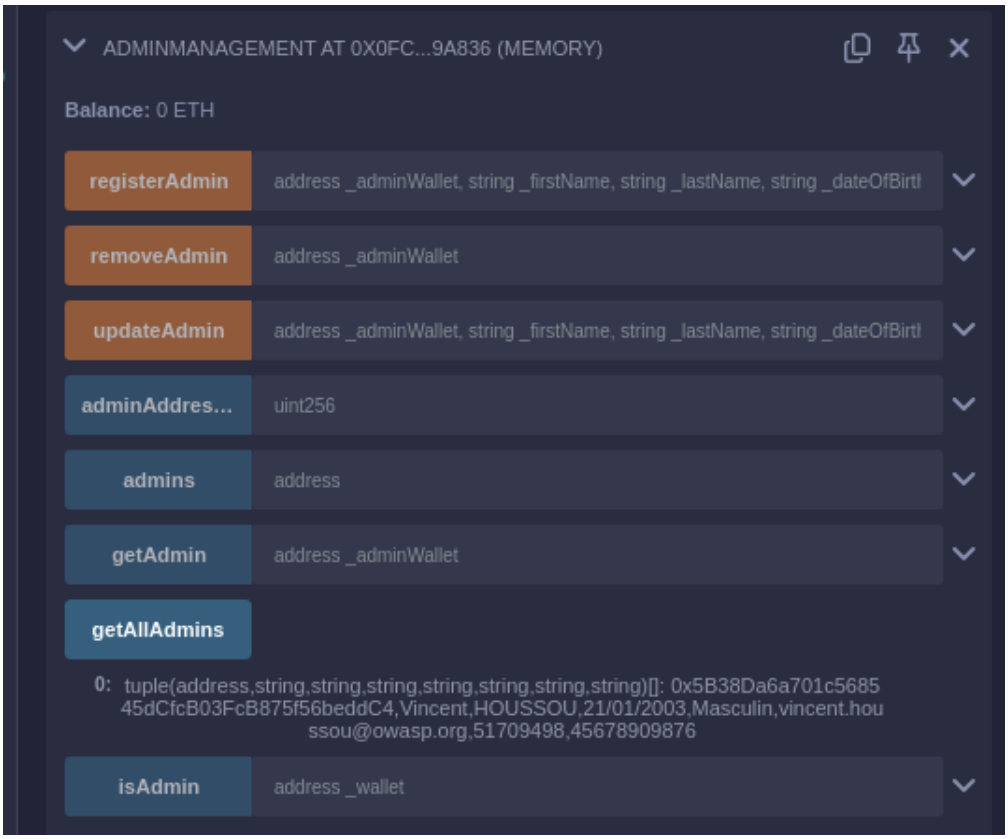


FIGURE 2.10 : Vérification admin

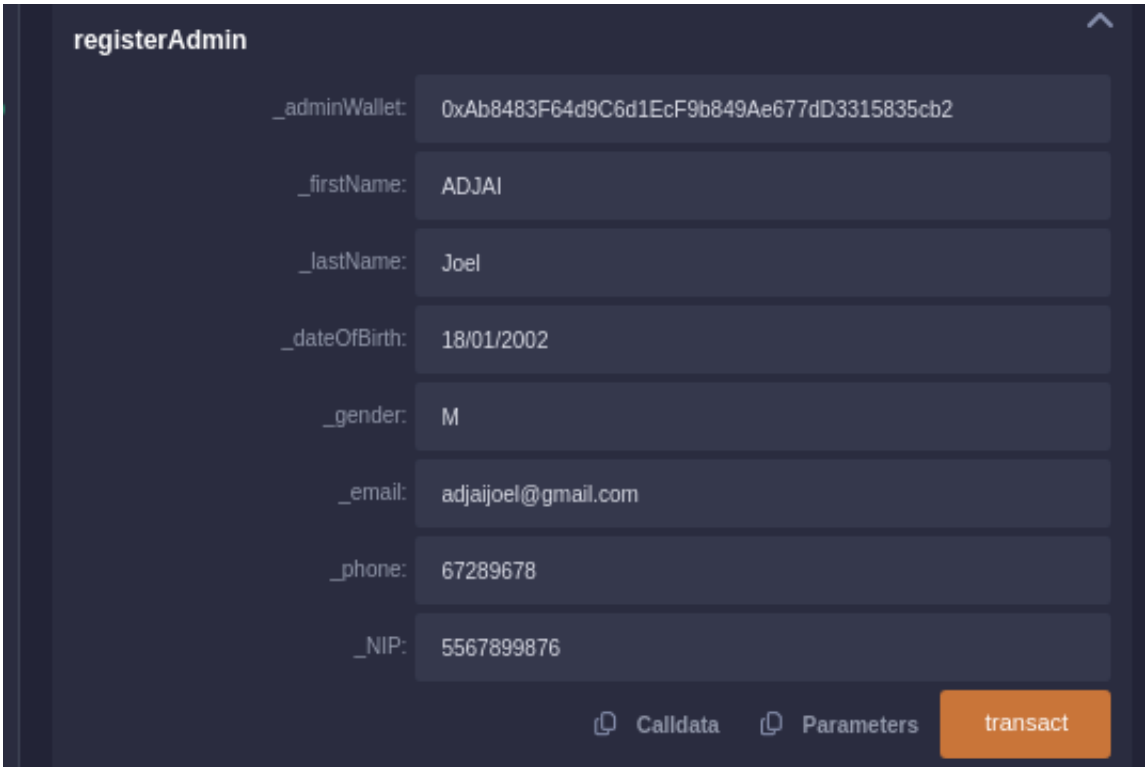


FIGURE 2.11 : Ajout d'un admin

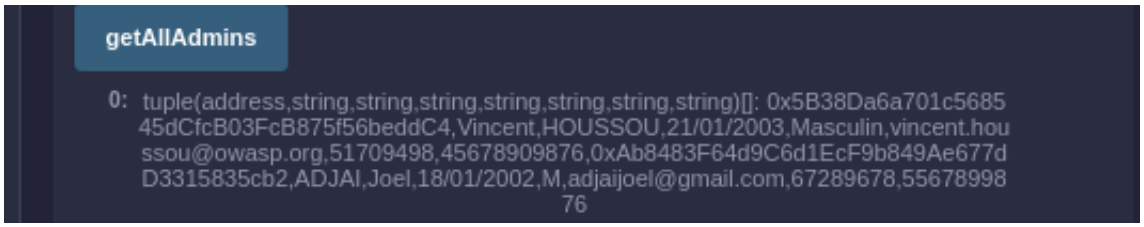


FIGURE 2.12 : Revérification des admins

2. **Le contrat DoctorManagement**

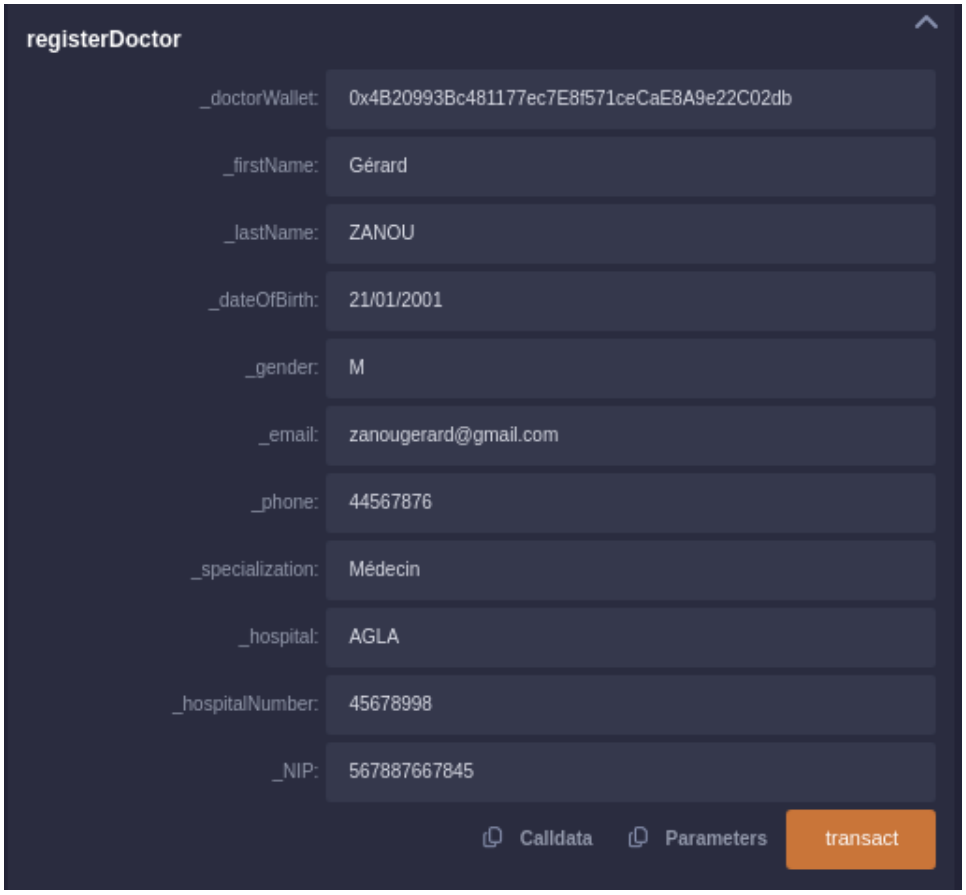


FIGURE 2.13 : Inscription d'un docteur

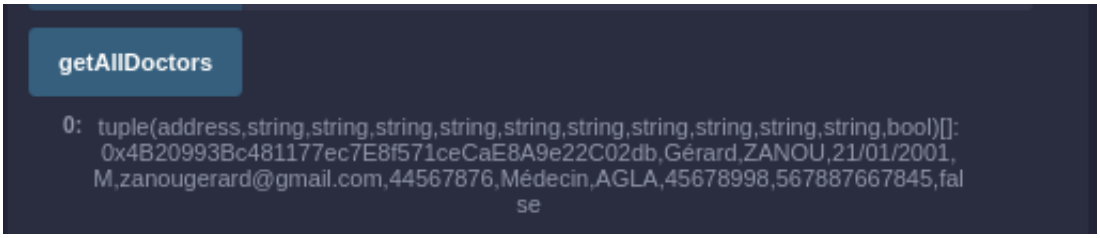


FIGURE 2.14 : Vérification Docteur

Nous avons suivi le même processus comme précédemment pour tester les autres contrats et s'assurer de leur focntionnement avant de les deployer sur le réseau de test sépolia [**?**].

Conclusion

Ce chapitre nous a permis de présenter en détails nos choix techniques et de spécifier également les étapes de la conception de notre projet. Dans la suite nous allons vous présenter les résultats obtenu après ce travail.

Chapitre 3

Présentation de la solution

Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons les interfaces de notre application ensuite nous exposerons quelques limites de notre solution.

3.1 Interfaces de l'application

- La page d'accueil de notre application



FIGURE 3.1 : Page d'accueil DWT

- Les interfaces d'inscription et de connexion

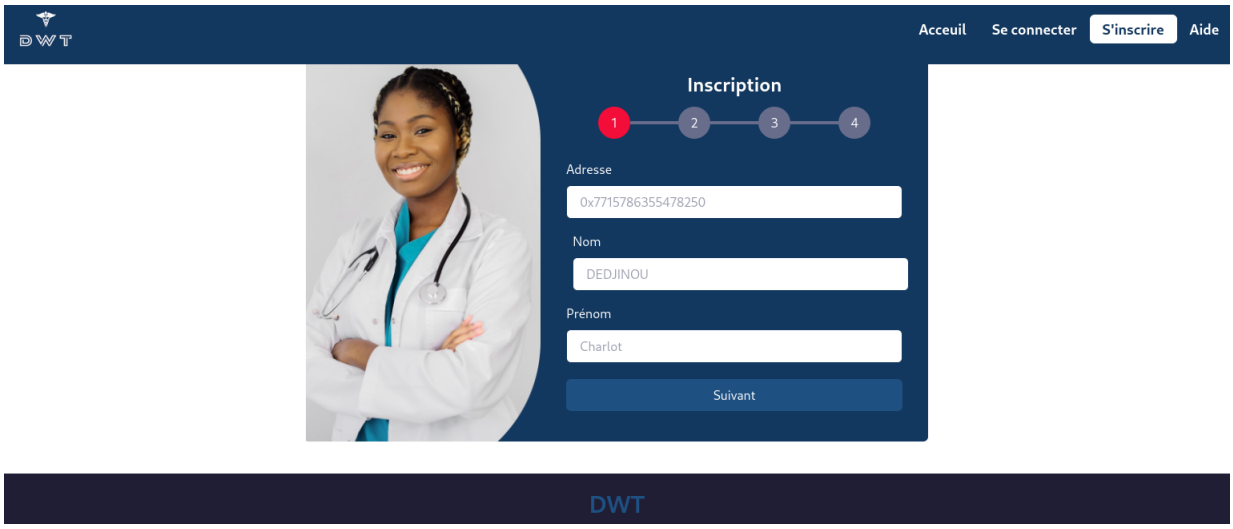


FIGURE 3.2 : Inscription

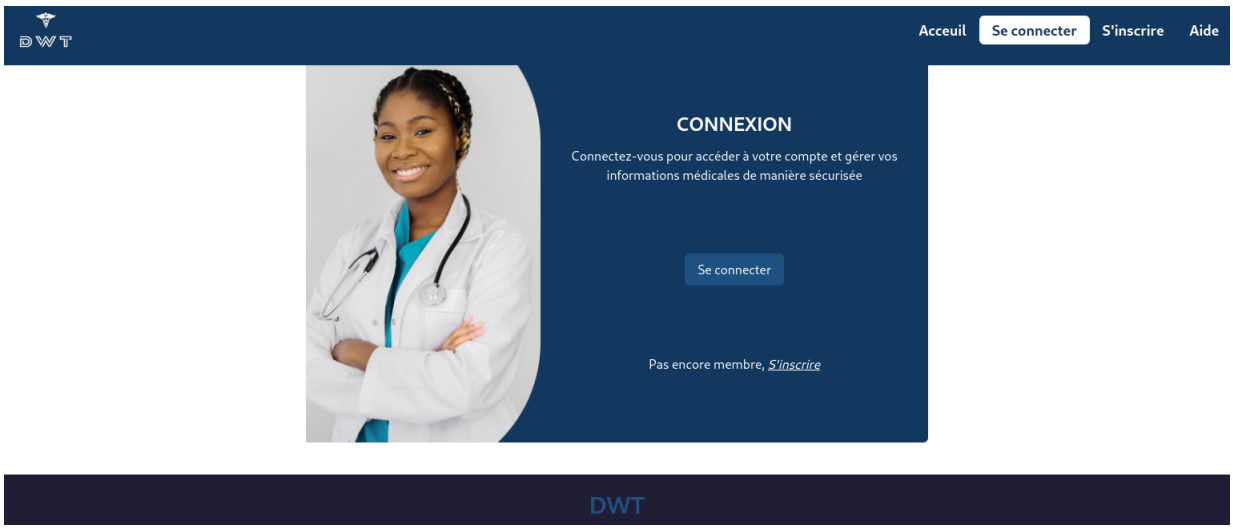


FIGURE 3.3 : Connexion

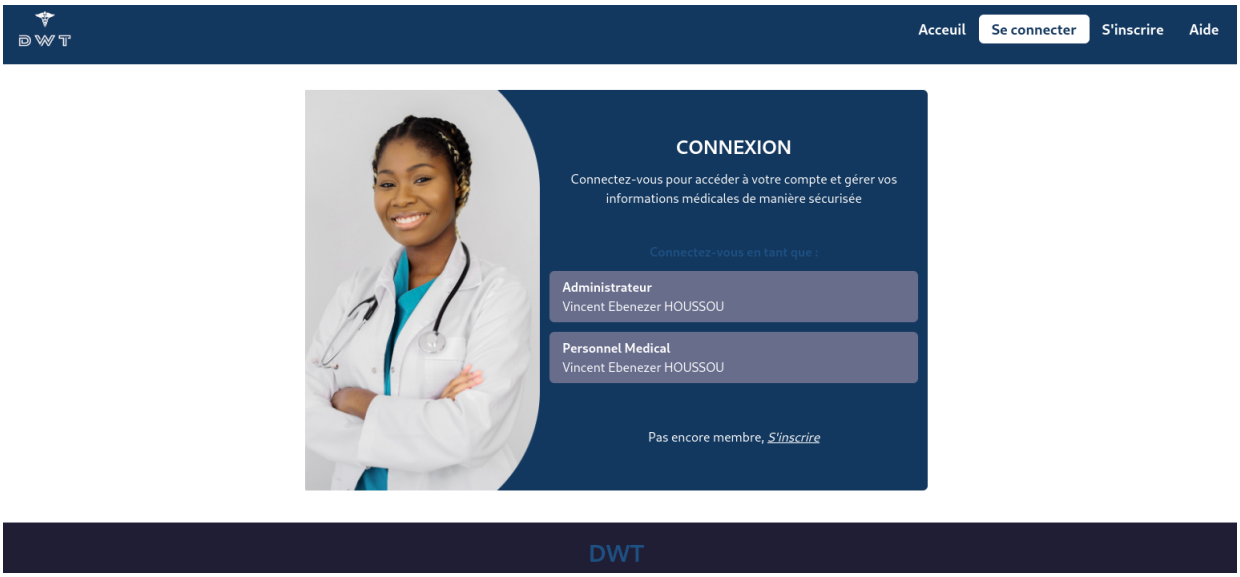


FIGURE 3.4 : Connexion

- Les interfaces de l'administrateur

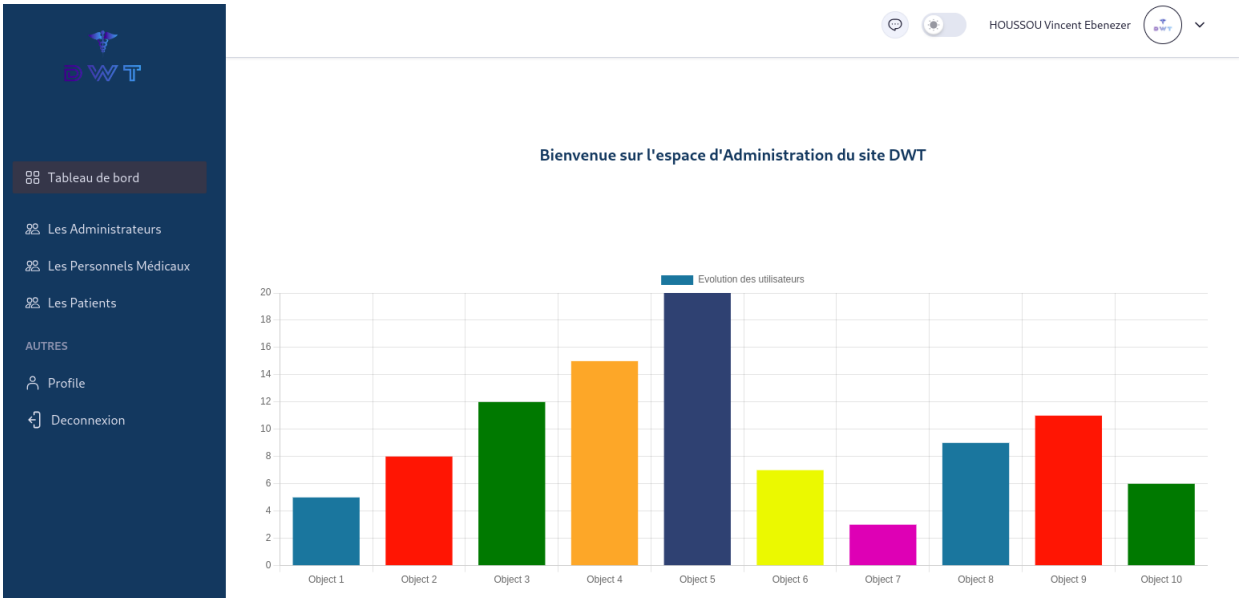


FIGURE 3.5 : Tableau de bord de l'administrateur

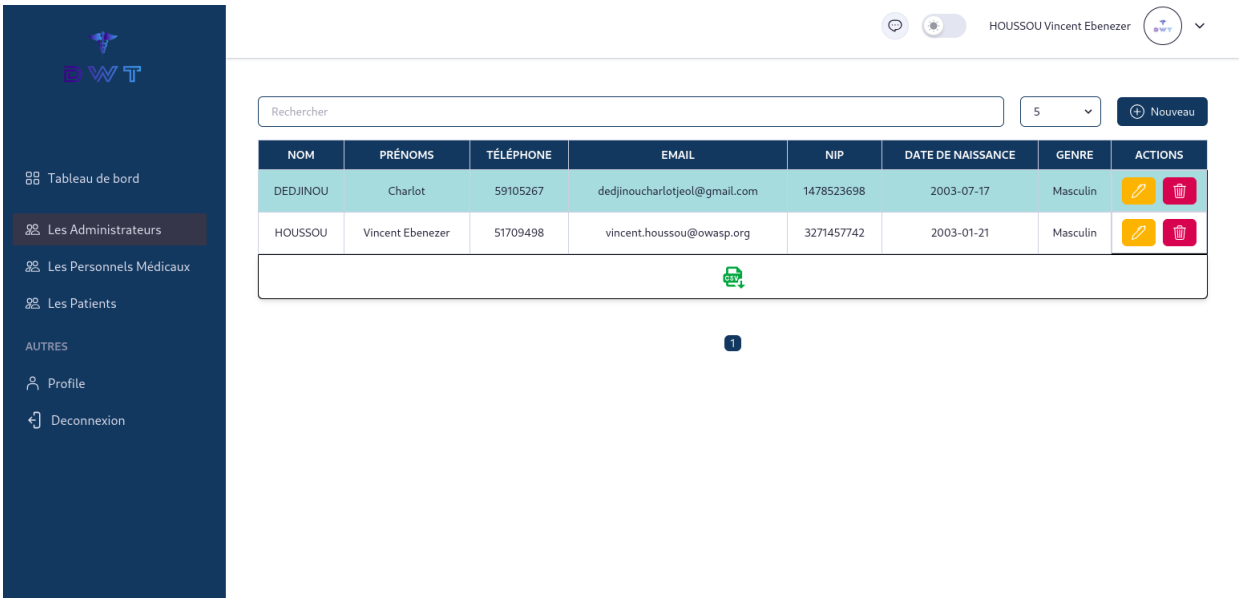


FIGURE 3.6 : La liste des admins

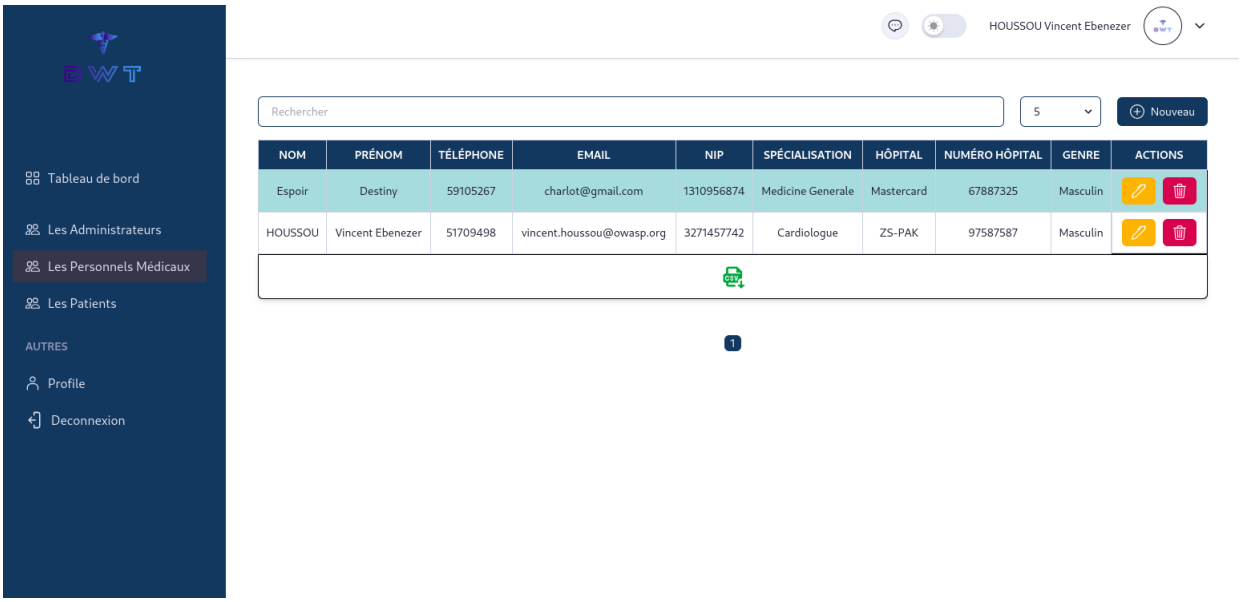


FIGURE 3.7 : La liste des agents médicaux

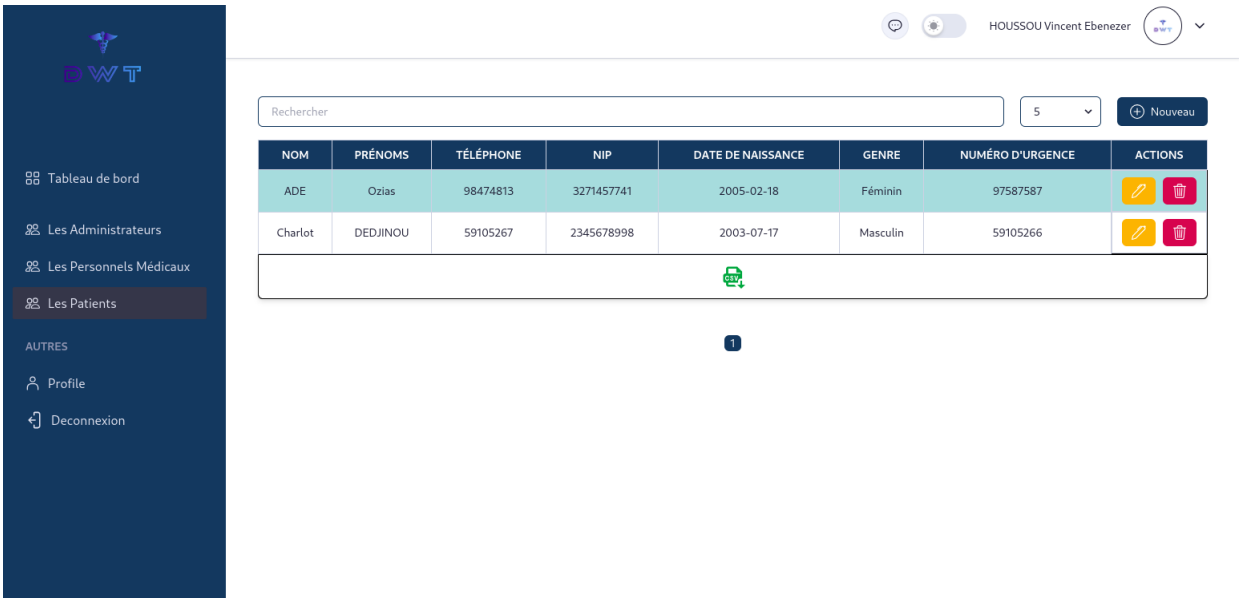


FIGURE 3.8 : La liste des patients

- Les interfaces de l'agent médical

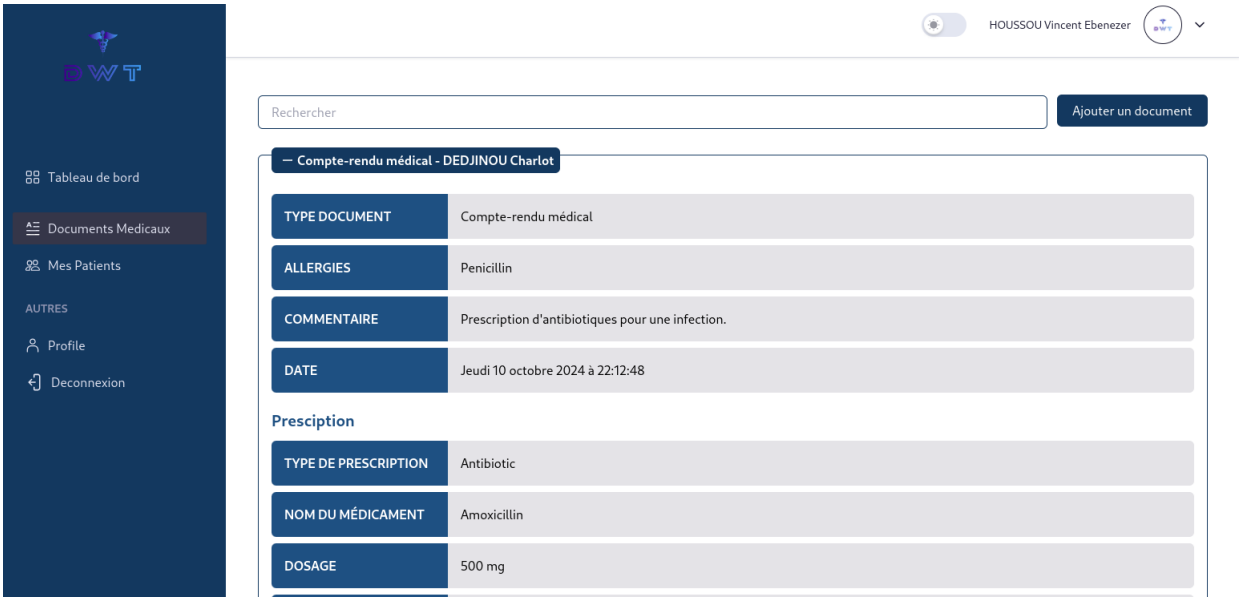


FIGURE 3.9 : La liste des documents médicaux d'un agent médical

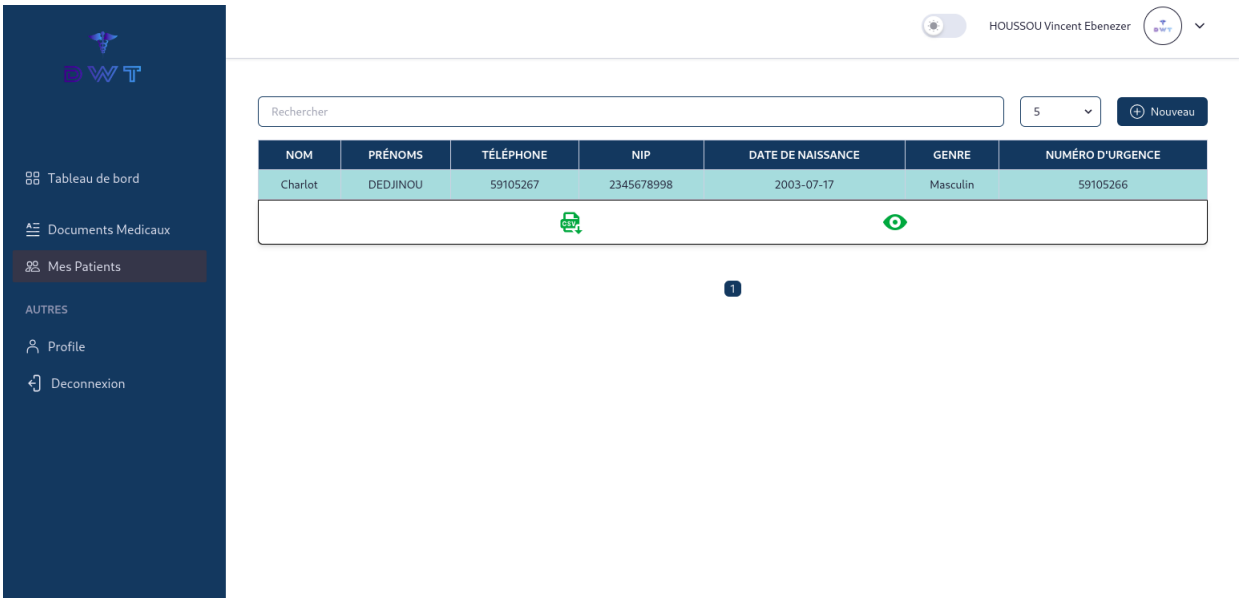


FIGURE 3.10 : La liste des patients d'un agent médical

- Les interfaces du patient

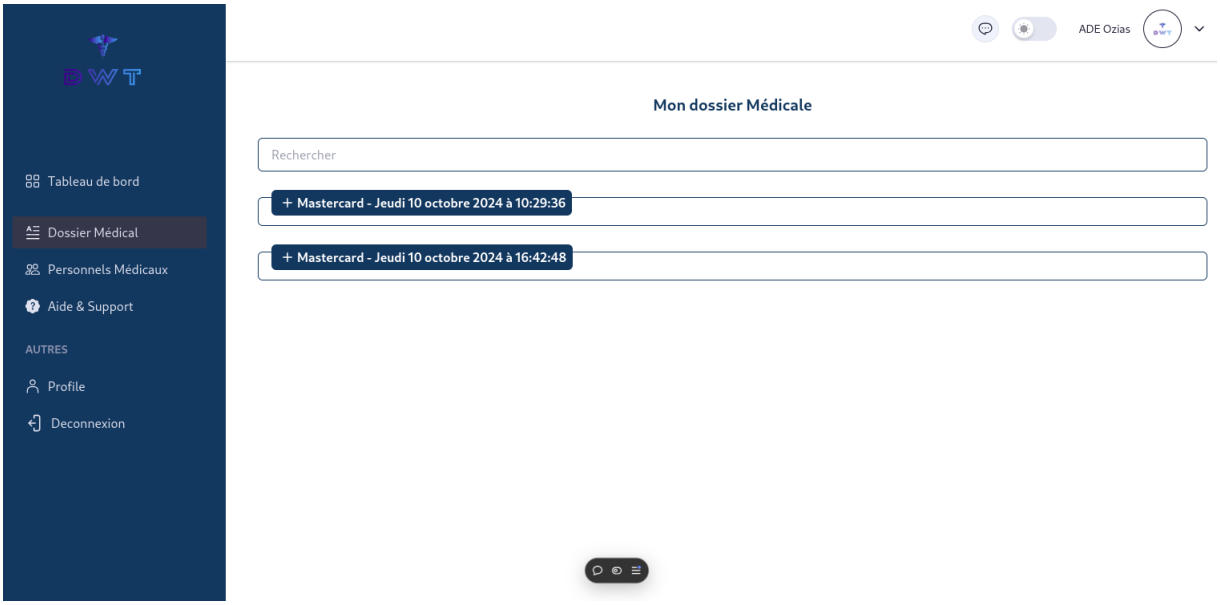


FIGURE 3.11 : La liste des documents médicaux d'un patient

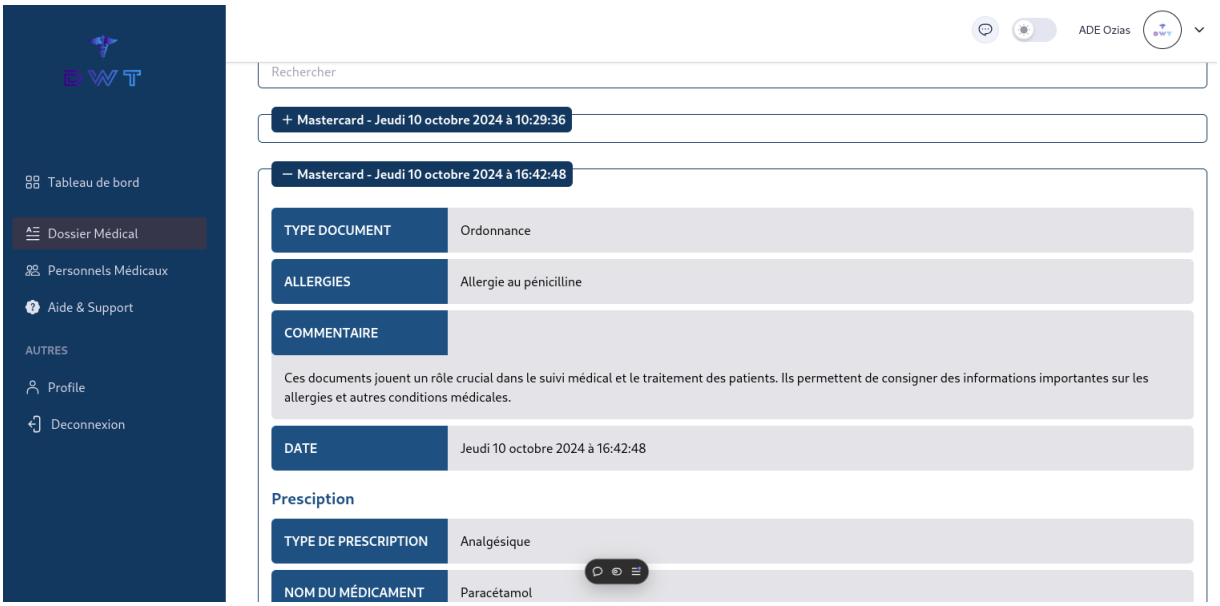


FIGURE 3.12 : La liste des documents médicaux d'un patient

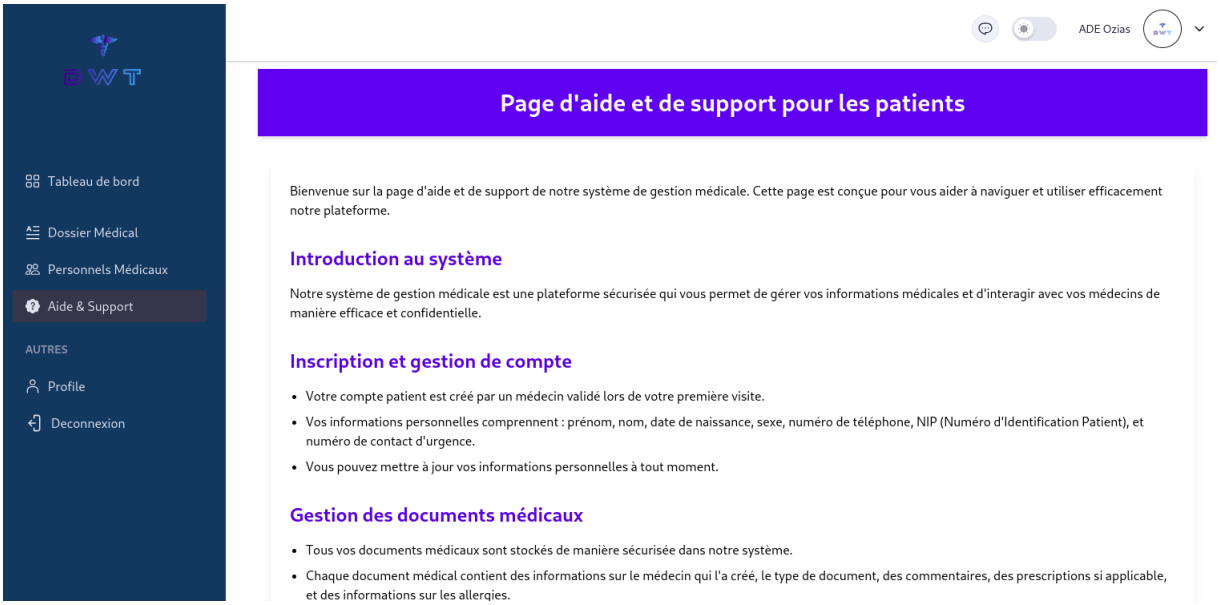


FIGURE 3.13 : Page d'aide pour le patient

3.2 Limites de l'application

- Stockage et sécurité des données :

  Bien que les informations soit stockées de manière sécurisée sur la blockchain,nous devons veillez à la conformité aux réglementations sur la protection des données de santé (comme HIPAA aux États-Unis ou le RGPD en Europe).

  La blockchain pourrait avoir des limites en termes de vitesse de traitement et de coûts de stockage pour de grandes quantités de données médicales.

- Support pour différents types de médias :

Le système ne peut pas gérer divers types de médias comme les images radiologiques, les vidéos d'examens, ou les enregistrements audio.

Conclusion

Ce chapitre nous a permis de présenter les résultats de notre projet à travers une démonstration détaillée des fonctionnalités implémentées. Nous avons mis en évidence la réalisation concrète des différentes composantes de notre système, notamment la gestion des utilisateurs, le stockage sécurisé des documents médicaux sur la blockchain, et l'interface utilisateur intuitive. Les tests effectués ont démontré la fiabilité et l'efficacité de notre solution, malgré certaines limitations identifiées qui ouvrent la voie à des améliorations futures.

Conclusion Générale

La gestion des documents médicaux est un défi majeur dans le secteur de la santé. Les difficultés liées à l'accès, au partage et à la sécurisation des données médicales peuvent entraîner des retards dans les traitements, des erreurs médicales, et une frustration tant pour les patients que pour les soignants. Notre travail de mémoire a consisté à proposer une solution à ces défis en créant un système de gestion de documents médicaux basé sur la blockchain. Notre application permet non seulement de stocker de manière sécurisée les informations médicales, mais elle offre également aux patients un contrôle accru sur leurs données de santé. De plus, le système facilite la collaboration entre les différents acteurs du secteur médical, améliorant ainsi la qualité des soins et l'efficacité des traitements.

Perspectives

Pour enrichir et améliorer notre solution, plusieurs perspectives d'évolution peuvent être envisagées :

- **Intégration de l'Intelligence Artificielle** : L'ajout d'algorithmes d'IA pourrait permettre l'analyse automatique des documents médicaux, la détection d'anomalies dans les résultats d'analyses, et la suggestion de diagnostics préliminaires.
- **Support multimédia** : Développer la prise en charge de différents types de médias médicaux (images radiologiques, vidéos d'examens, enregistrements audio) tout en optimisant leur stockage sur la blockchain.
- **Application mobile** : Développer une version mobile de l'application pour permettre aux utilisateurs d'accéder à leurs documents médicaux depuis leurs smartphones.
- **Amélioration de la sécurité** : Renforcer les mécanismes de sécurité en implementant l'authentification biométrique et en améliorant la gestion des autorisations d'accès.

Ces perspectives d'évolution permettront d'enrichir les fonctionnalités de notre solution et de répondre encore mieux aux besoins des utilisateurs, tout en maintenant les standards élevés de sécurité et de confidentialité essentiels dans le domaine médical. La réalisation de ce projet constitue une base solide pour ces développements futurs, ouvrant la voie à une amélioration continue de la gestion des documents médicaux.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Antonopoulos A.M., Wood G. (2019). *Mastering Ethereum : Building Smart Contracts and DApps*. O'Reilly Media.

Banks A., Porcello E. (2020). *Learning React : Functional Web Development with React and Redux*. 2e ed. O'Reilly Media.

Wathan A., Schoger S. (2019). *Refactoring UI*. Tailwind Labs Inc.

WEBOGRAPHIE

Anycoindirect (2024). Qu'est-ce qu'un arbre de Merkle, https://anycoindirect.eu/fr/academy/questce-quun-arbre-de-merkle au 10/08/2024.

AWS (2024). La technologie Blockchain, https://aws.amazon.com/fr/what-is/blockchain/ au 12/08/2024.

Blockchain For Good (2024). Blockpharma : vérification des médicaments, https://blockchainforgood.fr/index.php/2018/02/08/blockpharma-permet-au-consommateur-de-verifier-instantanement-lauthenticite-de-la-boite-de-medicament-quil-achete/ au 18/08/2024.

Chainalysis (2024). Blockchain Analysis Platform, https://www.chainalysis.com/ au 18/08/2024.

Coinbase (2024). Ethereum : définition et fonctionnement, https://www.coinbase.com/fr/learn/crypto-basics/what-is-ethereum au 20/08/2024.

Datawallet (2024). Obtenir des jetons Sepolia, https://www.datawallet.com/fr/crypto/obtenir-des-jetons-du-réseau-de-test-sepolia au 20/08/2024.

Ethers.js (2024). Documentation technique, https://docs.ethers.org/v6/ au 20/08/2024.

IJAFAME (2024). La blockchain : définition et principes, https://www.ijafame.org/index.php/ijafame/article/download/491/429/ au 11/08/2024.

IONOS (2024). Le hachage : principes et applications, https://www.ionos.fr/digitalguide/sites-internet/developpement-web/hachage/ au 14/08/2024.

Kpossou N.H. (2017). Mémoire académique, https://fr.scribd.com/document/629953166/2017-KpossouNinon-Houndji-pdf au 18/11/2024.

Larousse (2024). Blockchain : définition, https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/blockchain/188331 au 10/08/2024.

LeMagIT (2024). La Preuve de Travail dans la blockchain, https://www.lemagit.fr/conseil/Blockchain-bien-comprendre-le-fonctionnement-de-la-Preuve-de-Travail au 14/08/2024.

Moralis (2024). Guide Remix IDE, https://developers.moralis.com/remix-explained-what-is-remix/ au 21/08/2024.

Nebula (2024). DNA Sequencing Technology, https://nebula.org/whole-genome-sequencing-dna-test/ au 18/08/2024.

TicSanté (2024). Solution PassCare, https://www.ticsante.com/story?ID=4684 au 18/08/2024.

Tuleap (2024). Méthode Agile Scrum, https://www.tuleap.org/fr/agile/comprendre-methode-agile-scrum-10-minutes au 18/08/2024.

Vice (2024). Histoire de la blockchain, https://www.vice.com/fr/article/la-plus-vieille-blockchain-du-monde-se-cache-dans-le-new-york-times-depuis-1995/ au 10/08/2024.

Table des matières

Dédicace ii

Remerciements iii

Résumé iv

. iv

Abstract iv

. iv

Liste des figures v

Liste des sigles vii

Introduction 1

1 Revue de littérature 4

Introduction 4

1.1 Présentation de la technologie Blockchain 4

1.1.1 Définition 4

1.1.2 Historique de la Blockchain 5

1.1.3 Caractéristiques principales de la technologie Blockchain 5

1.1.4 Les modèles de la Blockchain 6

1.1.4.1 Comparaison entre les modèles de la Blockchain 7

1.1.5 Fonctionnement de la blockchain 8

1.1.5.1 Hachage 10

1.2 Émergence et adoption de la Blockchain au Bénin 11

1.2.1 Écosystème des cryptomonnaies et solutions blockchain 11

1.2.2 Applications blockchain dans le secteur sanitaire 12

1.2.2.1 État de l'art des solutions blockchain en santé 12

1.2.2.2 État des lieux du secteur sanitaire béninois face à la blockchain 13

1.3 Analyse comparative et justification de la nouvelle approche 13

2 Conception de l'Application 15

Introduction 15

2.1 Choix techniques 15

2.1.1 Méthodologie de gestion du projet 15

2.1.2 Technologies utilisées 16

2.1.2.1 Technologie pour la rédaction des contrats intelligents 16

2.1.2.2 Technologie pour le deploiement des contrats 16
2.1.2.3 Technologie pour le Frontend 17
2.1.2.4 Technologie pour les interactions blockchain-frontend 17
2.1.3 Environnement de développement 17
2.2 Conception 19
2.2.1 Étapes de développement 19
2.2.1.1 Idéation et Modélisation 19
2.2.1.2 Design UX/UI 24
2.2.1.3 Développement de Smart Contrat 25
2.2.1.4 Tests et Deploiement 26
Conclusion 29

3 Présentation de la solution **30**
Introduction 30
3.1 Interfaces de l'application 30
3.2 Limites de l'application 36
Conclusion 37

Table des matières **40**