

2018-2019

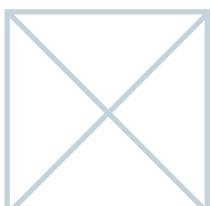
UFR Sciences pharmaceutiques et ingénierie de la santé  
Spécialité Industrie

# **En quoi l'intelligence artificielle peut-elle favoriser l'Empowerment du patient ?**

**PASKO Mathilde**

**Sous la direction de Mme. Hoffnung Hélène  
et M. Lagarce Frédéric**

Membres du jury  
Faure Sébastien |  
Vicens Agnès |  
Balgin Isabelle |



Soutenu publiquement le :  
14 Janvier 2020



**L'auteur du présent document vous autorise à le partager, reproduire, distribuer et communiquer selon les conditions suivantes :**



- Vous devez le citer en l'attribuant de la manière indiquée par l'auteur (mais pas d'une manière qui suggérerait qu'il approuve votre utilisation de l'œuvre).
- Vous n'avez pas le droit d'utiliser ce document à des fins commerciales.
- Vous n'avez pas le droit de le modifier, de le transformer ou de l'adapter.

**Consulter la licence creative commons complète en français :**  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr/>

**Ces conditions d'utilisation (attribution, pas d'utilisation commerciale, pas de modification) sont symbolisées par les icônes positionnées en pied de page.**





# REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je tiens à remercier tout particulièrement,

Le Professeur Monsieur Frédéric Lagarce, mon directeur de thèse et doyen de la faculté de pharmacie d'Angers, qui a eu la gentillesse de m'accompagner tout au long de ce travail de thèse. Merci pour vos conseils avisés et le temps que vous m'avez consacré.

Madame Hélène Hoffnung, ma maître de stage, directrice de thèse et global brand lead chez Sanofi, pour m'avoir si gentiment accueillie au sein de l'équipe Established Products au cours de ces neuf derniers mois. Merci de m'avoir partagé ses connaissances, son professionnalisme et son humanité. Merci d'avoir cru en moi, de m'avoir accompagnée tout au long de cette expérience, de m'avoir formée et mise en avant de la sorte. Ce stage enrichissant d'un point de vue professionnel le fût encore plus d'un point de vue humain allant bien au-delà de tout ce que je pouvais espérer lors de mes premiers pas dans l'entreprise. Merci pour ces heures de discussions, de conseils et d'écoute que je n'oublierai pas.

Monsieur le Professeur Sébastien Faure, d'avoir si spontanément accepté la présidence de cette thèse. Votre présence me touche profondément.

Madame Agnès Vicens, Directeur des projets transversaux monde des produits matures chez Sanofi, pour m'avoir offert cette magnifique opportunité. Merci d'avoir montré tant de bienveillance et de délicatesse à mon égard, qui ont jalonné chaque étape de cette aventure Sanofi. Merci également d'avoir accepté d'être membre de ce jury.

Madame le Professeur Isabelle Baglin. Merci pour votre présence tout au long de mon parcours universitaire. Vous avez su trouver les mots justes et trouver les solutions adéquates en toutes circonstances. Je suis particulièrement fière de pouvoir vous compter comme membre de ce jury.

Madame Florence Gouin, ma seconde accompagnatrice et global brand lead chez Sanofi, pour m'avoir fait profiter de son expérience sur des sujets complexes. Un modèle d'endurance qui porte fièrement ses convictions malgré vents et marées.

Monsieur Ludovic Oudet, Head of Targeted Brand Established Product, de m'avoir donné ma chance et intégrée au sein de son équipe. Sanofi a de la chance de pouvoir compter sur des managers qui ont le courage de se battre de la sorte pour leurs équipes avec tant d'humanité.

Monsieur Emmanuel Bilbos, Monsieur Géry Pruvost, Monsieur Benoît Brouard, Monsieur Fabien Astic de m'avoir chacun accordé de leur temps pour répondre à mes questions au cours d'interviews. Merci de m'avoir partagé votre vision professionnelle et votre regard sur le monde de l'intelligence artificielle qui a su enrichir ce travail.

Mes parents, pour m'avoir soutenue tout au long de ces années d'étude et depuis bien plus longtemps encore, de m'avoir témoigné de leur amour sans limite et leur soutien. Merci de m'avoir appris à croire en moi et oser croire en l'impossible.

Alice et Henri pour leur soutien indéfectible et leur présence irremplaçable. Nous, le trio inséparable. Je tiens à leur témoigner tendrement tout mon amour de grande sœur.

# REMERCIEMENTS

Mes fidèles amis, Juliette, Lauranne, Jeanne, Louis, Victoire, Charles, Inès, Hugues, Clara, Louis, Victor, Bertille, Hortense, Mathilde, Valentin, Flavien, vous tenez tous à votre manière une place dans mon cœur, merci d'avoir fait de ces années de jeunesse des années inoubliables. Je souhaite que cette amitié perdure de nombreuses et belles années encore

Mes amis de la faculté, Clémence, Fanny, Corentin, Victor, Mégane, Aude, Pauline et tous les autres, merci pour ces six années de complicité inoubliables, la pharmacie a encore de belles années devant elle.

Mes amis de l'ESCP, Nos Régions ont du Talent, Salomé, Jeanne, Ophélie, Marion, Emma, Théo, Paul, de m'avoir permis de vivre ma meilleure vie, un incroyable condensé d'amitié dont la force ne laisse personne indifférent. Je souhaite que cette merveilleuse aventure des lumières parisiennes aux bars londoniens, du haut des grattes ciels singapouriens aux fonds des campagnes vietnamiennes ne soit que le fabuleux commencement d'une très longue série à venir.

Monsieur Jean Le Tollec, merci d'avoir veillé sur nos études et notre faculté. Nous ne t'oubliions pas.

# Sommaire

<b>Sommaire .....</b>	<b>1</b>
<b>Liste des figures .....</b>	<b>5</b>
<b>Liste des abréviations .....</b>	<b>6</b>
<b>En quoi l'intelligence artificielle peut-elle favoriser l'Empowerment du patient .....</b>	<b>7</b>
<b>    Introduction .....</b>	<b>7</b>
<b>    1. Qu'est-ce que l'intelligence artificielle .....</b>	<b>11</b>
1.1. Histoire et évolution .....	11
1.2. Définition de l'intelligence artificielle .....	13
1.3. Le réseau de neurones, comparaison des neurones biologiques et des neurones artificiels .....	19
1.4. De la théorie à l'application, exemples d'applications utilisant l'intelligence artificielle.....	26
1.5. Chiffres clés .....	31
<b>    2. Le système de soin français .....</b>	<b>33</b>
2.1. Ses origines .....	33
2.2. Sa fondation .....	35
2.3. Son fonctionnement général.....	37
2.4. Constat actuel et limites.....	39
<b>    3. L'intelligence artificielle en réponse aux limites de l'Assurance maladie : l'Empowerment du patient .....</b>	<b>45</b>
3.1. Réduire l'inégalité d'accès aux soins : collecte des données patients à distance pour faciliter le diagnostic à domicile .....	45
3.2. Autonomiser les patients .....	47
3.3. Population vieillissante et dépendante, machine learning pour prolonger la durée de vie au domicile de la personne fragile .....	65
3.4. Attribuer le bon médicament au bon patient, le machine learning.....	70
3.5. Prévention des comportements et environnements à risque, reconnaissance visuelle et machine learning.....	73
3.6. Empowerment du patient.....	76
3.7. Les limites de la technologie .....	79
<b>    Conclusion .....</b>	<b>83</b>
<b>    Bibliographie .....</b>	<b>86</b>
<b>    Annexes.....</b>	<b>90</b>
<b>    Table des matières.....</b>	<b>106</b>
<b>    Résumé .....</b>	<b>109</b>



## Liste des figures

Figure 1 : Représentation schématique des sous-catégories d'apprentissage automatique .....	16
Figure 2 : Structure d'un neurone .....	20
Figure 3 : Comparaison d'un neurone biologique et d'un neurone artificiel .....	23
Figure 4 : Représentation des couches de neurones artificiels .....	24
Figure 5 : Schéma des capteurs retrouvés dans la voiture autonome .....	29
Figure 6 : Tableau de comparaison Système de Bismark et de Beveridge .....	35
Figure 7 : Schéma de représentation des branches de la Sécurité Sociale.....	38
Figure 8 : Kit d'accessoires inclus dans la formule TytoCare™ .....	46
Figure 9 : Présentation de la montre connectée K'Watch Glucose et son application mobile .....	50
Figure 10 : Présentation de l'application Hillo prédisant les variations de glycémie à 2 heures .....	52
Figure 11 : Présentation de l'agent conversationnel Vik .....	57
Figure 12 : Présentation de l'application Médicus AI pour les patients.....	62
Figure 13 : Courbe de projection d'évolution de la population de plus de 75 ans entre 2015 et 2050.....	66
Figure 14 : Schéma de fonctionnement de la solution Télégraphik.....	68
Figure 15 : Présentation de l'application Foodvisor.....	75

## Liste des abréviations

ALD : Affection de Longue Durée

AMI : Acte Pratiqué par l'Infirmier

ANSM : Agence Nationale de Sécurité du Médicament et des produits de santé

CMU : Couverture Maladie Universelle

DPI : Dossier Patient Informatisé

EHPAS : Etablissement d'Hébergement pour les Personnes Agées Dépendantes

GAFAM : Google Amazon Facebook Apple Microsoft

IA : Intelligence Artificielle

NLP : Natural Language Processing

NGAP : Nomenclature Générale des Actes Professionnels

OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Economique

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ONDAM : Objectif National de Dépenses d'Assurance Maladie

PDG : Président Directeur Général

PIB : Produit Intérieur Brut

SIH : Système d'Information Hospitalier

TALN : Traitement Automatique du Langage Naturel

TIC : Technologies de l'Information et de la Communication

UNCAM : Union Nationale des Caisses d'Assurance Maladie

# En quoi l'intelligence artificielle peut-elle favoriser l'Empowerment du patient

## Introduction

Depuis quelques années, l'intelligence artificielle (IA) s'immisce de manière récurrente dans tous les sujets d'actualité. S'il est une certitude, la décennie qui s'annonce promet une révolution technologique, certains parlent même de quatrième révolution industrielle. Pas un seul métier, pas un seul aspect de nos vies, pas un seul être humain ne sera épargné par cette avalanche massive de technologies qui affleure d'ors et déjà dans notre quotidien.

Le smartphone greffé à la main, ces nouvelles technologies s'imposent en maître en nous offrant une porte ouverte inépuisable sur le monde et la connaissance, et ceci n'est que le début de leur ascension.

Le domaine de la santé ne fait déjà plus exception à la règle. Réel outil d'assistance et partenaire, du cabinet médical à la pharmacie, du diagnostic à l'accompagnement du patient, de la recherche de molécules à la délivrance du médicament ; le monde de la santé se trouve face à un nouveau défi. Ces nouvelles approches sont connues sous le nom générique de e-santé.

Avant d'aborder le sujet de l'intelligence artificielle dans le domaine spécifique de la santé, il convient de définir l'environnement dans lequel s'appliquent ces technologies faisant intervenir l'intelligence artificielle, communément regroupées sous le terme de "e-santé".

### Définition de la e-santé

Bien que les définitions de la e-santé soient nombreuses, nous pourrions retenir la définition proposée par la Commission Européenne : la e-santé (ou e-health en Anglais), également connue sous le nom de Santé Numérique, fait référence à « l'application des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) à l'ensemble des activités en rapport avec la santé » (1)

De son côté, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) définit la santé numérique comme « les services du numérique au service du bien-être de la personne » et, plus spécifiquement, comme « l'utilisation des outils de production, de transmission, de gestion et de partage d'informations numérisées au bénéfice des pratiques tant médicales que médico-sociales ».

## **Présentation de la e-santé**

Engagées dès 2012, les stratégies de numérisation de la santé encouragent le système de santé français à entrer pleinement dans l'air de la médecine digitale grâce à une réelle politique de santé publique. (2)

La e-santé regroupe aujourd’hui trois domaines d’application majeurs : les systèmes d’information en santé, la télémédecine et la télé santé. (1)

Les systèmes d’information offrent la possibilité d’échanger et communiquer des informations de santé du patient en temps réel pour une prise en charge plus globalisée et multidisciplinaire entre les professionnels de santé. Ces systèmes sont essentiellement appliqués dans des établissements de santé, comme le Système d’Information Hospitalier (SIH), ou le Dossier Patient Informatisé (DPI).

La télémédecine quant à elle propose des soins, consultations et avis médicaux à distance. Ces pratiques sont réglementées et encadrées par la loi 2009-879 du 21 juillet 2009 portant réforme de l’hôpital et relative aux patients, à la santé et aux territoires (3). Cette loi impose entre autres la présence d’un médecin au cours de l’une de ces activités. La télémédecine regroupe aujourd’hui 5 catégories d’actes médicaux (4) :

- La téléconsultation : consultation à distance
- La téléexpertise : sollicitation par un médecin d’un avis d’expert
- La télésurveillance : interprétation à distance de données de suivi médical
- La téléassistance : un professionnel de santé assiste à distance un confrère au cours de la réalisation d’un acte médical
- La régulation médicale : appel téléphonique vers le centre du S.A.M.U. (le 15).

Enfin, la télésanté s'est développée autour d'un panel de services de suivi et de prévention à destination du grand public. Le bien-être étant au centre de cette catégorie, on y retrouve des objets connectés, des applications mobiles, des plateformes web d'information ...

La panoplie de services proposés par la e-santé permet à tous les acteurs de la santé de profiter de solutions technologiques pour faciliter, améliorer et cibler des objectifs quotidiens à plus ou moins long terme. Le public ciblé est très varié (1) :

- Le grand public, à qui on destine la m-santé (m pour mobile). On y compte de nombreuses applications de santé mobile, site web, objets connectés, différents portails d'informations de santé ...
- Les établissements de santé et les professionnels de santé ont accès à une large gamme de dispositifs technologiques tels que des SIH internes, des systèmes d'informations partagées ou des systèmes d'informations embarqués pour des organismes tels que le SAMU.
- Assurances, régulateurs publics et industriels. De nombreuses solutions comme des outils de gestion de la relation clients génèrent l'émergence de masses de données qui nécessitent d'être collectées, stockées puis analysées avant d'être exploitées lorsque le contexte réglementaire l'autorise. Ces données sont à disposition des professionnels qui gravitent autour du monde de la santé.

La e-santé, grâce à son accessibilité et son universalité, se présente aujourd'hui comme une solution pertinente pour répondre aux défis auxquels fait face le système de santé français. Le vieillissement de la population, l'accroissement du nombre de maladies chroniques, l'augmentation de la demande de soin ou encore les déserts médicaux. (4)

L'environnement de la santé ayant rapidement et fortement évolué, la e-santé semble s'imposer comme une des solutions évidentes en alliant efficacité et qualité de soins à la maîtrise des dépenses et en replaçant le patient au cœur du système de santé. Longtemps reléguée au plan secondaire en France, depuis une quinzaine d'années, nous voyons apparaître des phases d'expérimentation autour de la e-santé sur notre territoire. Ce déploiement, complexe à mettre en œuvre, nécessite de repenser l'organisation globale du système de santé avec des locaux adaptés et des moyens financiers en conséquence (5) qui font l'objet d'investissements à la fois financiers et humains.

Afin de mesurer l'ampleur de ce phénomène, voici quelques chiffres qui rendent compte de l'état actuel du marché de la e-santé et les prévisions pour les prochaines années.

Si le marché français de la santé connectée était estimé à 2,7 milliards d'euros en 2014 ; en 2020 ce même marché pourrait atteindre 4 milliards d'euros. (6)

Cette croissance est également observée dans le domaine du partage des données patient. En effet 70% des établissements de santé français partagent actuellement leurs données en interne afin d'améliorer les protocoles de soin et les résultats cliniques. De plus, 78% des Français s'estiment favorables au partage de leurs données de santé entre leurs différents professionnels par lesquels ils sont suivis. (6)

Le domaine de la santé connectée est très largement représenté par des appareils de santé connectés (montres, bracelets ou encore balances connectées). En 2016 à travers le monde, 73 millions d'appareils étaient recensés. Les prévisions pour 2020 annoncent 161 millions d'unité en circulation. (6).

Cependant, seulement 17% des Français avouent utiliser au moins une application de santé.

(6) Il y a donc encore de nombreuses opportunités à saisir avant de toucher la totalité de la population.

Dans tous les domaines de la e-santé, les voyants économiques sont au vert et annoncent un avenir prometteur. C'est au tour de l'ensemble du monde de la santé de proposer des solutions adéquates qui répondent à cette demande qui, au-delà de nos frontières françaises, est également une attente mondiale en pleine explosion.

Pour comprendre comment l'intelligence artificielle trouve sa place au sein de cet univers de la santé numérique, nous allons la définir et présenter certaines entreprises qui font appel à cette technologie. Puis nous étudierons le système de santé français, ses particularités et ses limites actuelles. Ces études nous permettront de comprendre comment l'intelligence artificielle peut répondre aujourd'hui aux problématiques de santé en France. En particulier par le biais de l'empowerment du patient, ce nouveau concept traduit par l'expression « autonomisation » qui symbolise la prise de pouvoir par le patient dans la gestion de sa pathologie.

# 1. Qu'est-ce que l'intelligence artificielle

## 1.1. Histoire et évolution

### 1.1.1. Les années 40, émergence d'idées

L'idée d'intelligence artificielle n'est pas un concept nouveau et intéresse les scientifiques depuis de nombreuses décennies.

Dès les années 1940, le mathématicien Norbert Weiner tente de reproduire le fonctionnement de l'esprit humain en le modélisant à l'image d'une boîte noire. Le résultat n'est pas concluant, mais les chercheurs comprennent qu'il ne faut pas se pencher sur l'esprit mais sur les neurones, ce concept sera à l'origine de tous les suivants. (7)

Ainsi émerge dans les années 40, deux approches complémentaires de cette nouvelle science :

- Le connexionnisme, McCulloch et Pitts tentent de transposer le fonctionnement du cerveau humain dans une machine. Ils inventent le premier modèle mathématique de neurones artificiels connu sous le nom de « neurone formel ».
- Le cognitivisme, mis en avant par Hebb quelques années plus tard, dote les neurones formels d'une certaine forme de capacité à apprendre selon une conception mathématique et séquentielle de la rationalité. Les premières applications de ce modèle vont très rapidement voir le jour avec les traductions automatiques notamment du russe vers l'anglais et inversement, particulièrement utile en temps de Guerre Froide.

### 1.1.2. De 1950 à 1990, les prémisses d'une nouvelle science

A partir de 1950, les premiers algorithmes sur ordinateurs créés par les scientifiques, ont permis de mettre en place des optimisations de calculs scientifiques.

Dans les années 50, Alan Turing s'intéresse au monde informatique, ce célèbre mathématicien est connu pour avoir déchiffré les messages d'Enigma, machine allemande utilisée pendant la Seconde Guerre Mondiale. Turing, après avoir développé un langage informatique et mathématique, publie un article futuriste « Machine de calcul et intelligence » qui va lancer de nombreux débats au sein de la société de l'époque. Ce texte est considéré comme l'origine de l'intelligence artificielle. Il présente au public un nouvel ordinateur, réservé alors exclusivement à l'usage professionnel. La

presse, enthousiaste, s'empresse de nommer cette innovation « le cerveau électronique ». L'idée de ce projet est d'évaluer la capacité de la machine à tenir une conversation humaine.

L'expression « Intelligence Artificielle » fait son apparition en 1956, au cours de la conférence de Dartmouth qui définit cette discipline comme véritable domaine scientifique.

Au cours des années 60-70, une période nommée « Artificial Intelligence winter » ou « l'hiver de l'intelligence artificielle » met à mal l'évolution de l'intelligence artificielle dû à quelques promesses non tenues. En effet, les traductions proposées par la machine sont vivement critiquées par les linguistes, faute de justesse littéraire. En parallèle, le projet scientifique de mettre au point un ordinateur capable de battre un joueur d'échec dans les dix prochaines années n'aboutira que trente ans plus tard, dans les années 90. Les gouvernements baissent alors leurs subventions, préférant investir dans des idées plus susceptibles d'aboutir.

Avec l'avènement des années 80 et la guerre Russie-Afghanistan, les Etats-Unis réinvestissent dans le domaine de l'intelligence artificielle et du machine learning, cette capacité de la machine à apprendre seule, que nous détaillerons plus tard. Durant cette période, l'idée de remplacer l'Homme par la machine dans certains métiers notamment sur les actions en terrain de guerre commence à émerger.

### **1.1.3. Des années 1990 à nos jours, le développement fulgurant**

A l'aube des années 90, avec l'augmentation de la puissance de calculs des ordinateurs et l'évolution de la complexité du matériel, l'intelligence artificielle s'aventure dans de nouveaux domaines tels que le data mining (analyse des données des utilisateurs) ou les diagnostics médicaux. En 1997, la victoire de Deep Blue, machine créée par IBM, battant le champion du monde d'échec connaît un retentissement médiatique spectaculaire.

Arrivent les années 2000 avec l'avènement d'internet chez les particuliers, l'intelligence artificielle représente un réel enjeu de société. L'intelligence artificielle profite d'une vague de développement et d'un contexte favorable qui dure encore aujourd'hui. Trois ruptures ont permis cette explosion et l'entrée dans les foyers du monde entier :

- L'introduction d'algorithmes bien plus évolués que ce que nous connaissons auparavant offrant de nouvelles applications : les réseaux de neurones convolutifs

- Le matériel vendu au grand public à des coûts abordables devient capable de fournir d'énormes quantités de calculs
- L'évolution des bases de données, désormais annotées, coordonnées, rangées et donc utilisables permettent à la machine un apprentissage plus fin

Depuis une dizaine d'année, les GAFAM (Google, Amazon, Facebook, Apple, Microsoft), ces géants de l'internet et pionniers dans les nouvelles technologies, se lancent dans une course effrénée de développement d'outils du quotidien utilisant l'intelligence artificielle. En réunissant en temps réel des informations d'utilisateurs, en analysant leurs désirs et leurs habitudes, l'informatique est capable d'anticiper leurs demandes et proposer les produits et services dont l'utilisateur a exactement besoin.

La tendance actuelle ne cherche plus nécessairement à développer des grandes théories mais des applications concrètes ; généralement en s'inspirant et en imitant la nature. Non pas nécessairement l'être humain qui est le système le plus compliqué mais en imitant des systèmes de fourmis par exemple. (8)

Le décor étant maintenant planté, voyons ce que les scientifiques entendent par le mot "Intelligence Artificielle" et ce qu'il se cache derrière ce concept prometteur.

## 1.2. Définition de l'intelligence artificielle

Parmi la multitude de définitions proposées, nous pouvons retenir celle avancée par Jean-Claude Heudin, directeur du laboratoire de recherche de l'Institut de l'internet et du multimédia. Selon lui, l'intelligence artificielle « est une discipline scientifique et technologique qui consiste à mettre en œuvre un certain nombre de techniques visant à permettre aux machines [ordinateur et programme informatique] d'imiter une forme d'intelligence réelle. L'intelligence artificielle se retrouve implémentée dans un nombre grandissant de domaines d'application » : (8)

- la compréhension
- la communication
- la structuration de la mémoire
- le raisonnement critique
- l'adaptation
- l'apprentissage en autonomie

Selon les points de vue des scientifiques, il existe plusieurs méthodes pour classer les technologies utilisant l'intelligence artificielle. Deux grandes méthodes de classification se distinguent des autres.

La première classe les technologies en fonction de leur nature (conception de la technologie). La seconde les catégorise selon leur fonction (capacité et niveau d'évolution)

### **1.2.1. Les quatre types d'intelligence artificielle**

Selon le professeur Hintze, il existerait quatre différents types d'intelligence artificielle, qui se classent en fonction de leur nature. (9)

#### **1.2.1.1. La réactivité**

Ce stade initial est bien maîtrisé et répandu aujourd'hui. On considère que la machine est capable de percevoir le monde qui l'entoure et de réagir après analyse en fonction des situations. Cette technologie n'a pas de mémoire et ne peut donc pas utiliser les anciennes informations pour les actions à venir.

Exemple : le programme Deep Blue d'IBM® capable de supplanter le champion du monde d'échec.

#### **1.2.1.2. La mémoire limitée**

Dans cette catégorie, la machine utilise des expériences passées et s'en sert pour prendre des décisions en s'appuyant sur des représentations du monde. L'exemple le plus parlant est certainement celui de la voiture autonome. Les observations de l'environnement servent à anticiper les actions qui vont arriver dans un futur proche et la voiture s'adapte à la situation, grâce à une mémoire à court terme.

#### **1.2.1.3. La Théorie de l'esprit**

Ce niveau de développement n'est pas encore atteint. Nous pouvons imaginer que dans quelques années les robots seraient en mesure d'appréhender et classifier le monde qui les entoure mais également de comprendre et analyser les émotions de l'interlocuteur avec qui ils échangent de manière à s'adapter à chaque être humain.

#### **1.2.1.4. L'auto-conscience**

En étant consciente d'elle-même, la machine se rapprocherait indéniablement du fonctionnement de l'être humain. Cependant, n'étant actuellement pas capable de définir exactement le principe de conscience, nous ne sommes pas encore en mesure de doter la machine d'une telle avancée.

## 1.2.2. Intelligence artificielle forte ou faible

Cette seconde possibilité de classement des technologies dotées d'intelligence artificielle se fait de manière binaire selon leur fonction. Nous parlons ici d'intelligence artificielle faible ou forte. (9)

### 1.2.2.1. Intelligence artificielle faible

Dans le principe de l'intelligence artificielle faible, les machines atteignent un stade de développement ne leur permettant pas d'effectuer leur travail de manière totalement autonome. Une personne humaine reste nécessaire pour édifier et diriger ces machines. Cependant, la façon dont elles réalisent leurs tâches nous laissent croire à une forme d'intelligence. Exemple du jeu de Poker, où une machine bat l'être humain, alors que toutes les règles et les mouvements sont déjà instruits à la machine en amont. Ici chaque scenario possible a été implémenté.

### 1.2.2.2. Intelligence artificielle forte

L'intelligence artificielle forte peut penser et faire des tâches par elle-même comme un humain. Pour le moment, retrouvée seulement dans les histoires de science-fiction, il n'existe pas encore de réel exemple d'intelligence artificielle forte. Cependant quelques leaders de l'industrie assurent qu'ils seront bientôt capables de maîtriser cette technologie.

On peut dire que chaque faiblesse de l'intelligence artificielle faible permet de construire une intelligence artificielle forte.

## 1.2.3. Apprentissage automatique

Les personnes non initiées confondent souvent les termes d'intelligence artificielle, de machine learning et de deep learning. En réalité, ce sont des concepts différents imbriqués les uns dans les autres. Nous pourrions les représenter sous la forme de cercles concentriques, du plus général au plus spécialisé et développé :

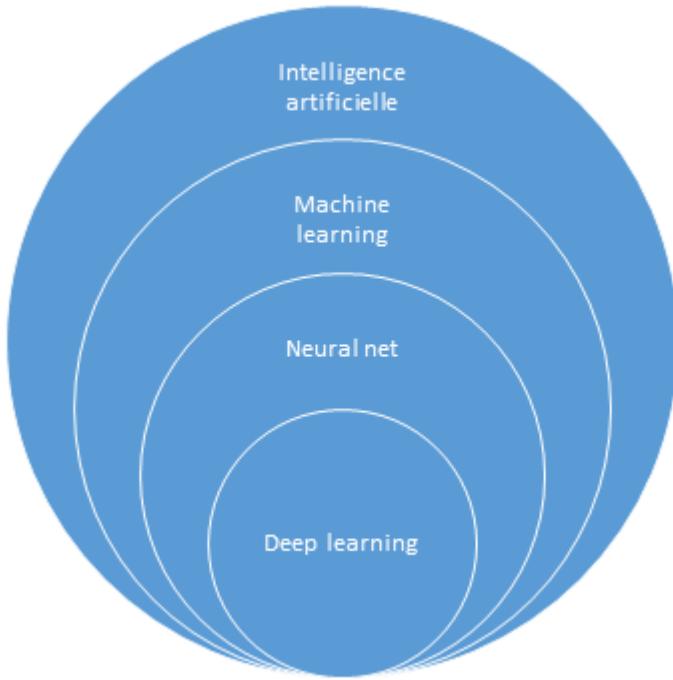


Figure 1 : Représentation schématique des sous-catégories d'apprentissage automatique (10)

#### 1.2.3.1. Machine learning

Cette technologie définit une cible. Les étapes pour l'atteindre sont apprises par la machine elle-même, par gain d'expérience. Par exemple, pour différencier deux objets tels qu'une pomme et une orange : la cible est atteinte non pas en spécifiant exactement les détails du premier objet puis du second, ou par codage. Mais comme nous le ferions pour un enfant, en montrant différentes photos pour ensuite permettre à la machine d'identifier les étapes qui permettront de différencier une pomme d'une orange, ceci grâce à une suite d'algorithmes et de calculs mathématiques. (9)

#### 1.2.3.2. Neural Net

Neural net (15) : essaie d'imiter un réseau de neurones humains et faire en sorte que les ordinateurs agissent comme des cellules de cerveau interconnectées, ainsi peuvent-elles apprendre et prendre des décisions à la manière d'un être humain. Le neural net n'est composé que de 3 couches de neurones

- Couche d'arrivée des données : les données entrent dans le système
- Couche masquée : les informations sont intégrées et traitées
- Couche de sortie : le système décide ce qu'il doit faire en fonction de la situation et de ce qu'il a appris auparavant.

Le neural net ou réseau de neurones peut réaliser des actions plus complexes. En superposant plusieurs couches cachées. Ainsi les informations avancent de couches en couches comme dans un cerveau humain.

### **1.2.3.3. Deep Learning**

Enfin, le deep learning (11) est la pointe de la technologie en matière d'intelligence artificielle actuellement. Etant une branche du machine learning il est basé, comme les deux classes précédentes, sur une succession d'algorithmes. On y retrouve également des couches de neurones artificiels. Ces dernières années, cette technologie est devenue de plus en plus populaire et on y compte de nombreuses applications dont la reconnaissance visuelle, la reconnaissance vocale ou encore le traitement automatique du langage que nous détaillerons ci-après.

Le principal avantage du deep learning (12) est d'avoir un système complètement autonome. Aucun humain n'est nécessaire pour rentrer les données initiales manuellement. Les algorithmes sont suffisamment puissants pour apprendre de manière totalement autonome : ce que nous appelons de l'intelligence artificielle non-supervisée ou semi-supervisée. Contrairement à l'intelligence artificielle supervisée dans laquelle intervient l'homme pour rentrer des données initiales.

Le nombre de couches neuronales est toujours égal à trois, mais les nœuds qui relient les neurones des couches de sortie ont la même structure que les nœuds des couches d'entrée. Ce qui signifie que les data peuvent être réorganisées après des calculs compliqués et permettant à l'algorithme d'apprendre seul et plus rapidement. Ces structures s'organisent ensuite pour former des réseaux neuronaux, les rendant plus efficaces, précises et fiables encore.

Le deep learning va plus loin que le machine learning : le machine learning reconnaît deux objets, le deep learning lui reconnaît les deux objets mais est aussi capable d'utiliser cette information pour en analyser le contenu, la mettre en relation avec une information, extraire les données intéressantes, les présenter à l'utilisateur d'une manière compréhensible.

Voici quelques applications dans lesquelles on retrouve la technologie du deep learning.

#### **1.2.3.3.1. Traitement Automatique de Langage Naturel**

De manière très simple, le Traitement Automatique du Langage Naturel (TALN) ou Natural Language Processing (NLP) en anglais, est la capacité d'un programme à comprendre le langage

humain. Ces techniques informatiques analysent des textes (écrits ou vocaux) dans le but d'atteindre un langage proche de l'humain pour toute une gamme de tâches et d'applications. (13)

En fonction des technologies utilisées et des performances offertes, voici les applications qui émergent du TALN :

- l'analyse de texte
- la génération de langage naturel
- la reconnaissance vocale et l'agent virtuel

### L'analyse de texte

L'analyse de texte (ou en anglais text analytic ou le text mining) est un processus utilisé pour examiner une grande collection de documents afin de mettre en lumière des informations ou pour répondre à des questions spécifiques. L'analyse de texte identifie les relations et les postulats qui auraient été noyés dans la masse de textes analysés. Une fois extraite, cette information est convertie dans un format qui lui permettra d'être utilisée à bon escient (tableau, graphiques).

Cette technologie fonctionne seulement sur des textes, donc à partir de supports écrits et non oraux. (14)

### La génération de langage naturel

La génération de langage naturel (ou natural language generation) est un programme informatique qui transforme automatiquement des données en un texte dans la langue souhaitée. Cette technologie peut raconter une histoire, exactement comme le ferait l'intelligence humaine, en écrivant des phrases, des paragraphes ... (15)

### La reconnaissance vocale et agent virtuel

La reconnaissance vocale, "speech recognition" en anglais est la capacité d'un outil de comprendre et répondre à une commande vocale. Cette technologie offre le contrôle de divers appareils et équipements, des traductions instantanées ou des transcriptions de textes parlés en textes écrits prêts à être envoyés ou imprimés. La reconnaissance de discours est utilisée par des entreprises comme Apple® et son agent virtuel Siri® ou Amazon® et son assistant Alexa®.

Le microphone de l'appareil traduit les vibrations issues de la voix de l'utilisateur en signal électrique, qui sont ensuite retranscrits en mots. Les mots assemblés construisent des phrases. Le système est capable de se corriger pour éviter les non-sens venant de mots dont la prononciation est proche. (16)

#### **1.2.3.3.2. Résolution de problèmes combinatoires**

L'informatique est désormais capable de répondre à des problèmes par lui-même, la seule action de l'utilisateur est de rentrer les données du problème. L'ordinateur résout ensuite seul le problème sans intervention humaine. L'une des applications phare est l'aide à la décision. Les domaines d'application sont larges : finance, banque ou encore informatique. Le système est capable de prendre la décision la plus adaptée après analyse de l'ensemble de l'environnement (contexte, risques ...) beaucoup plus rapidement que l'humain avec une précision décuplée.

## 1.3. Le réseau de neurones, comparaison des neurones biologiques et des neurones artificiels

Comme évoqué précédemment, les neurones sont les unités de base de l'apprentissage par l'expérience dans tout système faisant intervenir un part d'intelligence artificielle. Au cours de l'histoire, les neurones artificiels ont été développés en calquant l'organisation et le fonctionnement des neurones biologiques. Ceci explique aisément que leurs comportements soient similaires. Pour mieux comprendre la manière dont ces derniers fonctionnent, nous allons étudier dans un premier temps les neurones biologiques puis dans un second temps les neurones artificiels. (17)

### 1.3.1. Les neurones biologiques

#### 1.3.1.1. Rappels anatomiques

Dans le corps humain, le nombre de neurones est estimé à cent milliards. Malgré des fonctions différentes, les neurones ont une organisation générale et un système biochimique commun. Chacun d'entre eux est amené à effectuer cinq fonctions spécialisées au sein du corps humain (17) :

- Réception de signaux issus de neurones voisins
- Intégration des signaux
- Création d'un influx nerveux
- Conduction de l'influx nerveux
- Transmission à un neurone suivant capable de recevoir ce message

Chaque neurone est composé de trois parties :

- Le corps cellulaire : assure la survie du neurone grâce à la présence du noyau cellulaire.
- Les dendrites : ces fines extensions tubulaires permettent de relier les neurones les uns aux autres. Par ces structures, le neurone reçoit les messages envoyés par les neurones voisins.
- L'axone : réel moyen de transport de l'information, il permet d'envoyer des signaux aux neurones environnants.



Figure 2 : Structure d'un neurone (18)

Afin de former des réseaux, les neurones sont connectés les uns aux autres selon une répartition spatiale définie mais non moins complexe. L'espace de connexion entre deux neurones est connu sous le nom de synapse.

### 1.3.1.2. Passage de l'information

Toute action émise par le neurone est issue généralement de sa membrane. Ainsi la membrane externe sert (17) :

- A la propagation des impulsions électriques au long de l'axone et des dendrites.
- A la libération de médiateurs à l'extrémité de l'axone
- A la réception des médiateurs à l'extrémité des dendrites
- A la réaction aux influx électriques dans le corps cellulaire
- A la reconnaissance d'un neurone par un second pour se situer dans le cycle de l'influx nerveux.

Voici le chemin parcouru par l'information tout au long du neurone :

La création de l'influx nerveux : les dendrites reçoivent puis transmettent à la membrane un message d'activation. Grâce à l'ouverture des pompes à ions présents sur la membrane, un déplacement d'ions entre l'extérieur et l'intérieur du neurone se crée. Nous voyons apparaître un potentiel d'action électrique dans le corps cellulaire. L'information circulant au travers des neurones est codée en fréquence.

La propagation de l'influx nerveux : au-delà d'un certain seuil électrique, l'influx nerveux généré par le corps cellulaire est transmis à l'axone par un mécanisme de pompes à ions et de canaux retrouvés

dans la membrane de l'axone, toujours grâce à cette différence de potentiel entre le milieu extérieur et le milieu intérieur.

Réception de l'influx nerveux par les dendrites : une fois le potentiel d'action arrivé à l'extrémité de l'axone, le message est envoyé à travers la synapse jusqu'à la dendrite du neurone suivant au moyen de médiateurs chimiques présents dans la synapse, créant un nouveau potentiel d'action. Ce dernier se propage depuis la dendrite jusqu'au corps cellulaire du neurone suivant pour un nouveau cycle.

#### **1.3.1.3. Organisation de l'information**

Les neurones sont répartis en couches superposées de neurones à l'intérieur ou en surface du cerveau. Cette organisation permet au cerveau de traiter des informations auditives, visuelles, de réagir en cas de danger ou de prendre des décisions et de nombreuses autres actions toutes aussi variées (17).

#### **1.3.1.4. Principe de l'apprentissage biologique**

Comme nous l'avons mentionné précédemment, l'influx nerveux circulant dans les neurones est codé en fréquence. Autrement dit, l'information est traduite par un nombre de potentiels d'action par seconde (fréquence) et des variations de fréquence qui codent les signaux transmis.

Au sein d'un groupement de neurones, les variations d'amplitude sont relativement faibles. En modifiant les amplitudes des signaux d'entrée dans les neurones du cortex, on favorise l'apprentissage du cerveau.

Un signal d'action seul n'engendre aucune réponse. C'est l'association des signaux qui rend une action possible en créant un effet excitateur ou inhibiteur en fonction du message.

De même, un neurone isolé ne stocke pas l'information. Les groupes de neurones se structurent entre eux créant ainsi une architecture de connexion qui au fur et à mesure de répétitions de situations offre une réponse plus rapide et plus adaptée : c'est ce que nous appelons l'apprentissage par l'expérience (17).

#### **1.3.1.5. Des modèles d'adaptation simples entre deux neurones**

De simples expériences prouvent que l'organisation des neurones est flexible et adaptable dans l'espace et dans le temps. Certaines connexions diminuent ou augmentent l'efficacité de la réponse. En se réorganisant, il est possible que certaines connexions apparaissent ou disparaissent.

*Le phénomène d'habituation* : un neurone sensoriel est activé par stimulations répétées. La réaction du corps humain devient de plus en plus faible jusqu'à devenir nulle.

De manière opposée, le *phénomène de sensibilisation*, en répétant une action traumatisante ou dangereuse pour le corps, ce dernier réagit de plus en plus efficacement et de plus en plus rapidement.

Les expériences d'habituation et la sensibilisation prouvent la capacité d'un organisme vivant à s'adapter à son environnement. L'étude des neurones biologiques nous a permis de comprendre une des fonctions essentielles de l'être humain, l'apprentissage. Etudions maintenant la manière dont fonctionnent les neurones artificiels pour parvenir à cette capacité d'apprentissage.

### 1.3.2. Les neurones artificiels

Le neurone artificiel, aussi connu sous le nom de neurone formel a été développé à partir d'algorithmes mathématiques calqués sur le schéma de fonctionnement des neurones biologiques. Il n'est donc pas étonnant que nous retrouvions des similitudes entre les deux modèles (19).

#### 1.3.2.1. Description du système

Nous pouvons dire que le modèle neuronique est caractérisé par sept modules :

- Un ensemble d'unités de traitement, que nous pourrions comparer au corps cellulaire d'un neurone biologique
- Une fonction de sortie pour chaque unité de traitement, facilement assimilable à l'axone d'un neurone biologique
- Un réseau de connexions reliant les différentes unités de traitement, dont la fonction est identique aux dendrites d'un neurone biologique
- Un état d'activation
- Une règle d'activation des unités de traitement, lorsque l'influx dépasse un certain seuil
- Une règle de propagation à travers le réseau de connectivité
- Une règle d'apprentissage modifiant le réseau de connectivité en fonction de l'expérience

Le mode de fonctionnement est donc le même qu'un neurone biologique puisque toutes les composantes d'un neurone biologique sont présentes. Voici la manière dont nous pourrions le représenter :

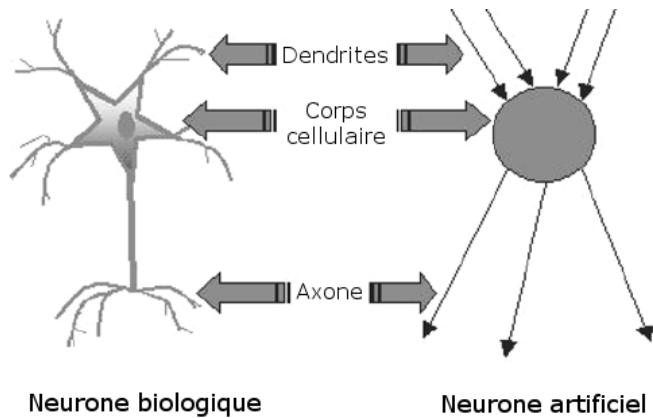


Figure 3 : Comparaison d'un neurone biologique et d'un neurone artificiel (20)

Comme nous l'avons évoqué, de nombreuses équations mathématiques modélisent les fonctionnements biologiques et artificiels des neurones, c'est à partir de ces équations qu'ont été formés les tous premiers neurones artificiels. Cependant, nous ne développerons pas ce point car l'objet de la thèse de réside pas dans l'explication de ces modèles mathématiques (19).

#### 1.3.2.2. Traitement des données

Dans ce modèle de neurones artificiels, chaque unité de traitement est représentée par un neurone. En effet, une unité neuronale a la capacité d'effectuer une tâche simple, segmentée en quatre étapes : recevoir un signal envoyé par les unités précédentes, l'analyser, le traduire puis le transmettre aux unités suivantes.

Les neurones regroupés sont ensuite reliés entre eux puis organisés en couches superposées. Différents types de neurones sont connectés, ils sont classés en trois catégories en fonction de leur position dans le système :

- *La couche de neurones d'entrée (input layer)* : en contact avec le monde extérieur, les neurones captent les informations extérieures et les transmettent aux neurones suivants

- *La couche de neurones cachés* (hidden layer): entièrement cachés à l'intérieur au système, les neurones conduisent l'information, la trient et l'analysent.
- *La couche de neurones de sortie* (output layer) : ces neurones sont à la fin de la chaîne de transmission et assurent la sortie des informations vers le monde extérieur.

De manière générale, plus le nombre de couches est élevé, plus le système est évolué et permet de réaliser des tâches complexes (19).

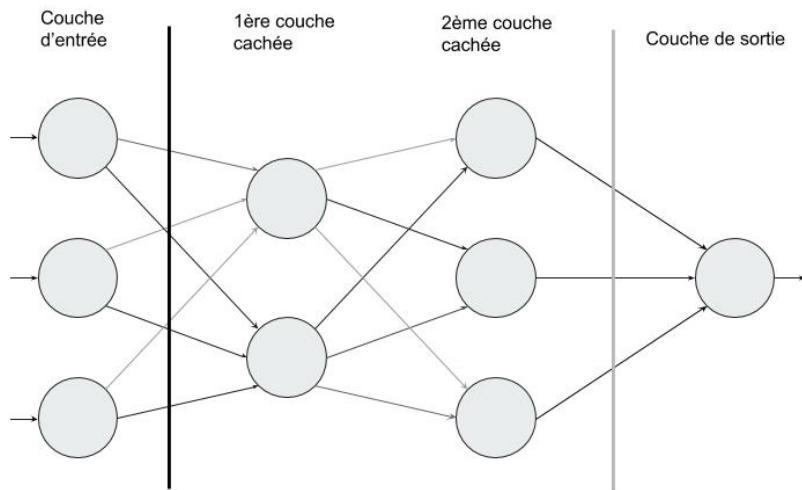


Figure 4 : Représentation des couches de neurones artificiels (20)

### 1.3.2.3. Les règles d'apprentissage

Le système neuronal s'appuie sur trois familles d'apprentissage en fonction de la nature des informations à intégrer et de la finalité : (13)

- *L'apprentissage supervisé* : nécessite d'avoir un modèle initial à atteindre, appelé exemples ou patrons. Les informations entrent dans le système, **grâce à l'intervention humaine**. Des personnes entrent des données dans le système puis ces données ressortent. A la sortie, les informations obtenues présentent une part d'erreur comparée au patron. Le calcul de l'erreur permet de réaliser l'adaptation.
- *L'apprentissage semi-supervisé ou par renforcement* : dans ce système, seulement deux mesures existent, « réussite » ou « échec », il n'existe pas d'adaptation comme dans le modèle précédent, et **une partie des données est entrée par intervention humaine**.

- *L'apprentissage non supervisé.* Dans ce modèle, il n'y a pas de réponse désirée initiale. **Par analyse d'une grande masse de données sans intervention humaine**, le système les classe et crée des liens et organise les données. Ce système peut être utilisé pour créer des regroupements de données selon des propriétés communes par exemple.

Tout comme dans le système biologique, les réseaux de neurones formels sont modulables. Les règles d'apprentissage sont basées sur le nombre et la structure des connexions capables de se modifier au cours du temps en fonction des besoins du système. Il existe trois types de modifications : la création de connexions nouvelles, la suppression de connexions anciennes inutilisées et enfin la modification de la force de connexion

Comme dans le cerveau humain, ces neurones artificiels présentent trois caractéristiques :

*Le parallélisme* : chaque neurone travaille en parallèle et simultanément ce qui engendre une rapidité et une puissance de calcul que d'autre modèle (tel que le modèle séquentiel) ne peuvent atteindre.

*La capacité d'adaptation* : en intégrant de nouvelles données et de nouvelles contraintes issues du monde extérieur, le modèle est capable de s'adapter grâce à l'apprentissage. Certains réseaux sont capables de s'organiser eux-mêmes, assurant ainsi leur propre stabilité.

*La capacité de généralisation* : par l'expérience et la répétition, ces réseaux sont capables de définir des règles sous-jacentes à une situation donnée permettant de réduire au fur et à mesure de l'utilisation les erreurs de la machine.

Après avoir défini le concept d'intelligence artificielle, nous allons nous intéresser à des exemples concrets qui font ou feront rapidement partie intégrante de nos vies. Ne l'oublions pas, l'objectif de ces technologies est de trouver une application dans notre quotidien.

Voyons deux exemples d'entreprises qui proposent des solutions technologiques faisant intervenir une composante d'intelligence artificielle. La première, le géant SenseTime, a fait de la reconnaissance faciale sa spécialité. La seconde est l'exemple bien connu et médiatisé de la voiture autonome.

## 1.4. De la théorie à l'application, exemples d'applications utilisant l'intelligence artificielle

### 1.4.1. La reconnaissance d'images statistiques, leur classification et marquage, SenseTime® se place en leader incontesté

Marché en pleine explosion, la reconnaissance faciale est le domaine qui attire tous les plus grands acteurs de la Silicon Valley. Google®, Facebook® ou encore Apple® ne jurent pas par cette nouvelle technologie qui promet les clefs d'un marché de plus de huit milliards de dollars. (21)

Face à eux, un nouvel acteur a fait son apparition sur le marché. En seulement quatre ans, l'entreprise chinoise SenseTime® a réussi l'exploit de devenir l'entreprise d'intelligence artificielle la plus valorisée au monde. En plus d'être le plus grand fournisseur d'algorithme en Chine, SenseTime® se place également comme la 5ème plus grosse plateforme d'intelligence artificielle. (22) Ce qui n'était au départ qu'un simple projet universitaire, la compagnie déclare aujourd'hui vouloir « redéfinir la vie humaine telle que nous la connaissons ». (22)

Basée sur plusieurs axes de technologies d'intelligence artificielle, SenseTime® propose de multiples solutions aussi bien pour les professionnels que pour les particuliers. Parmi elles nous retrouvons la reconnaissance de visage, d'image, d'objet et de texte, de l'imagerie médicale ou encore un système d'analyse vidéo. Déployées dans un large panel d'industries, de la finance à la santé, de l'entraînement en ligne à l'éducation, du commerce à la sécurité, de la ville du futur au smartphone. (22)

La première application qui lui est connue est la reconnaissance faciale. Véritable succès en Chine, le gouvernement a autorisé la compagnie à accéder à une large base de données de photos de quelques 1,4 milliards de résidents. Comme nous l'avons vu précédemment, dans tout système faisant intervenir l'intelligence artificielle, plus le nombre de données initiales est important, plus le système est fiable. Grâce à sa très large population, la Chine s'offre la capacité d'améliorer ses systèmes technologiques à une vitesse effrénée. (22)

Actuellement, le système est capable de reconnaître un visage en moins d'une milliseconde avec un taux de réussite de 99%. (23)

Quelle que soit l'entreprise utilisant la reconnaissance faciale, la technique d'analyse reste la même. Grâce à la détection des yeux, de la bouche, du nez et d'autres zones précises, le système positionne différents points sur le visage pour reconnaître la personne. Le système reconnaît également les

attributs du visage comme l'âge, le sexe, la race, la barbe, l'expression, l'état du mouvement du visage ...

De très nombreuses mises en œuvre découlent de la reconnaissance faciale. L'application principalement avancée par SenseTime® de cette technologie est la sécurité.

- Le système promet de reconnaître un individu au milieu d'une foule afin de le cibler et l'isoler s'il représente un danger
- Les douaniers utilisent cette technologie pour détecter la similitude entre le visage de l'individu et son passeport,
- La police utilise déjà ce système d'analyse pour résoudre des enquêtes criminelles dans des enregistrements vidéo : mis en parallèle des individus ciblés avec une liste noire d'individus indésirables connus.

Cette même technologie de reconnaissance faciale insérée dans une voiture est capable de détecter les émotions du conducteur et de déterminer s'il est en mesure de conduire ou non pour limiter les risques d'accident. Fatigue, énervement, alcoolisme, toute expression émise par le visage est détectée, traduite et analysée.

Enfin, de manière plus générale, les domaines d'application sont très larges, nous pouvons penser au marketing. Un client passe devant une boutique, le système analyse son visage et en fonction de ses caractéristiques lui propose une publicité qui lui correspondra pour augmenter les chances d'achat. (23)

Selon Bernard Marr pour Forbes « Si les quatre dernières années devaient nous servir d'exemple, SenseTime® serait la première entreprise que nous devrions observer en termes de développement de produits, de services, de partenariats dans l'utilisation de l'intelligence artificielle et de la vision de la machine ». (22)

#### 1.4.2. La voiture autonome

S'il est bien un exemple qui résonne en nous lorsque nous parlons d'intelligence artificielle, il s'agit bien entendu de la voiture autonome. Régulièrement tête d'affiche dans les médias depuis quelques années, elle promet de révolutionner le monde des transports dans les années à venir.

Le marché de la voiture intelligente prévoit une croissance de 75% d'ici 2025 (24). Pour conquérir ce marché en devenir, les constructeurs automobiles se livrent une bataille technologique pour obtenir le leadership sur le segment du véhicule autonome. Bien qu'elle ne soit pas encore commercialisée pour des questions de sécurité et de législation dans les pays, étudions cette nouvelle invention tout droit tirée d'un livre de science-fiction.

Selon les spécialistes automobiles, le constructeur le plus avancé dans ce domaine serait le californien Tesla®. Cette jeune société, créée en 2003 par Elon Musck, s'est développée avec une rapidité fulgurante ces dernières années. Tesla® a fait le pari de se positionner comme une marque haut de gamme avec des voitures tous confort et cent pour cent électriques.

A la différence de ses concurrents, Tesla® ne se présente pas comme une fabriquant automobile mais comme une entreprise technologique. Et pour cause, dans les modèles proposés à la vente actuellement sur le marché, l'intérieur de l'habitacle est truffé de nouvelles technologies. Outre le grand écran tactile central qui permet de gouverner l'ensemble de la voiture, de nombreux capteurs analysent l'environnement aussi bien intérieur qu'extérieur de la voiture.

Depuis Août 2016, Singapour a pris de l'avance dans la course à l'innovation avec la mise en service de la toute première compagnie de taxis autonomes, nuTonomy®. Actuellement en phase de test, un conducteur humain reste assis sur le siège avant de la voiture prêt à prendre le volant si nécessaire. (25)

Les voitures sont catégorisées en 6 niveaux en fonction de leur degré d'autonomisation (25) :

- **Niveau 0** : pas d'automatisation. Le conducteur contrôle sa voiture entièrement pour tous les aspects de la conduite
- **Niveau 1** : assistance à la conduite. Quand le système assiste de temps en temps le conducteur pour des tâches spécifiques : direction, accélération, décélération. Mais le conducteur garde le contrôle. Ex : aide au freinage d'urgence.
- **Niveau 2** : automatisation partielle. Le système réalise des tâches par lui-même telles que la direction avec l'accélération ou la décélération avec l'assistance d'humain. On peut penser à l'aide au stationnement.
- **Niveau 3** : automatisation conditionnelle. Le système gère tout ce qui a trait à la conduite en prenant en compte l'environnement. Le conducteur n'intervient que lorsque le système a besoin d'assistance.
- **Niveau 4** : haut niveau d'automatisation. Le système conduit dans la plupart des situations quel que soit l'environnement, sans intervention humaine. Considéré comme totalement

autonome dans la plupart des scénarios de conduite. Le système est également capable de régir de manière efficace même s'il demande l'intervention du conducteur mais que celui-ci donne une mauvaise directive.

- **Niveau 5 :** automatisation complète. Le système est en mesure de réaliser tout ce qu'un conducteur humain peut faire et dans toutes les conditions voire excéder les capacités humaines dans tous les scénarios de conduite.

Actuellement, le niveau 2 est très bien maîtrisé et utilisé dans la plupart des voitures du parc automobile français. Les véhicules que nous proposeront les fabricants dans les prochaines années seront classés dans la troisième catégorie.

La voiture autonome, grande fierté de Tesla®, fonctionne comme tous systèmes faisant intervenir l'intelligence artificielle. Le modèle est applicable à toutes les voitures autonomes quel que soit la marque du constructeur. Le véhicule reçoit constamment des informations de son environnement, grâce à des caméras sophistiquées et des capteurs qui relaient les ultrasons, un radar et un laser. L'apprentissage de la conduite par la voiture suit le modèle du machine learning : plus la machine apprend, moins elle fait d'erreur de conduite.

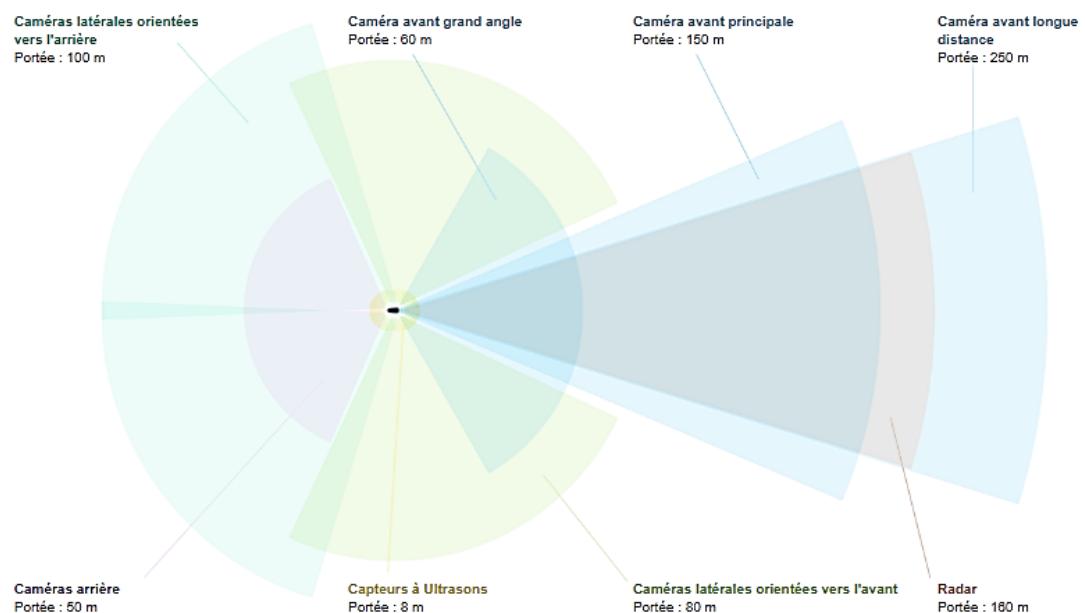


Figure 5 : Schéma des capteurs retrouvés dans la voiture autonome (26)

Une quantité de technologies de pointe permet au véhicule autonome de corriger les erreurs humaines et surtout d'apprendre de l'expérience des autres véhicules. Lors d'un accident suite à une erreur de conduite, les ingénieurs récupèrent les données émises par les capteurs, et définissent précisément le déroulé de l'accident. Après avoir examiné la réaction de la voiture en fonction des données en sa possession et après avoir déterminé la logique choisie par le véhicule pour déterminer sa course ; les fabricants et les développeurs informatiques peuvent ensuite utiliser ces informations pour modifier le programme de la voiture et ainsi améliorer les futures décisions. (25)

En réalité, il existe deux aspects qui ont trait à l'autonomie de la voiture

- **Indépendant**, ne prend en compte que les informations générées par la voiture elle-même. Son équipement lui offre une connaissance de l'environnement à 360°, cette fonction permet à la voiture de réagir de manière proactive face aux obstacles sur sa route.
- **Interconnecté**, suppose que la voiture soit en relation avec un ou plusieurs réseaux de communication. On peut penser par exemple à des informations relatives aux infrastructures, au trafic routier, à la météo ou encore des données GPS. Les voitures sont également capables de communiquer entre elles, en s'échangeant leur position, leur vitesse ou leur direction, elles peuvent coordonner leurs mouvements. (27)

Dans les nouveaux modèles présentés, les deux aspects sont indissociables l'un de l'autre. Les conditions météorologiques, le trafic, le revêtement du sol, tout est pris en compte et analysé. Pour plus de précision et de fiabilité, chaque élément est analysé par plusieurs systèmes en parallèle, ce qui nécessite que les données soient traitées rapidement et ensuite recoupées et fusionnées pour que le système décèle les bonnes des mauvaises informations. En cas de contre-indications, le système doit être capable de tirer le bon parti pour garantir la sécurité des usagers.

Au cœur du véhicule, l'intelligence artificielle est retrouvée à plusieurs niveaux. Si nous pensons en tout premier lieu à la conduite, ce n'est pas le seul aspect qui bénéficie des avancées technologiques. En effet, en ce qui concerne l'entretien des fonctions internes de la voiture ; elle est capable de détecter seule les composants défaillants qui risquent de tomber en panne, sorte de maintenance prédictive. Des capteurs analysent l'état de bien-être du conducteur et décide s'il est en mesure de conduire, et enfin dernière application de l'intelligence artificielle embarquée, la capacité

de détecter des cyberattaques et de se défendre pour éviter tout piratage. Tout un panel technologique qui nous pousse à repenser nos modes de transports pour demain. (24)

## 1.5. Chiffres clés

Pour comprendre l'ampleur du phénomène, il est intéressant de se pencher sur quelques chiffres.

Si en 2015, le marché de l'intelligence artificielle pesait 200 millions de dollars, les experts estiment qu'en 2025, il s'élèvera à près de 90 milliards de dollars (8). Cette incroyable augmentation touchera sept domaines de prédilection (28) :

- La recherche
- Le machine learning
- Le vision computing
- Les systèmes intelligents flous
- Les réseaux de neurones
- Le langage naturel (TALN)
- Le planning
- La prise de décision

Actuellement à travers le monde, 950 start-ups dédiées à l'intelligence artificielle ont été recensées dont 499 aux Etats-Unis. En parallèle, les investisseurs attirés par cette expansion ont injecté 5,42 milliards de dollars sur le seul premier trimestre 2018. (29)

Selon une étude Accenture (30), si les entreprises les moins développées investissaient dans l'intelligence artificielle et la collaboration homme-machine, elles pourraient accroître leur chiffre d'affaire de 38% d'ici à 2022.

D'après les experts, 40% des emplois seront remplacés par des robots d'ici quinze à vingt ans. Les premiers emplois touchés seront ceux nécessitant le moins de qualifications et de diplômes, tels que les chauffeurs et conducteurs de camions (31). Nous savons que 61% des Français sont conscients que l'intelligence artificielle peut jouer un rôle clé dans le monde de l'entreprise, mais ce chiffre chute à 31% quand on les interroge ce même rôle dans leur vie personnelle. (32)

Même si les professionnels, les investisseurs et une très large part du grand public se montrent enthousiastes face à de telles opportunités, néanmoins, un quart des personnes interrogées

continuent de penser que l'intelligence artificielle mènera inexorablement à l'asservissement de l'homme. D'autres idées sur l'intelligence artificielle gardent une large place dans l'esprit du grand public (29) :

- 63% d'entre eux pensent ne jamais être confrontés à des solutions d'intelligence artificielle
- 54% perçoivent l'IA comme pourvoyeuse d'opportunités pour la vie quotidienne future
- 47% estiment que l'IA nous libérera des tâches répétitives, pour mieux profiter du reste de la vie
- 27% affirment avoir déjà utilisé de l'IA

D'après une étude de la revue *Nature Digital Medicine* (33), au sein de la Clinique de l'Hôtel Dieu, sur les 1200 interrogés du centre d'épidémiologie, 41% des patients accepteraient d'être contrôlés par des machines connectées si elles sont supervisées par un homme. A contrario, seuls 3% envisageraient de faire confiance à des machines complètement automatisées.

Enfin, notre président, Emmanuel Macron, a annoncé début 2018 que 1,5 milliards d'Euros seraient consacrés au développement de l'intelligence artificielle sur le territoire français en cinq ans.

Ces chiffres montrent la manière exponentielle dont évolue le marché. Les entreprises et les individus qui les composent se tiennent prêts et affirment vouloir saisir les opportunités. A contrario, nous découvrons que les individus à titre personnel ne sont pas bien informés et expriment des réticences face à cette déferlante de nouvelles solutions qui promettent le bouleversement de la vie quotidienne.

## 2. Le système de soin français

Avant de s'intéresser aux apports de l'intelligence artificielle dans le domaine spécifique de la santé, étudions le système de santé français et ses limites actuelles. Cette étude nous permettra de mieux appréhender les leviers que pourraient actionner le numérique pour répondre aux attentes et besoins de la société française.

Le système de santé français, cette institution que les pays étrangers nous envient, rayonne comme un exemple à travers le monde. Dans son rapport de Mai 2 000, l'OMS classe même la France comme le meilleur système de santé au monde (34). Vingt ans après, elle tient toujours une honorable dixième place, et fait figure de bon élève au rang international. Son mode de fonctionnement atypique issu du croisement de deux systèmes de santé européens et son évolution font de lui un système couvrant toute la population sans distinction. Aujourd'hui pourtant, nombreux sont les nouveaux challenges qui mettent à mal cet équilibre précaire. Etudions ce système et les limites qui se posent aujourd'hui.

### 2.1. Ses origines

En 1945, au lendemain de la Seconde Guerre Mondiale, la France est dévastée et a besoin de se relever de ces cinq années de guerre qui ont touché le corps militaire aussi bien que la population civile. L'Angleterre d'un côté et l'Allemagne de l'autre ont chacune développer leur propre système de santé avec leurs particularités. La France va s'en inspirer et mettre sur pied la Sécurité Sociale, un savant mélange des deux systèmes déjà existants.

#### 2.1.1. Le système bismarckien

A la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, Otto von Bismarck, chancelier allemand de l'époque, se bat pour la mise en œuvre d'une protection sociale. Au départ protégeant contre les risques maladies, le système s'élargit puis protège rapidement les accidents du travail puis la vieillesse et enfin l'invalidité dans les années qui suivent.

La création du système bismarckien devient une nécessité en Allemagne. Des mouvements syndicaux et socialistes demandent l'amélioration des conditions de vie du prolétariat ouvrier. L'objectif de Bismarck n'est pas d'éradiquer la pauvreté, mais d'intégrer les ouvriers dans la vie nationale. (35) (36) (37)

Ce système couvre les travailleurs et leur famille, autrement dit les personnes affiliées au travailleur. Il est financé par le prélèvement de cotisations de la part du salarié et de son employeur. Le système est géré de manière paritaire entre ces deux parties au sein d'organismes plus ou moins indépendants de l'Etat.

L'assurance sociale est obligatoire pour les travailleurs. Les cotisations ne sont pas proportionnelles au risque mais au salaire.

### 2.1.2. Le système beveridgien

Quelques années après, en 1942, le gouvernement britannique mandate l'économiste William Beveridge pour rédiger un rapport sur le système d'assurance maladie. (35) (36) (37)

De nombreuses incohérences ressortent de ce rapport, ainsi Beveridge propose-t-il de refonder le système dans sa globalité et instaure un nouveau mode de fonctionnement selon la théorie de l'Etat Providence. Trois caractéristiques représentent le système beveridgien, connues sous le nom des « 3U » :

- **Universalité** : toute la population est couverte pour tous les risques. Ouverture de droits individuels en tant que citoyen
- **Uniformité** des prestations. Les sommes versées sont les mêmes pour tous les assurés. Basée sur les besoins de l'individu et non sur la perte de revenu après un accident
- **Unité** : gestion par l'Etat (ou Etatique) et ses fonctionnaires

Ce système est financé par l'impôt et couvre les besoins primaires, son but est avant tout de lutter contre la pauvreté. L'Etat est investi dans ce système et peut être amené à gérer certains établissements de santé. Le gouvernement définit des objectifs de santé publique.

Voici un récapitulatif sous forme de tableau comparant les deux systèmes :

	<b>Beveridge (Angleterre)</b>	<b>Bismarck (Allemagne)</b>
<b>Ouverture des droits</b>	Par la citoyenneté  Pour toute la population. Droits individuels	Par le travail  Droits acquis grâce à l'activité professionnelle de l'individu. Couvre le travailleur et sa famille.
<b>Statut</b>	Universel	Obligatoire pour les faibles revenus
<b>Financement</b>	Financé par l'impôt	Cotisations sociales prélevées sur le salaire
<b>Particularités</b>	Système des Trois U <ul style="list-style-type: none"><li>- Universalité</li><li>- Uniformité</li><li>- Unité</li></ul>	Cotisations non proportionnelles au risque mais au salaire.  Comme dans la logique assurantielle. C'est ce que nous appelons la socialisation du risque
<b>Gestion</b>	Etat	Salariés + Employeurs

Figure 6 : Tableau de comparaison Système de Bismarck et de Beveridge

## 2.2. Sa fondation

Lors de la création de la Sécurité Sociale Française en 1945, l'objectif annoncé était le suivant : « la Sécurité Sociale est la garantie donnée à chacun qu'en toutes circonstances il disposera des moyens nécessaires pour assurer sa subsistance et celle de sa famille dans des conditions décentes » (38). Quel que soient les moyens mis en œuvre pour l'atteindre, cet objectif est ambitieux et primordial pour la population de l'époque.

Même si, force est de constater que, le système de santé français emprunte plus d'éléments au système de Bismarck qu'à celui de Beveridge, il a su s'inspirer des deux modèles pour devenir celui que nous connaissons aujourd'hui.

## La philosophie de Beveridge et les moyens de Bismarck

Si l'on reprend le système de Beveridge, l'unité n'a pas été conservée. Même si la volonté initiale était de créer une caisse unique, certaines caisses étaient déjà existantes et ont gardé leur autonomie au moment de la création (exemple des caisses d'allocation familiales ou des régimes spéciaux). Au fur et à mesure des décennies, de nouvelles branches se sont ajoutées. En effet, durant la période après-guerre, le risque « chômage » n'est pas prioritaire et ne sera ajouté qu'à la fin des années 50. Aujourd'hui encore, l'assurance chômage, gérée par les partenaires sociaux, reste indépendante de la sécurité sociale.

Au regard de l'Universalité, qui sous-entend la couverture de la totalité de la population et de la totalité des risques. Une fois de plus, la France souhaite offrir la couverture pour tous, prônée par Beveridge. Cependant, le système est organisé quelque peu différemment et plusieurs critères entrent en ligne de compte. Initialement, le système repose sur les cotisations sociales prélevées chez le salarié et son employeur et l'adhésion est obligatoire. Ce statut ouvrant des droits pour le travailleur et ses affiliés (femme et enfants). Par cette logique bismarckienne, nous avons vu que l'intégralité de la population n'est pas couverte. Au cours des décennies suivantes, nous voyons apparaître des adaptations. Il est décidé que la population non employée mais active doit participer au financement de la Sécurité Sociale via l'impôt. Malgré cette évolution, toute une partie de la population non cotisante (retraités, étudiants, chômeurs) reste non couverte. Pour y remédier, et élargir l'accès à la couverture à ces populations à faibles revenus en leur garantissant un moyen d'existence convenable, de grandes lignes directrices ont été suivies. En 1975, la généralisation de l'accès à la sécurité sociale est garantie non par le biais du travail mais de la résidence sur le territoire. Ce choix s'accentue en 1999 avec la création de la CMU (Couverture Maladie Universelle) qui est octroyée aux personnes ayant les plus faibles moyens sur le critère de la résidence et non de l'activité professionnelle. Bien que des différences subsistent entre les différents régimes et caisses, la Sécurité Sociale couvre peu à peu toute la population grâce à l'addition de prestations qui n'étaient pas prises en charge initialement. C'est l'universalité à la française.

Enfin, si on étudie le dernier U du système de Beveridge, l'uniformité, autrement dit mêmes prestations pour tous. Ce point-là non plus n'est pas retenu lors de la création de la Sécurité Sociale Française. Les revenus perçus après l'accident sont en rapport avec les rémunérations antérieures, bien que le revenu maximum perçu soit plafonné. Il y a donc des variations de sommes perçues par les assurés en fonction de leur vie antérieure, propre au système de Bismarck.

De manière générale, aujourd’hui encore les cotisations sociales versées par le salarié et son employeur forment la base du système et représentent 60% des recettes. Les impôts servent eux à financer les prestations de solidarité comme les minima sociaux.

La Sécurité Sociale n'est pas gérée par l'Etat mais par les partenaires sociaux. Emprunt au système de Bismarck qui privilégie le travail.

En souhaitant atteindre l'universalité, l'unité et l'uniformité promises par Beveridge mais avec les moyens de Bismarck, le système français d'assurance maladie montre une originalité qui lui a permis jusqu'ici de s'adapter et d'offrir une réponse face aux évolutions sociétales

## 2.3. Son fonctionnement général

La Sécurité Sociale est un large ensemble qui regroupe différentes institutions. Leur objectif commun est d'assurer la protection des individus face aux risques sociaux. La sécurité sociale est constituée de 4 branches, chacune gère un type de risque (38) (39) :

- la branche maladie : maladie, invalidité, maternité, décès
- la branche famille : logement, handicap
- la branche accident du travail et accident ou maladie professionnelle
- la branche retraite : vieillesse et veuvage

Celle qui nous allons étudier est la branche maladie nommée également Assurance Maladie, qui gère les risques de santé.

Comme nous l'avons vu précédemment, il n'y a pas d'unité au sein de la Sécurité Sociale. La preuve en est, l'Assurance Maladie est elle-même divisée en trois régimes principaux :

- le régime général : couvre une grande part de la population française
- le régime agricole : couvre les exploitants et salariés agricoles
- le régime social des indépendants (RSI) : couvre les artisans, commerçants, industriels et professions libérales.

Et d'autres régimes plus secondaires : fonctionnaires, militaires, collectivités locales, étudiants ... L'Union Nationale de Caisses d'Assurance Maladie (UNCAM) regroupe depuis 2004 les trois régimes principaux. Son rôle est de gérer les prestations éligibles au remboursement et fixe le taux de prise en charge des soins.

Voici la manière dont on pourrait représenter l'organisation de la Sécurité Sociale :

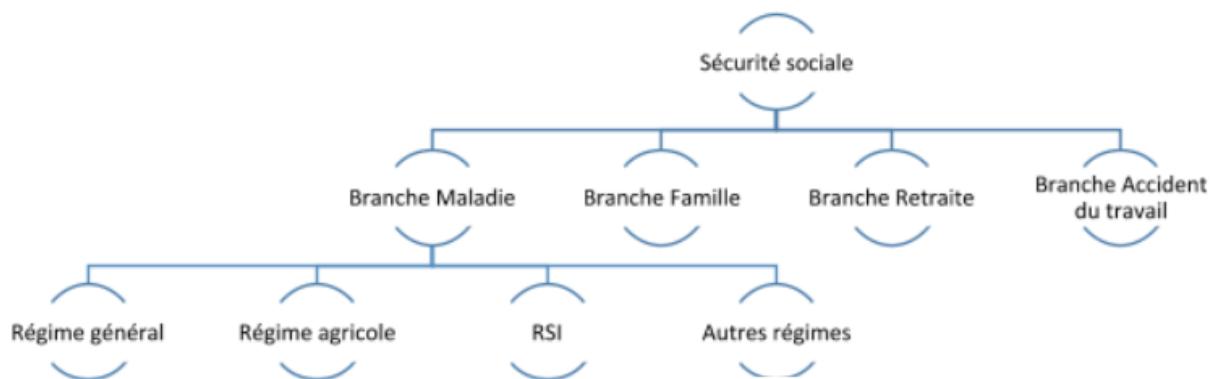


Figure 7 : Schéma de représentation des branches de la Sécurité Sociale

Aujourd'hui, l'Assurance Maladie Française est fondée sur trois piliers pivots :

- **Egalité d'accès aux soins** : garantit à tous individus présents sur le sol français, quel que soient leurs revenus.
- **Qualité des soins** : la France est reconnue comme étant pourvue de l'un des systèmes avec les meilleures qualités de soin au monde. Repousser les standards de qualité reste pourtant un défi quotidien pour les professionnels de santé.
- **Solidarité** : chaque personne couverte doit contribuer au financement de l'Assurance Maladie à hauteur de ses moyens et recevoir les soins dont elle a besoin.

Concernant la rémunération des professionnels de santé, en accord avec les syndicats professionnels, les tarifs d'honoraires appliqués et perçus par les professionnels de santé sont fixes. Ces derniers sont autorisés à facturer des frais accessoires selon une nomenclature générale des actes, fixée par arrêté interministériel. La nomenclature définit les limites des dépassements d'honoraires et les conditions de remboursement par les différentes caisses d'Assurance Maladie. Même si notre système est salué unanimement pour son efficacité, il a également un coût considérable. En déficit depuis 25 ans, la société est-elle encore aujourd'hui capable d'assumer une telle organisation ?

## 2.4. Constat actuel et limites

L'assurance Maladie représentant 11% du Produit Intérieur Brut (PIB) en 2017 est en constante augmentation depuis 1945. Ce domaine de la santé est divisé entre le secteur public hospitalier et le secteur privé dont des cliniques ou des cabinets médicaux de ville essentiellement. En 2016, le secteur de la santé employait un million et demi de professionnels, dont 223 600 médecins et 937 000 auxiliaires médicaux, générant ainsi de larges retombées économiques. Depuis l'an 2000, la population médicale a augmenté de 195%, on peut dire que le domaine de la santé attire encore de nombreuses vocations. (38)

Malgré ces chiffres plus que satisfaisants, au sein de l'ensemble de la Sécurité Sociale, l'Assurance Maladie reste la branche avec le déficit le plus important, jamais équilibré depuis 25 ans. Cette accumulation de dettes est reportée sur les générations suivantes, qui portent le fardeau des décisions prises par les dirigeants depuis des années.

Plusieurs constats apparaissent et deviennent de plus en plus frappant au fil des ans. Les fragilités économiques du système sont de plus en plus visibles, et les années qui arrivent seront cruciales. Des choix devront être faits pour continuer à garantir le financement des prestations de soin. En parallèle la population continue d'augmenter, de même que l'espérance de vie entraînant un vieillissement de la population. L'augmentation des maladies chroniques entraînant l'augmentation des traitements lourds et coûteux à long terme, les prix astronomiques des nouvelles thérapies innovantes et les techniques de soins ne peuvent plus être pris en charge par le système, faute de moyens suffisants. Enfin, une large partie du territoire français ne peut plus garantir l'accès aux soins depuis que les médecins désertent les campagnes au profit des grandes villes. Penchons-nous sur ces problématiques pour mieux comprendre leurs origines et leurs répercussions sur la population.

### 2.4.1. Accès aux soins : des inégalités géographiques

Un indicateur développé par le Ministère de la Santé et par l'Institut de Recherche et de Documentation en Economie de la Santé a montré que les 10% de la population française les mieux desservies avaient des possibilités d'accès aux soins trois fois supérieures aux 10% de la population la moins bien desservie. Cet indicateur est calculé pour chaque commune. Il prend en compte la demande en santé de la population, l'offre disponible, le taux de professionnels de santé en activité et de l'âge de la population. (38)

Si le rapport est d'un à trois pour les médecins généralistes, le constat est encore plus alarmant pour les médecins spécialistes. Des variations d'un à huit sont observées pour les chirurgiens-dentistes, les ophtalmologistes ou les gynécologistes.

Le constat est sans appel, si les populations des zones urbaines sont bien loties, les populations rurales et celles vivant en périphérie proche des grandes ou moyennes agglomérations sont les plus impactées par ce qu'on appelle les déserts médicaux.

La situation n'est pas moins préoccupante en étudiant les hôpitaux. Cette fois-ci le nombre de structures n'est pas remis en cause mais la sécurité des soins qui y sont prodigués. Un lien direct a été établi entre la sécurité des soins et le niveau d'activité dans les services de chirurgie obstétriques. Les soins prodigués y sont moins routiniers engendrant de moins bons résultats. Un second effet explique ce phénomène, ces établissements isolés et moins fréquentés font régulièrement appel à des intérimaires ou des praticiens étrangers pour pallier l'absence de médecins, engrangeant une nouvelle fois une diminution de la sécurité des soins.

Tous ces facteurs réunis créent de larges disparités au sein de la population française. En fonction de leur lieu de résidence, les types de prestations de soin proposés aux Français, ainsi que leur qualité, ne sont pas identiques.

Les habitants des zones rurales n'ont plus la capacité d'être suivis par des médecins généralistes ou spécialistes autour de chez eux. Sans moyen de déplacement, par manque de connaissances ou ignorance face à la conduite à tenir, le patient délaisse sa santé. Il en résulte deux possibilités. Soit les patients ignorent les symptômes, sont diagnostiqués plus tard à des stades plus évolués de la maladie. Le patient a alors moins de chance de guérir et les coûts engendrés pour le traiter sont généralement bien plus élevés à des stades avancés de la maladie. Soit par manque d'avis professionnel et de traitement, le patient se trouve obligé de s'adresser aux urgences, créant un engorgement et une situation intenable pour ces services d'accueil.

#### **2.4.2. Des dépassements d'honoraires freinant l'accès aux soins**

Certains dépassements tarifaires ne sont pas pris en charge par l'Assurance Maladie obligatoire. De plus en plus nombreux et onéreux, ces dépassent créent un obstacle d'accès aux soins pour les patients qui n'ayant pas souscrits à une complémentaire. (38)

Chez les médecins généralistes, ce dépassement est limité, seulement 8,7% d'entre eux le pratiquaient en 2015. En revanche, la situation est radicalement différente si nous étudions les spécialistes. En effet, 45% d'entre eux exercent en secteur 2, les autorisant à des dépassements d'honoraires. Enfin, dans le cas de séjours en cliniques, 40% engendraient des dépassements tarifaires. Cette situation est onéreuse pour l'assurance maladie.

Cette situation peut amener le patient à renoncer à certains soins pour des raisons financières. Ayant pour conséquence de retarder la prise en charge de la maladie, dont des coûts de traitements qui sont automatiquement plus élevés, la maladie étant à un stade plus avancé.

#### **2.4.3. L'augmentation des maladies chroniques et des cancers**

Depuis les années 70, l'espérance de vie des Français s'est améliorée de 12 ans, et les démographes prédisent que cette évolution n'est pas terminée. Atteignant des chiffres record de 79,5 ans pour les hommes et 85,4 ans pour les femmes d'espérance de vie à la naissance, la France se classe en bonne place dans le palmarès mondial. Largement favorisée grâce aux avancées scientifiques et médicales, de nombreuses maladies mortelles ont été éradiquées par l'antibiothérapie ou la vaccination au cours du XXème siècle faisant ainsi bondir l'espérance de vie à la naissance. (38)

Outre les guérisons, un bon nombre de maladies sont traitées à très long terme tels que le diabète, le VIH ou l'insuffisance cardiaque. Si la survie des patients est assurée, ils nécessitent des traitements quotidiens à vie qui se révèlent être onéreux.

De plus, ces patients chroniques généralement âgés sont très souvent sujets à des polypathologies. Plus de six millions de personnes, soit 16,6% de la population française, souffrent de l'une des trente-deux Affection de Longue Durée (ou ALD) reconnues par la Sécurité Sociale. Les coûts engendrés sont colossaux, le ministère de la santé estime que les ALD, coûtent à elles seules 94,2 milliards d'Euros en 2014, soit 61,6% des remboursements totaux de l'assurance maladie.

Les cancers ne sont pas en reste, avec trois millions de patients qui vivent avec ou après un cancer, on estime qu'une famille sur trois est touchée par ce type maladie. A tel point que le cancer se place en troisième (ou quatrième en fonction des années) position des dépenses de l'assurance maladie.

Face aux maladies chroniques, certains patients ne sont pas autonomes et nécessitent un accompagnement quotidien de la part d'infirmières ou d'aides-soignants à domicile. Cette gestion est à la fois chronophage pour des infirmières qui n'ont pas l'occasion de consacrer suffisamment de temps à d'autres patients et onéreuse une fois de plus car chaque intervention d'un professionnel de santé est soumise au remboursement.

#### **2.4.4. Une population vieillissante**

Si l'espérance de vie est allongée comme nous l'avons déjà évoquée, le nombre de naissance lui diminue, avec des femmes qui travaillent et sont maîtres de leur fertilité. Le nombre moyen d'enfants par femme a largement diminué au cours du XXème siècle. Ces deux phénomènes démographiques conduisent à une augmentation de la proportion de personnes âgées dans la population. (38)

La proportion de la population de plus de 65 ans estimée à 17% en 2010 devrait atteindre 26% en 2050. Même constat pour la population de plus de 80 ans, sur cette même période, leur proportion devrait passer de 5% à 11%.

Comme le financement de l'assurance maladie se fait par cotisation sur les salaires donc de la population active, l'augmentation de cette population inactive donc non cotisante et première touchée par les maladies chroniques entraîne des coûts supplémentaires. Ce double effet crée une situation qui ne sera plus supportable financièrement pour la société.

#### **2.4.5. Des thérapies plus onéreuses**

Bien qu'il soit plus que favorablement accueilli par la population, et ce de manière légitime, le progrès médical entraîne néanmoins un double effet rebond sur les dépenses de santé : l'allongement de l'espérance de vie (cf 1.3.3. et 1.3.4.) et un coût des thérapies en constante augmentation, induite par de nouveaux traitements ou de nouvelles techniques. (38)

Les nouvelles techniques d'imagerie, les nouveaux traitements de l'hépatite C, les nouvelles stratégies d'attaque contre le cancer, les biothérapies innovantes autant de nouveaux brevets à rémunérer avant que les découvertes ne tombent dans le domaine public.

L'exemple des médicaments est relativement parlant. Ces nouveautés lancées sur le marché, réputées comme plus efficaces, les laboratoires pharmaceutiques réclament des prix jamais pratiqués

jusqu'alors. Des traitements contre l'hépatite C notamment, qui promettent une guérison totale évitant effectivement des coûts supplémentaires à moyen et long terme, mais dont l'assurance maladie ne peut assumer le coût unitaire à plusieurs milliers d'euros par mois ou même par dose. Cet exemple n'est pas isolé et retrouvé dans de nombreuses thérapies anti-cancéreuses ou des traitements contre les maladies orphelines.

D'une part, nous avons des solutions innovantes pour guérir les patients mais de l'autre nous ne pouvons leur proposer faute de moyen financier. Ce choix est-il légitime ? Comment expliquer cette situation au patient et à leur famille ?

#### **2.4.6. Comportement et environnement, bombes à retardement**

Mode de vie sédentaire, tabagisme, alcoolisme et alimentation mal adaptée, autant de facteurs qui laissent présager une forte augmentation des dépenses à venir.

Selon l'assurance maladie, le tabac engendrerait 12 milliards d'Euros de dépenses de santé par an et 3 milliards pour l'alcool.

Une étude de 2016 a montré que même si actuellement la France reste en dessous de la moyenne mondiale, le nombre de personnes en surpoids ou en situation d'obésité croît de plus de 10% par an. Ces sujets sont six fois plus à risque de développer un cancer que les personnes normales et quatre fois plus à risque d'être atteints d'hypertension artérielle. Ces chiffres se traduisent en dépenses, 330€/an pour une personne en surpoids et 785€/an par une personne obèse, soit un surcoût de 9,5 milliards d'euros pour l'assurance maladie.

En matière de santé publique et de prévention, la France accuse un sérieux retard comparé aux autres pays de l'OCDE. Estimé à seulement 2% des dépenses de santé, alors que les autres pays consacrent en moyenne 2,75%, la France fait figure de mauvais élève avec sa vingtième position. En France, les choix des dépenses profitent au présent, favorisant la prise en charge d'épisodes aigus très onéreux en dépit des considérations pour l'avenir, alors que ces épisodes aigus auraient pu être évités par la mise en œuvre de campagnes de prévention en amont à faible coût.

Par manque de prévention, la France se condamne à faire les frais de maladies qui auraient pu être évitées, retardées ou atténuées, se traduisant une fois de plus par des dépenses de santé qui seraient évitables.

Au terme de cette explication, il est évident que de nouvelles problématiques de santé publique émergent. Comment trouver le moyen de répondre à tous ces constats alarmants tout en réduisant nos dépenses de santé, sans pour autant sacrifier les prestations de soins garanties à la population française qui n'est pas prête à négocier ce point.

Et si, les nouvelles technologies proposées aujourd'hui sur le marché, pouvaient

- **Réduire l'impact des déserts médicaux et les disparités d'accès aux soins.** En inversant le mode de pensée, ce n'est plus au patient de se déplacer chez le médecin, mais le médecin s'invite chez le patient via les nouvelles technologies, gain de temps pour les deux partis et simplification des démarches. Ne pourrions-nous pas à travers cette méthode favoriser le dépistage aux stades précoce de la maladie en garantissant un accès direct et simplifié au spécialiste concerné
- **Offrir au patient atteint de maladies chroniques le moyen de se prendre en charge de manière autonome.** Ainsi, en réduisant le temps accordé par le corps infirmier à des actes mineurs facilement pris en charge par le patient lui-même, les infirmiers pourraient réorganiser leur temps de travail au profit de patients plus complexes à gérer nécessitant les compétences et l'expertise des professionnels de santé. Revalorisant au passage le métier d'infirmier.
- **Autonomiser les personnes âgées,** leur offrir plus de confort, de surveillance et de sécurité, et de fait améliorer leur santé. Dans ce même objectif de diminuer l'impact sur les dépenses de santé de cette population toujours grandissante.
- **Prévenir l'apparition de maladies,** aussi bien à titre individuel qu'à l'échelle d'une population en évitant des épidémies. Anticiper les maladies en leur prodiguant des conseils de prévention primaire à la population évitant ainsi l'apparition de maladies et en incitant à se faire diagnostiquer plus tôt.

Ces quelques solutions, ne pourraient-elles pas être envisagées par la Sécurité Sociale dans l'objectif de garantir sa propre survie ?

### 3. L'intelligence artificielle en réponse aux limites de l'Assurance maladie : l'Empowerment du patient

Après avoir étudié le vaste univers de l'intelligence artificielle ainsi que l'organisation du système de santé français dont ses enjeux actuels, ne pouvons-nous pas penser que le premier puisse être une des clés pour répondre aux défis du second ?

En prenant point par point chaque constat évoqué précédemment, nous y apporterons une solution au travers des nouvelles technologies qui font intervenir une part d'intelligence artificielle.

#### 3.1. Réduire l'inégalité d'accès aux soins : collecte des données patients à distance pour faciliter le diagnostic à domicile



Face au manque de professionnels de santé dans les régions rurales et une population qui n'a pas toujours les moyens de se déplacer, une des solutions avancées est le diagnostic à domicile. C'est le cas de la société israélienne TytoCare Home™. La consultation se fait au domicile des patients sans pour autant que le médecin se déplace et perde du temps de transport, dans des régions éloignées géographiquement. Une solution qui apporte des avantages à toutes les parties prenantes.

Cet outil simple d'utilisation est pensé pour faciliter aux patients l'accès à des professionnels de santé.

Prenons un exemple concret, le patient se réveille un matin et ne se sent pas bien. Est-ce seulement passager ou au contraire plus sérieux ? Le patient a besoin d'une réponse immédiate (40).

TytoCare Home™ propose un kit que le patient détient à son domicile. Ce kit est composé de plusieurs éléments :

- Un tensiomètre, pour la prise de tension
- Un thermomètre, pour la prise de température
- Un otoscope, pour détecter les infections auriculaires

- Un stéthoscope, pour examiner le cœur, les poumons, la toux, les douleurs abdominales
- Un abaisse langue, pour examiner la langue et la gorge et y déceler des infections
- Une application, pour mener l'examen avec le docteur en visio. Relié par la caméra du smartphone qui permet au médecin d'apprécier l'état général du patient et de mener des examens dermatologiques.



Figure 8 : Kit d'accessoires inclus dans la formule TytoCare™ (40)

Chaque élément est relié au smartphone du patient.

Le professionnel de santé est recensé dans l'application et propose au patient un rendez-vous à distance, via l'application TytoApp. Le médecin conduit la consultation depuis son cabinet et le patient depuis son domicile. **Ce n'est plus le patient qui se déplace, mais les données qui voyagent. Les données récoltées : chiffres, images, sons et autres mesures sont transmises en direct au médecin qui dirige le déroulé de la consultation depuis son ordinateur au cabinet.**

Au terme de cette consultation guidée par le médecin, ce dernier peut donner un avis médical, est-il nécessaire de prendre rendez-vous avec un spécialiste et si oui lequel. Il peut donner des conseils, poser un diagnostic et rédiger des ordonnances.

Ainsi, en simplifiant l'accès à un médecin généraliste et en permettant un gain de temps pour les deux parties, les patients n'hésitent plus à demander conseil à leur médecin. Les populations sont mieux diagnostiquées, plus tôt, mieux traitées et mieux orientées vers le spécialiste adéquat.

Plusieurs conséquences immédiates sont à noter :

- Gain de temps pour les deux parties

- Prise en charge plus rapide du malade
- Accessibilité et simplicité d'utilisation

En prenant du recul, certaines conséquences plus générales sont également à prendre en compte,

- Réduction des coûts de traitement permis par le dépistage précoce. Les traitements étant moins onéreux à des stades précoce de la maladie.
- Meilleur accès à l'ensemble de la population et de manière équitable quel que soit le lieu de résidence. Réduction des inégalités d'accès aux soins.
- Désengorgement des urgences grâce aux conseils et traitements préconisés au patient avant que son état de santé ne se détériore et ne le mène dans ce type de service hospitalier.

## 3.2. Autonomiser les patients

L'augmentation des maladies chroniques et des cancers est une évidence dans notre société. Chaque nouveau patient a besoin d'être entouré et accompagné par des professionnels de santé. Cependant, la courbe de l'augmentation du nombre de malades augmente bien plus rapidement que la courbe du nombre de professionnels de santé. Les médecins doivent s'occuper de toujours plus de malades avec un emploi du temps qui n'est bien évidemment pas extensible à l'infini. Une des solutions avancées pour répondre aux besoins de chaque nouveau malade est l'autonomisation du patient et l'inciter à prendre en charge sa maladie de manière responsable. L'autonomisation est certainement, l'axe sur lequel il est le plus aisément de jouer pour faire évoluer le système de santé. L'autonomisation du patient est l'objectif de l'éducation thérapeutique, dont la définition a été donnée par l'OMS en 1996 est la suivante :

*"[L'éducation thérapeutique] vise à aider les patients à acquérir ou maintenir les compétences dont ils ont besoin pour gérer au mieux leur vie avec une maladie chronique. Elle fait partie intégrante et de façon permanente de la prise en charge du patient. Elle comprend des activités organisées, y compris un soutien psychosocial, conçues pour rendre les patients conscients et informés de leur maladie, des soins, de l'organisation et des procédures hospitalières, et des comportements liés à la santé et à la maladie. Ceci a pour but de les aider, ainsi que leurs familles, à comprendre leur maladie et leur traitement, à collaborer ensemble et à assumer leurs responsabilités dans leur propre prise en charge, dans le but de les aider à maintenir et améliorer leur qualité de vie." (41)*

L'éducation thérapeutique est aujourd'hui inscrite dans la loi, elle implique le médecin aussi bien que le pharmacien quel que soit le stade de la pathologie chronique dont est atteint le patient. Elle soutient ce dernier dans sa volonté de mieux se connaître, de gagner en confiance en soi, de prendre des décisions, de résoudre des problèmes et de se fixer des buts à atteindre.

Inciter le patient à prendre seul des décisions, à mieux gérer sa maladie grâce à ses connaissances, telle est l'idée principale de l'autonomisation. Ceci implique plusieurs postulats :

- le patient doit être en mesure de se prendre en charge et avoir la capacité de prendre des décisions pour lui-même.
- le patient doit être formé par le médecin ou avoir accès à la connaissance, comprendre sa maladie, son traitement et les bons réflexes à développer.
- le patient doit pouvoir se tourner vers son médecin en cas d'événement non désiré, s'il est perdu et ne sait comment réagir.

Le processus d'autonomisation nécessite une série d'actions pour inciter le patient sur la voie de la prise en charge autonome. Dans ces actions, on distingue quatre phases : autonomiser (notre souhait final), impliquer, former et motiver le patient pour obtenir des résultats bénéfiques.

### 3.2.1. Autonomiser

Depuis quelques années, nous voyons apparaître sur le marché une multitude d'applications et d'appareils connectés qui accompagnent le patient dans cette démarche d'autonomisation. Comme un coach quotidien, ces solutions peuvent fournir des informations en temps réel, prodiguer des conseils ou encore anticiper les variations des constantes biologiques à venir et ce, de manière personnalisée et adaptée à chaque utilisateur.

Le diabète est certainement la maladie chronique dont l'augmentation est la plus retentissante ces dernières décennies.

Pour preuve, l'augmentation depuis les années 2000 est estimée à 5,6% par an. La barre des 3 millions de personnes traitées pour une situation de diabète a été dépassée en 2011, soit 4,6% de la population, ce chiffre ne prenant pas en compte les personnes diabétiques non traitées et les personnes diabétiques non diagnostiquées. (42).

Et les indicateurs démographiques ne sont pas optimistes quant à une réduction de cette croissance et misent plutôt une augmentation continue du nombre de patients diagnostiqués diabétiques pour atteindre 1 personne atteinte de diabète sur 11 à l'horizon 2025.

Face à ce constat, de nombreux acteurs ont vu le jour sur le marché de la prise en charge du diabète. L'environnement lié à cette maladie chronique s'est développé de manière fulgurante récemment. On y retrouve beaucoup d'applications à la fois de suivi ou d'anticipation des pics de glycémie. Voici l'exemple de deux start-up qui proposent un système d'accompagnement du patient diabétique.

### 3.2.1.1. Autonomiser, le machine learning pour surveiller son diabète



L'entreprise PK Vitality propose un modèle de montre connectée, la K'Watch Glucose (43). Dotée de tous les services classiques d'une montre connectée, ses capacités vont au-delà des modèles habituels. En effet, cette montre offre la possibilité de surveiller sa glycémie à tout moment de la journée de manière simple et sans prélèvement de sang.

Finie cette époque où le patient diabétique devait apprendre à se piquer chez lui au minimum trois fois par jour pour récupérer une goutte de sang puis l'analyser sur un appareil qu'il devait avoir en permanence avec lui.

Aujourd'hui le simple fait de porter sa montre au poignet et de presser un bouton permet d'avoir accès à son taux de glucose sanguin de manière discrète, au lever, pendant des séances de sport, au travail, sous la douche. Ce dispositif fonctionne grâce à une multitude de micro-capteurs et biocapteurs situés sous la montre, qui mesurent la glycémie à travers la peau sans douleur. Le capteur est maintenu en place grâce à un patch adhésif hypoallergénique. Ce patch s'enlève facilement et doit être changé tous les sept jours.



Figure 9 : Présentation de la montre connectée K'Watch Glucose et son application mobile (43)

En parallèle, la montre enregistre toutes variations de glucose sanguin afin de créer un historique. Cet historique est accessible grâce à une application mobile téléchargeable depuis les plateformes de téléchargement classiques. **Les données stockées sont ensuite analysées et les variations anormales sont mises en évidence par le biais du machine learning pour présenter au patient les résultats de manière claire et compréhensible.**

Ce suivi visuel et attrayant aide le patient à prendre conscience de son déséquilibre. Une fois accepté, le patient est amené de manière simple à gérer les variations de glycémie par des outils simples d'utilisation, l'aidant ainsi à reprendre le contrôle de sa glycémie et de sa santé.

Plusieurs avantages :

- Sans prélèvement de sang : possibilité d'obtenir sa glycémie sans prélèvement sanguin douloureux et répétitif. Plus de lancette, plus de bandelette, plus de traumatismes des doigts. Possibilité de surveiller son taux de glucose partout et tout le temps.
- Envoi d'alertes : grâce à une composante d'intelligence artificielle, plus précisément de **machine learning**, la montre recueille les données sanguines en temps réel. Elle est en capacité de les analyser seule sans intervention de l'utilisateur, de déceler les hyper ou les hypoglycémies et d'envoyer un signal d'alerte à l'utilisateur.

Au cours d'une journée, le patient n'a plus à se soucier du contrôle de sa glycémie. Elle repère les situations à risque et réagit en envoyant des alertes discrètes par vibrations lorsque la glycémie atteint des taux trop hauts ou au contraire trop bas. Les alertes sont réglables en fonction du jour ou de la nuit. Si le patient ne réagit pas, la montre envoie des messages d'alerte aux proches de l'utilisateur.

En réel coach de vie, la K'Watch suit le nombre de pas effectués au cours de la journée, la distance parcourue et les calories brûlées. Permettant ainsi de suivre les progrès du patient et le soutenir pour atteindre ses objectifs.

Grâce à un système très simple d'utilisation et dont la lecture est claire, ce dispositif permet au patient d'apprendre à gérer simplement une pathologie qui demande initialement beaucoup d'attention et de manipulations. En réduisant le nombre de gestes quotidiens à effectuer, il est plus facile de demander au patient de se prendre en charge seul. Cette montre est également un accompagnateur, par des alertes qui préviennent l'utilisateur et l'aiguille dans les décisions à prendre pour remédier à la crise, le patient se sent moins seul au moment de la prise de décisions. La montre rassure également les proches du malade isolé, qui savent qu'ils seront contactés en cas de situation à risque non résolue, on peut penser aux personnes âgées ou aux étudiants qui vivent seuls en particulier.

### **3.2.1.2. Autonomiser, deep learning pour faciliter la prise de décision dans la gestion du diabète**



Hillo, cette start up est, elle aussi, spécialisée dans l'accompagnement du patient diabétique avec la même volonté de l'autonomiser mais en misant sur un format différent. L'objectif avancé est de réinventer la vie du patient diabétique de type 1. Pour cela, Hillo mise sur une application téléchargeable depuis l'AppStore ou GooglePlay (44).

Un carnet de santé connecté collecte toutes les informations du patient en rapport avec la gestion du diabète notamment la glycémie, les repas, les resucrages au cours de la journée, les activités physiques ou les injections d'insuline. Toutes ces informations sont accessibles au patient à n'importe quel moment de la journée. Une application de gestion du diabète en somme. La réelle révolution se situe dans la seconde partie de l'application.

**A partir de ces données générées et grâce à l'intervention de l'intelligence artificielle, après deux semaines d'utilisation, Hillo peut prédire les évolutions glycémiques du patient dans les deux heures suivantes avec une précision inégalée à l'heure actuelle.**

Cette solution supporte la prise de décision par le patient qui va pouvoir planifier sa journée et anticiper les hypo ou hyperglycémies. Facilitant ainsi la gestion de la pathologie, avec une connaissance de l'évolution glycémique des heures à venir, le patient peut adapter son traitement en étant en possession d'un maximum d'informations utiles.



Figure 10 : Présentation de l'application Hillo prédisant les variations de glycémie à 2 heures (44)

Nous avons choisi d'étudier le diabète car il s'agit certainement de la pathologie avec le plus grand nombre d'outils technologiques pour inciter le patient à gérer au quotidien sa pathologie. Cependant, de nombreux autres exemples existent dans d'autres aires thérapeutiques pour simplifier la gestion des maladies chroniques. Par des outils simples d'utilisation et qui s'insèrent naturellement dans leur quotidien, les patients sont supportés dans cette démarche d'autonomisation grâce à l'aide de l'intelligence artificielle.

Avec l'explosion connue du nombre de maladies chroniques, si chaque patient avait le pouvoir de se prendre en charge entraînant comme conséquence directe de moins se reposer sur son médecin, c'est autant de temps libéré pour les professionnels de santé qui pourraient prendre en charge un plus grand nombre de patients et accorder plus de temps pour les cas sévères alors que les médecins sont aujourd'hui en sous-population et toujours plus sollicités.

En simplifiant de manière notable les gestes réflexes à adopter lorsqu'un patient est diagnostiqué diabétique, on offre la possibilité de se prendre en charge à toute une partie de la population qui n'avait pas les moyens physiques ou intellectuels de gérer eux-mêmes leur pathologie. Les infirmiers ne seraient plus obligés de passer 3 fois par jour au domicile du patient pour surveiller une simple glycémie, et de pouvoir suivre les constantes de leurs patients à distance. Une des conséquences induites est la réduction du coût financier, en effet une intervention infirmière à domicile a un coût. Une fois le montant rapporté par an et par patient, on se rend compte que les sommes engagées sont considérables.

A titre d'exemple, les actes infirmiers répondent à des cotations nationales. Si nous nous basons sur le guide pratique NGAP (Nomenclature Générale des Actes Professionnels) fourni par l'assurance maladie, nous pouvons estimer le coût de la prise en charge d'un patient diabétique à domicile (45). La surveillance de la glycémie est un acte classé dans la catégorie AMI 1 (Acte pratiqué par l'infirmier) et est rémunéré à hauteur de 3,15€. L'injection d'insuline sous-cutanée rentre elle aussi dans la catégorie des AMI 1, soit 3,15€ par injection. Sachant que ces deux actes sont répétés trois fois par jour. Le calcul sur une année serait donc de

$$\begin{aligned} \text{Coût d'un patient diabétique pris en charge par infirmier à domicile} &= (\text{surveillance glycémique} + \text{injection sous cutanée de glycémie}) \times 3 \times 365 \text{ jours} \\ &= (3,15 + 3,15) \times 3 \times 365 = \mathbf{6\,898,5\text{€}} \end{aligned}$$

Sachant que ce calcul ne prend pas en compte les frais de déplacements (0,35€ lorsque le trajet pour aller au domicile du patient excède 2 kilomètres), l'indemnisation des dimanches et jours fériés (8€ par visite) et les majorations de nuit (9,15€ de 20h à 23h et de 5h à 8h puis 18,50€ de 23h à 5h)

$$\begin{aligned} \text{Majoration dimanches et jours fériés} &= 8\text{€ par visite soit } 54 \text{ dimanches par an et 12 jours fériés} \\ &= \mathbf{8\text{€} \times 54 + 8\text{€} \times 12 = 528\text{€}} \end{aligned}$$

A minima, nous pouvons estimer que le coût infirmier pour un patient diabétique à domicile est de :

$$\mathbf{= 6\,898,5\text{€} + 528\text{€} = 7\,400\text{€}.}$$

Sachant que le coût global de prise en charge d'un patient diabétique de type 2 était estimé en moyenne à 12 500€ par an en comptant les hospitalisations, les soins infirmiers, les traitements

médicamenteux et les analyses biologiques pour environ 500 000 patients diabétiques en 2013 alors que leur nombre est en constante augmentation. (46)

Au regard de ces chiffres, on comprend l'importance d'autonomiser le patient pour des actes simples et répétitifs.

Cette évolution permettrait également d'alléger les emplois du temps des infirmiers, et optimiser ce temps gagné pour réorienter leurs activités en favorisant des actes plus valorisants, dont leurs compétences et leurs connaissances seront indispensables au patient.

### **3.2.2. Impliquer et Former**

Dans l'objectif de l'autonomiser, il faut que le professionnel de santé mesure l'importance de former le patient pour qu'il comprenne sa maladie, son traitement, les nouveaux gestes à adopter et les réflexes à acquérir en cas de situation critique. Il faut ensuite que le patient prenne conscience de sa maladie et du besoin de se soigner, l'objectif final étant de l'impliquer et de le faire participer activement à la gestion de sa maladie.

Cette phase de formation implique à la fois le médecin, le pharmacien, le patient et tous les professionnels de santé qui gravitent autour du parcours de soin. Par cette alliance, les messages de santé à faire passer seront mieux reçus et intégrés par le patient. Pour les accompagner dans cette mission, nous étudierons deux entreprises avec des solutions différentes mais la même volonté de former le patient pour l'impliquer et le rendre autonome. La première une entreprise du nord de la France, Posos, propose ses services pour aider les professionnels de santé à s'adresser au patient. La seconde est WeFight, un agent conversationnel dédié au cancer.

Etudions ces deux solutions qui ont fait de l'autonomie du patient leur cheval de bataille.

#### **3.2.2.1. Impliquer et former, analyse de texte pour former le patient sur sa maladie via le médecin ou le pharmacien**



Un médecin au cabinet ou un pharmacien au comptoir face à son patient qui se pose une question sur un médicament mais n'est pas capable de trouver une réponse satisfaisante. Cette scène n'est pas isolée.

Auparavant, les laboratoires pharmaceutiques mettaient à disposition des professionnels de santé des boîtes mail ou des répondeurs téléphoniques pour répondre à leurs questions. Cependant l'obtention de la réponse arrivait avec un délai de plusieurs jours. Or le pharmacien, le médecin a besoin de réponses immédiates pour informer le patient sur son traitement avant qu'il ne reparte à son domicile. Dans ces dispositions, comment transmettre la bonne information au patient pour le former avec des connaissances validées ? C'est pour répondre à ce constat que l'entreprise Posos, créée dans le nord de la France, s'est lancée dans l'aventure de l'entrepreneuriat en janvier 2018. Elle est aujourd'hui installée à la station F à Paris, endroit bien connu des jeunes startpers. Son PDG et fondateur, Emmanuel Bilbos, a eu la gentillesse de m'accorder une interview, qui est à retrouver en intégralité en Annexe 1.

Posos est un logiciel installé sur le site internet des laboratoires pharmaceutiques. **Grâce à l'intervention de l'intelligence artificielle, le logiciel est capable de comprendre une question posée par l'utilisateur (ici le médecin et le pharmacien) et d'y répondre en extrayant des phrases ou des sections de textes issues d'un ensemble de sources d'informations fiables de la littérature scientifique. (47)**

Prenons un exemple réel, le pharmacien ou le médecin devant un patient se pose une question sur un médicament. Il se connecte sur le site du laboratoire, clique sur l'onglet "Question" et tape sa question. La requête arrive sur les serveurs de Posos qui se charge de comprendre et de répondre à la question. La réponse est renvoyée sur le site web du laboratoire. Le traitement de la question se fait chez Posos mais pour l'utilisateur c'est invisible. Posos est intégré dans le site web de l'industriel

Le système fonctionne grâce à plusieurs types d'algorithmes, faisant intervenir ;

- **de l'intelligence artificielle supervisée** : qui correspond au recensement de dizaines de milliers de questions usuellement posées par les professionnels de santé. A la main, chaque question est étiquetée et classée : cette question porte sur tel sujet et demande tel type d'informations dans la réponse. Ce travail répétitif réalisé par des pharmaciens, l'objectif est d'instruire à l'algorithme le schéma à suivre pour qu'il puisse, à son tour, classer la question en fonction de son sens avant d'y apporter une réponse. L'objectif est que l'algorithme

reproduire un comportement qu'on lui a appris à partir d'une base déjà interprétée par un humain

- **de l'intelligence artificielle non supervisée** : c'est la transformation du vocabulaire médical (chaque mot) en vecteurs mathématiques. Le but est de regrouper un champ de mots ou des associations de mots qui ont le même sens : « mal de tête » « céphalées » « maux de crâne » qui ont des vecteurs mathématiques très proches même si d'un point de vue orthographique ils sont éloignés les uns des autres. Ces vecteurs cheminent ensuite vers la même compréhension ou réponse. On fait parcourir par l'algorithme des millions de textes médicaux pour que celui-ci déduise que certains mots apparaissent toujours dans le même contexte et ont par conséquent un sens proche.

En termes d'intelligence artificielle, les algorithmes parcourent des textes et les comprennent, autrement dit, une composante du **text mining**. Puis dans un second temps, plus logiciel parcourt de textes, plus on lui pose de questions, plus il sera capable d'y répondre et de manière précise selon la technique du **machine learning**.

Posos est un outil qui soutient le médecin et le pharmacien dans la démarche de formation du patient. En leur apportant de manière simple et rapide des réponses à leurs questions auxquelles ils n'avaient pas accès jusqu'alors par la difficulté et la complexité d'accéder à la littérature scientifique. Le professionnel de santé peut dispenser une formation au patient en lui apportant des connaissances validées par les recommandations officielles. En proposant également sa solution au patient, si tel est le souhait de l'industriel, Posos agit alors directement sur la formation du patient en lui fournissant directement des données validées sur sa maladie et son traitement. Une fois formé, le patient peut gérer sa maladie de manière autonome.

### 3.2.2.2. Impliquer et former, agent virtuel et génération de langage naturel pour accompagner les patients touchés par le cancer

Wefight

Etudions maintenant l'exemple de WeFight, entreprise qui a développé un agent conversationnel à disposition des patients atteints de cancer. De la même manière, l'interview de Benoît Brouard, PDG et co-fondateur de l'entreprise est à retrouver dans l'annexe 2.

Dans ce même objectif d'impliquer et former le patient dans la prise en charge de sa maladie et réduire sa dépendance au médecin ; une start up, WeFight a créé un agent conversationnel. Cet outil est capable de tenir une réelle conversation avec l'utilisateur dans l'air thérapeutique particulière du cancer (48).

Cet agent virtuel, nommé Vik, automatise le suivi des patients atteints de cancer. Il est possible de discuter avec lui via internet, par SMS ou sur Messenger (la messagerie attachée à Facebook). Pas d'application à installer, vous discutez avec Vik exactement comme si vous discutiez avec un ami.

La volonté de WeFight est de rassurer les patients lorsqu'ils sont seuls à leur domicile, de répondre à leurs questions, de les soutenir en cas de dépression passagère et en contrepartie libérer du temps pour les équipes soignantes.

Les patients se sentent également plus libres de poser des questions. L'agent virtuel à leur disposition tout au long de la journée, sans avoir la crainte d'oublier les questions au moment de la consultation et sans jugement.

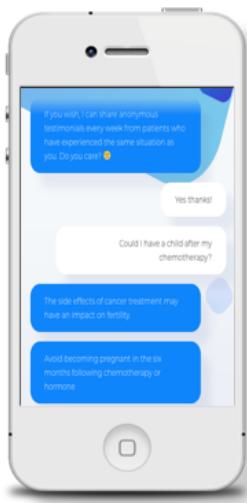


Figure 11 : Présentation de l'agent conversationnel Vik (48)

L'intérêt de WeFight est axé autour de trois piliers :

- **Rappels** : Vik envoie des rappels de prise de médicaments, ce qui permet d'améliorer l'observance du traitement.

- **Carnet de suivi** : dans lequel sont regroupés tous les effets secondaires dus aux traitements entre deux visites. Lors de consultation, le patient peut partager ses données avec son médecin pour les analyser et y remédier si possible.
- **Education thérapeutique** : dans cet axe apparaît la réelle innovation. L'agent conversationnel Vik est capable de répondre à toutes les demandes du patient et ce de manière personnalisée pour l'accompagner, l'encourager, le former, lui faire comprendre sa maladie, son traitement et lui apporter des astuces à appliquer au quotidien.

Ces conseils sont délivrés au travers d'une boîte de conversation, des messages sont échangés entre le robot et le malade aussi naturellement que si l'utilisateur discutait par message avec un ami. Vik est capable de tenir une réelle conversation. En premier lieu, il comprend la question posée, l'intègre, la filtre et extrait les connaissances qu'il souhaite partager en fonction de la question posée. Il met ensuite en forme la manière dont il va présenter la réponse avec de réelles phrases qui le rendent plus "humain" et plus proche de l'utilisateur. Il est capable de couvrir tous les aspects et les étapes qui jalonnent le parcours de soin d'un patient atteint de cancer.

Vik répond aussi bien à des questions relatives aux traitements qu'à des questions plus personnelles, telles que le remboursement par la Sécurité Sociale d'une perruque ou le moyen de prendre soin de sa peau et limiter les effets secondaires des chimiothérapies. L'agent répond à des questions factuelles mais également à des questions plus psychologiques sur le ressenti du patient, lorsqu'il se sent seul et désemparé face à la maladie, il joue un rôle de soutien moral. L'agent conversationnel peut être aussi utilisé par l'entourage de la personne atteinte de cancer. Si Vik est en mesure d'accompagner le patient, il sait aussi donner des conseils et de former l'entourage du malade sur le comportement à suivre pour entourer au mieux la personne fragile.

Basé sur des technologies de **machine learning et la génération de langage naturel**, le chatbot est l'exemple type de l'outil faisant intervenir l'intelligence artificielle.

La génération de langage naturel, c'est la capacité de Vik à comprendre une question posée par un être humain, à l'écrit en l'occurrence.

En parallèle, les algorithmes de machine learning permettent à Vik de s'améliorer avec le temps. Les chefs de produits qui sont professionnels de santé entraînent les algorithmes, en instruisant à Vik les bonnes ou les mauvaises réponses, en ajoutant de nouvelles questions ... On parle de machine learning car Vik s'améliore au cours du temps par l'utilisation.

Tous les conseils et informations proposés à l'utilisateur ont été écrits et validés par des professionnels de santé à partir des recommandations officielles. Ceci assure la fiabilité des données dans une aire thérapeutique aussi sensible que la gestion du cancer.

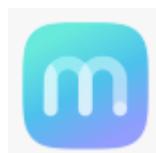
A la fois conseiller, protecteur et formateur, cette application est une source de soulagement et accompagne les patients et leur proche sur le chemin de la rémission. En leur apportant une source de connaissance pour améliorer la gestion de la maladie au domicile du patient.

WeFight est un bel exemple d'entreprise qui s'inscrit dans la volonté de former et d'encourager les patients pour les autonomiser et leur donner plus de force face au cancer.

Par le soutien psychologique qu'offre l'application au patient, Vik est un réel coach dans le suivi du traitement quand on sait que le patient a tendance à arrêter son traitement lorsque les effets secondaires deviennent trop durs à supporter. Un soutien qui entretient la motivation du malade au quotidien.

Une fois le patient formé et impliqué, arrive alors un nouvel aspect de l'autonomisation du patient, la motivation.

### **3.2.3. Motiver, reconnaissance visuelle, système expert et machine learning pour faciliter le contact entre le patient et le laboratoire**



Pour rendre le patient autonome, certaines clefs sont à respecter. Un maître mot prévaut dans ce domaine : la motivation. (49)

Un patient motivé est un patient convaincu de l'importance de son rôle pour lui-même, par un changement de comportement par exemple.

Le processus pour autonomiser le patient n'est pas un linéaire mais souvent fait de hauts et de bas. Si le patient débute sa formation plein de bonne volonté en voulant appliquer correctement les conseils, il arrive un moment où le patient se lasse et se pose des questions "est-ce vraiment utile ?" "Si je ne le fais pas, quelle sera la différence ?" et finalement se retrouve confronté à la réalité "J'ai

*envie de surveiller ma glycémie trois fois par jour, mais tous les midis je déjeune avec des collègues. Je suis embêté car je ne veux pas qu'ils soient au courant"*

Arrive alors le danger de la rechute et de l'arrêt des traitements et des efforts comportementaux. Le professionnel de santé doit être attentif au patient et trouver des moyens pour le remotiver.

La motivation est un processus qui se construit et n'est jamais définitivement acquis. Il faut savoir l'entretenir. Pour soutenir les professionnels de santé dans cette démarche, certaines entreprises ont lancé sur le marché des solutions innovantes. C'est le cas de Médicus AI, une entreprise autrichienne implantée en France depuis un an. Son objectif est de simplifier la relation entre le patient et le laboratoire d'analyse médicale (49).

Il faut savoir que dans le monde laborantin, le compte rendu médical n'a pas évolué depuis les années 60, des feuilles d'analyse sont transmises au patient. Bien souvent ce dernier est perdu face aux résultats dont il ne comprend pas le sens. Le médecin biologiste, lui, perd du temps à expliquer au patient la signification. C'est dans ce contexte qu'intervient Médicus AI. En travaillant d'un côté avec les médecins biologistes, pour faciliter leur exercice et de l'autre, avec le patient qui, généralement après ses examens de santé, se retrouve seul et désemparé face à une feuille d'analyse dont il ne comprend pas le sens. Médicus AI se place comme une interface entre ces deux parties. Un logiciel pour les laboratoires et une application smartphone pour les patients. Géry Pruvost, le directeur de la filiale France, a eu la gentillesse de me consacrer un moment pour répondre à mes questions au cours d'une interview téléphonique (Annexe 3).

A l'heure actuelle, les laboratoires biologiques ont tendance à se regrouper pour former des groupements. Chaque laboratoire était auparavant équipé de leur propre logiciel d'analyse, non compatibles entre eux et dont même le langage diffère. Difficile dans cette situation de d'homogénéiser dix laboratoires dont chacun a ses habitudes et son mode de fonctionnement.

Médicus AI propose une solution qui comporte plusieurs aspects (50):

- pour le laboratoire : un logiciel unique pour harmoniser tous les langages biologiques issus des différents logiciels précédemment utilisés par les laboratoires
- pour les médecins biologistes : un logiciel qui permet d'automatiser l'analyse et la validation des comptes rendus d'analyse tout en gardant le contrôle du contenu envoyé au patient
- pour le patient : modernisation du compte rendu d'examens. S'affranchir du compte-rendu papier, place au compte rendu numérique interactif augmenté.

Médicus AI installe sa solution sur le système informatique du laboratoire. De son côté, le patient télécharge l'application du laboratoire sur son smartphone. L'objectif est que le patient ne reçoive plus de bilan sanguin papier mais une notification sur son téléphone où il peut consulter directement son rapport de manière augmentée.

Du côté du laboratoire, face à un compte rendu d'analyse, Médicus AI est capable d'analyser chaque facteur biologique testé et de le mettre en relation avec les autres facteurs. Medicus AI couvre actuellement tous les biomarqueurs les plus testés (sanguins, urinaires et fécaux) par l'intervention de l'intelligence artificielle. En fonction des résultats, le logiciel liste des maladies plausibles, et propose au biologiste des tests supplémentaires à réaliser ou des spécialistes à consulter pour confirmer ou infirmer le résultat et établir un diagnostic précis. L'idée n'est pas de remplacer le médecin mais de l'aider dans sa démarche de diagnostic.

De l'autre côté, le patient utilise son application mobile, dans laquelle sont regroupés tous les historiques médicaux, les antécédents personnels et familiaux, les maladies déjà diagnostiquées, les médicaments prescrits ... tous les nouveaux comptes-rendus y seront ajoutés. Médicus AI offre plusieurs manières de saisir les données dans l'application :

- La saisie manuelle, un processus conçu pour être simple et intuitif
- Par la prise en photo du compte-rendu papier qui s'intègre automatiquement dans l'application par reconnaissance visuelle
- Par la connexion de l'application aux autres appareils ou applications de santé
- Si le laboratoire de biologie médicale travaille déjà en collaboration avec Médicus AI, alors, les données de santé peuvent être importées directement par le laboratoire.

Une fois les données de santé renseignées dans l'application, la valeur ajoutée de Médicus AI est **l'interprétation des rapports médicaux et les données de santé en un langage compréhensible pour le patient avec des explications personnalisées grâce à l'intelligence artificielle. Médicus AI met en lumière les facteurs biologiques analysés qui ne rentrent pas dans les normes officielles pour fournir des conseils de santé personnalisés en fonction des résultats de l'analyse, des recommandations pratiques ou un coaching en hygiène de vie.** Plus le logiciel analyse de comptes rendus, plus il est capable d'analyser finement les suivants, selon le principe du **machine learning**. Avant de transmettre les résultats au patient, le médecin biologiste a toujours la main pour modifier s'il le souhaite les recommandations, soit pour un patient précis ou pour tous les patients à venir.



Figure 12 : Présentation de l'application Médicus AI pour les patients (50)

Comment cela fonctionne ? Chez Médicus AI, l'intelligence artificielle intervient de quatre manières.

Premièrement, par utilisation d'un système expert pour prodiguer des conseils en santé. Un ensemble d'environ 320 000 règles sont intégrées dans la solution. Grâce à l'intelligence artificielle, ces règles s'adaptent en fonction des valeurs biologiques, du profil des patients et des scores de risque auxquels ils répondent. En fonction de ces paramètres définis, le système peut donner des conseils santé personnalisés. Ce système expert est mis à disposition des biologistes qui peuvent à tout moment valider ou modifier les conseils prodigués avant de les envoyer au patient. Le biologiste reste garant de l'information transmise au patient. Pour chaque rapport biologique, il peut décider soit d'envoyer le rapport sans modification, soit de modifier la règle pour s'adapter à un patient en particulier, soit de modifier la règle pour l'ensemble des patients qui ont ce type de profil.

Une seconde partie de l'entreprise utilise l'intelligence artificielle pour le diagnostic. Une interface dédiée au médecin, qui, en fonction des données biologiques et de l'état de santé du patient propose une liste de pathologies suspectées. Puis, en fonction de cette liste, l'application avance une

série de tests supplémentaires et de médecins spécialistes à consulter pour valider ou invalider le diagnostic.

Une troisième partie où le patient prend en photo son rapport d'analyses biologiques et l'analyse sera faite automatiquement en fonction des guidelines grâce à la reconnaissance visuelle intégrée dans l'application.

Enfin, le dernier aspect de Médicus AI qui fait intervenir une composante d'intelligence artificielle découle du machine learning dans un contexte où les laboratoires fusionnent mais leurs systèmes informatiques ne communiquent pas entre eux. Elle concerne l'interopérabilité des données de santé. Autrement dit, quand Médicus AI va s'implanter dans un laboratoire d'analyse médicale, les données de santé doivent être codifiées de manière automatique pour qu'elles soient reconnues par tous les logiciels utilisés par les laboratoires. Par exemple, un « Total Cholestérol » chez deux laboratoires va être appelé par deux noms différents, certains le nommeront « Tot Chol », d'autres « Chol ». Une codification nationale a été mise en place pour harmoniser ces appellations, et Médicus AI s'attache à les harmoniser de manière automatique.

Par l'analyse des facteurs biologiques, Médicus AI utilise des propriétés de raisonnement basées sur la littérature médicale des guidelines officielles pour aider les patients à décrypter le jargon médical. Les données biologiques sont analysées puis croisées avec des scores de risque et les habitudes de vie connues du patient, sa vie sociale que le patient aura renseigné dans l'application ... Ainsi, Médicus AI peut créer un profil de santé global à la fois physique et mental. A partir de ces données, on propose des programmes coaching pour motiver le patient dans sa volonté de changer de mode de vie. La partie de coaching intelligent délivre des conseils de santé et des actions réalisables pour instaurer de nouvelles habitudes de vie saine. Un accompagnement personnalisé est proposé à la fois pour l'activité physique, la nutrition ou le sommeil. Cette démarche s'intègre dans un aspect de motivation du patient.

Les utilisateurs de l'application sont sujets à certains types de pathologies. Ce sont généralement des personnes actives atteintes de pathologies chroniques qui nécessitent des tests sanguins réguliers. L'application leur permet de retrouver facilement tous les historiques et partager ces informations avec un médecin de manière simplifiée.

Médicus AI donne le pouvoir au patient de prendre de bonnes décisions, basées sur des connaissances conformes aux guidelines et une compréhension globale pour les placer en tant que décideur et les encourager à prendre en charge eux-même leur santé. Grâce à cet aspect dédié au

patient, Médicus AI est un acteur engagé dans la motivation. Par un suivi régulier de l'état de santé et des conseils de santé personnalisés, il aide l'utilisateur dans sa volonté de se prendre en main et le soutient dans la poursuite des efforts, un nouveau coach médical à disposition du patient quand il en a besoin, pour maintenir la motivation.

Médicus AI apporte une très large solution pour faciliter la relation entre patient et laboratoire. Pour ces patients atteints de maladies chroniques, l'application de suivi et de conseil se place comme un coach pour entretenir la motivation du patient nécessaire au bon suivi du traitement.

De manière générale, autonomiser le patient est un processus qui repose sur plusieurs piliers. En partenariat avec le médecin, lorsque le patient a compris les tenants et les aboutissants de sa maladie et les risques qu'il encoure, il va naturellement se sentir responsable de sa santé et s'impliquer dans sa gestion. Une fois le patient en pleine conscience de la situation, le médecin doit le former sur sa maladie et son traitement pour qu'il acquière de nouveaux réflexes. Enfin, une fois ce mode de pensée intégré, il faut régulièrement l'entretenir par le biais de la motivation. En parallèle, il faut que le professionnel de santé soit conscient de la différence de chaque individu et de l'obstacle que ces changements peuvent présenter. Il doit savoir s'adapter à chaque patient pour apporter la meilleure solution et définir ensemble des objectifs atteignables.

Pour soutenir les médecins dans cette démarche, de nombreux acteurs émergent sur ce nouveau marché en pleine explosion. L'intelligence artificielle est un fabuleux partenaire pour donner vie à ses projets tous plus ambitieux les uns que les autres.

Entre l'augmentation du nombre de malades chroniques qui nécessitent être suivis par un médecin et le nombre de professionnels de santé qui diminue, cette nouvelle pensée d'autonomie devient un pré-requis dans de nombreuses situations. Il en va d'un enjeu de santé publique.

En parallèle, il est du rôle du médecin d'éduquer son patient à sa prise en charge pour des questions économiques. Le patient ne veut et ne peut plus être dépendant, il faut qu'il sache prendre des décisions pour lui-même sans faire intervenir un médecin constamment, ce qui engendre des coûts supplémentaires et facilement évitables. Pour remplir ces conditions, il faut que le patient fasse preuve de volonté d'indépendance.

Cette volonté est typiquement ancrée dans l'air du temps, le patient ne souhaite plus être considéré comme ignorant, avec l'image d'un médecin qui détient le savoir et le patient qui écoute sans opposition. Le patient a les moyens de s'informer et de comprendre via internet et désir

s'investir pour recouvrir la santé, un rôle actif et non plus passif comme autrefois. Avant considéré comme détenteur du savoir, le médecin se place désormais comme un partenaire de santé.

### 3.3. Population vieillissante et dépendante, machine learning pour prolonger la durée de vie au domicile de la personne fragile



## TELEGRAFIK

Un des grands déséquilibres qui touche l'Assurance Maladie est le vieillissement de la population. Avec un double effet, d'une part cette population inactive ne cotise plus à la Sécurité Sociale, ainsi, plus leur nombre augmente, plus l'équilibre de l'Assurance Maladie se trouve fragilisé. D'autre part, cette tranche de la population étant plus sujette aux maladies chroniques nécessite généralement plus de soins et de traitements que le reste de la population générale qui, à terme, glisse généralement vers un état de dépendance.

Les projections démographiques prédisent une augmentation de 25 % des personnes âgées de plus de 75 ans d'ici 2025, soit 6,6 millions de personnes et autant de sujets potentiellement dépendants. De manière visuelle, voici la manière dont la population de plus de 75 ans devrait évoluer d'ici 2050.

**Evolution de la Population de plus de 75 ans**

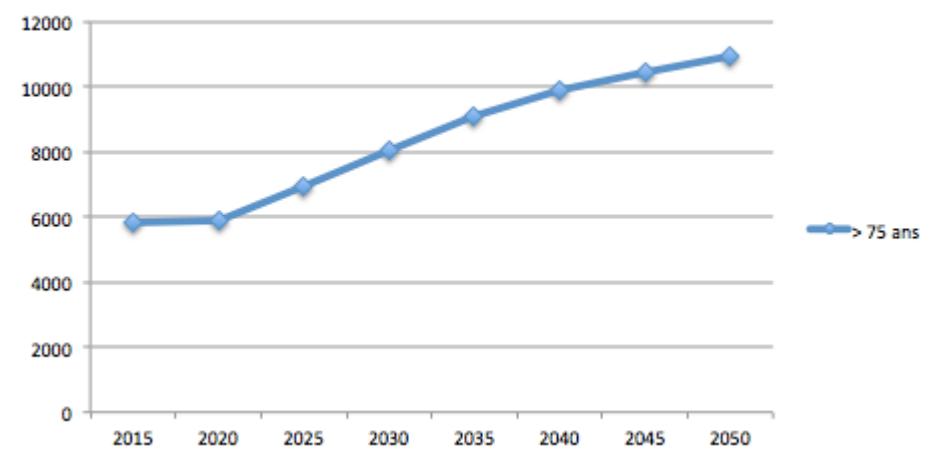


Figure 13 : Courbe de projection d'évolution de la population de plus de 75 ans entre 2015 et 2050 (52)

En 2010, les dépenses liées à la dépendance des personnes âgées s'élevaient à environ 34 milliards d'euros. Somme partagée entre l'état et les familles. Ce chiffre étant en constante augmentation avec le vieillissement de la population, l'évolution des financements s'avère indispensable (51)

Il est incontestable que plus il avance en âge, plus le patient perd en autonomie et le maintien à domicile peut être compromis. Plusieurs solutions peuvent alors être à envisagées, telles que :

- le placement de la personne âgée dans un établissement spécialisé, comme les EHPAD (Etablissement d'Hébergement pour les Personnes Âgées Dépendantes) dont les places sont prisées et rarement accessibles en cas d'urgence. Cette solution n'est pas toujours envisageable par manque de places et bien souvent la personne concernée ne souhaite pas être placée dans ce type de structure.
- Une seconde solution est possible, le maintien à domicile de la personne âgée. Le maintien à domicile s'organise avec le passage régulier d'un infirmier pour les soins si nécessaire et/ou d'un assistant médico-social qui gère le quotidien de la personne dépendante : habillage, toilette, cuisine, courses ...

Cette situation de surveillance et de prise en charge engendre des coûts financiers et humains. En effet, la société ainsi que la famille du patient sont mis à contribution pour offrir un accompagnement personnalisé à leur proche qui perd peu à peu son autonomie. Trouver des personnes disponibles pour se déplacer quotidiennement au domicile des patients, n'est pas toujours une opération aisée due au manque de personnel dans certaines régions de France.

Pour retarder ce choix souvent douloureux pour la personne et sa famille, des solutions numériques existent pour accompagner le patient et rassurer l'entourage. Telegrafik est une société qui s'engage pour le maintien des personnes fragiles à domicile, en résidence senior ou en EHPAD le plus longtemps possible, et ce, en toute sécurité.

Telegraphik est une plateforme intelligente d'analyses de données, basée à Toulouse. Nous n'étudierons que Otono Me Domicile, la solution de Telegraphik qui permet de prolonger le temps de vie du patient à son domicile (53).

**Les proches peuvent veiller à distance sur leurs parents, tout en respectant leur intimité. Grâce à un équipement de capteurs discrets disposés à des endroits stratégiques du lieu de vie.**

La personne âgée ne change pas ses habitudes quotidiennes car le système est presque invisible, sans caméra ni micro, la personne n'est donc ni filmée, ni écoutée.

L'entourage peut suivre à distance les informations de la personne fragile via son smartphone ou son ordinateur grâce à l'application Otono Me.

Par exemple, des notifications informent l'entourage que la personne s'est bien levée ou encore, un SMS peut-être envoyé lorsque cette dernière s'absente trop longtemps du domicile.

Grâce à un récapitulatif de la journée fourni par l'application, l'entourage peut définir les moments où la personne dépendante a le plus besoin de soutien : le matin au réveil, au moment des repas, le soir au coucher ...

En cas de problème, chute ou absence inexpiquée de mouvements, les détecteurs signalent une situation anormale et alertent automatiquement les téléopérateurs. Ces derniers tentent d'établir un contact avec la personne fragile et en cas de problème, les téléopérateurs préviennent une personne de confiance désignée qui vit à proximité et se rend chez la personne pour lui apporter son aide en cas de besoin.

Otonome détecte également des dégradations soudaines (chute, accident) mais également plus lentes dans l'état de santé général de la personne. Lorsque le système analyse une diminution des mouvements au sein du domicile, une diminution globale des temps et de la fréquence des sorties, diminution de la vie sociale ou diminution de l'appétit, le système est en mesure d'en informer l'entourage pour surveiller cette situation.

Ces deux solutions contribuent à prévenir la fragilisation des personnes et la perte d'autonomie.

Le système est composé de différents capteurs :

- 1 boîtier passerelle : qui permet de récupérer les données réceptionnées par tous les capteurs du domicile
- 4 capteurs infrarouges de détection de mouvements : disposés dans des lieux de passage du domicile
- 1 détecteur d'ouverture et fermeture du frigo : permet de savoir si la personne se nourrit et à quel intervalle

- détecteurs d'ouverture et fermeture des portes : pour suivre les déplacements de la personne au sein de son habitat
- boutons alarme déporté, toujours à portée de main du patient (collier ou bracelet) : à utiliser en cas de chute pour prévenir l'entourage

Les données sont échangées entre les différents capteurs, 10 à 12 000 données sont collectées par jour.

Le système a la capacité de récupérer des données depuis tous types de matériels extérieurs au système Télégraphik : détecteurs de mouvements ou appareils médicaux puis de croiser et analyser ces données afin de fournir des services à haute valeur ajoutée pour les professionnels de santé et des aidants familiaux.

Le système analyse différents niveaux d'autonomie du patient :

- les déplacements dans le domicile
- la prise de repas : rythme de vie dissous, désynchronisé, saut de repas. Cette alerte permet aux médecins et à la famille de mettre en place des actions pour prévenir la dénutrition et la déshydratation du sujet âgé.
- la qualité du sommeil et le nombre de levers au cours d'une nuit
- le lien social
- les entrées et sorties du domicile

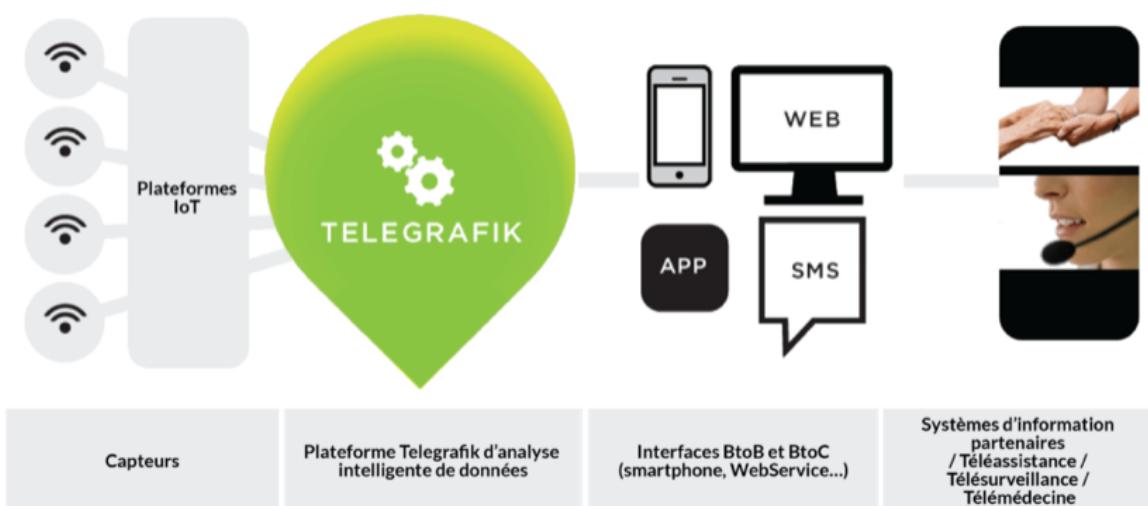


Figure 14 : Schéma de fonctionnement de la solution Télégraphik (53)

Otono Me s'adapte en fonction de la personne et de ses habitudes de vie, on choisit les capteurs qui seront les plus à même de détecter les situations à risque tout en étant le moins invasif possible.

L'intelligence artificielle développée par Telegraphik permet de s'adapter au profil de chaque bénéficiaire par la construction de profils individualisés. En modélisant leurs habitudes, le système est en mesure de détecter en temps réel des situations à risque de natures urgentes ou de dégradation de l'état de santé de manière globale.

**Les données récoltées au cours de l'utilisation ont permis de calculer des modèles d'activité, autrement dit des descriptions mathématiques des habitudes de vie des personnes, un seuil d'activité est déterminé pour définir une situation comme anormale. Le calcul des modèles est auto-apprenant, plus le système est utilisé, plus il est capable de définir une situation comme anormale ou non, toujours selon le principe du machine learning.** Il s'adapte aux évolutions de l'activité de la personne.

De manière large, en temps réel et en continue, Telegraphik compare les différents taux d'activité de toutes les personnes équipées de ce type d'installations. Si un écart trop important est détecté pour l'un des bénéficiaires, cela peut correspondre à une situation d'urgence. Le module de détection d'anomalie prend alors la décision d'envoyer l'alerte. D'autre part, de manière individuelle, le système évalue l'évolution de l'activité de la personne sur un plus long terme et détecte celles qui font l'objet d'une dégradation.

Teleraphik et sa solution Otono Me permettent de maintenir la personne fragile à son domicile en garantissant sa protection et sa sécurité.

Une solution qui permet de réduire les coûts de prise en charge aussi bien pour la famille que pour la société en retardant l'entrée de la personne fragile en établissement spécialisé. Cette solution est particulièrement bien accueillie par les familles et les soignants et qui se justifie au sein d'un univers où la population gériatrique est appelée à exploser dans les années à venir.

### 3.4. Attribuer le bon médicament au bon patient, le machine learning

Depuis le début du XXème siècle, les laboratoires pharmaceutiques ont découvert ou développé des molécules avec l'objectif de traiter des populations entières. Le système offrait des traitements de qualité à des coûts supportables par l'assurance maladie. Les prescriptions à large échelle assurant la rentabilité de la molécule pour le laboratoire fabriquant grâce au remboursement de ces thérapies. Mais aujourd'hui le système s'essouffle. Le nombre de maladies chroniques augmente se répercutant par un accroissement du volume de médicaments prescrits se traduisant par une hausse globale des dépenses de santé. Or, les budgets alloués par le gouvernement pour le système de santé, connu sous le nom de ONDAM, sont constants ou en faible augmentation non proportionnelles à l'explosion des demandes de santé. Résultat, la balance n'est plus à l'équilibre.

Même si la grande majorité des médicaments disponibles actuellement sur le marché s'inscrivent encore dans ce modèle, ces traitements de masse ont tendance à reculer face à l'arrivée d'une nouvelle génération de thérapies personnalisées qui s'adaptent à chaque patient et offrent des innovations jamais atteints jusqu'alors, avec une efficacité améliorée et des effets secondaires réduits. Même si leurs applications sont très larges et touchent toutes les aires thérapeutiques : cancers, maladies cardiovasculaires, neurodégénératives ... ces soins qualifiés de "premium care", avec des prix bien plus élevés ne peuvent être pris en charge par l'assurance maladie faute de budgets suffisants (54) (55)

Qu'ils s'agissent de thérapies innovantes, ciblées, d'immunothérapie, de Car-T Cell, les thérapies sont des plus en plus efficaces mais aussi de plus en plus chères dues à leurs coûts de développement records.

La situation est telle, que le système de santé français ne peut plus se permettre d'offrir ce type de soin à toute la population.

Une autre part du problème repose sur le constat que dans les cas des thérapies ciblées en particulier, le taux de réponse du malade au traitement est parfois faible au regard des coûts investis. (56) Pour illustrer cette réalité, prenons le cas de traitements par thérapie ciblées de tumeurs solides, pour le Sunitinib malate (Sutent®) dont le taux de réponse est de 20%, le Sorafénib (Nexavar®) de 11% et Axitinib (Aguron®) 44%. Des taux de réponse relativement faibles, la majorité des personnes traitées (plus de 50%) ne répondent pas aux traitements administrés. La gamme de prix de ses

thérapies se situe entre 40 000 et 50 000€ par an et par patient et sont remboursées à 100% par l'assurance maladie (57) (58).

Ces thérapies offrent en effet des résultats prometteurs chez les patients à condition que ces derniers soient répondants, mais restent inactives sur la majeure partie de la population.

Face à de telles dépenses engagées quand on se place à l'échelle d'une population générale, pour le nombre de patients chez qui la thérapie se révèle inefficace, la perte d'argent est considérable.

Pour rationaliser les dépenses, s'il est complexe de traiter le problème à la source et de faire baisser le prix des médicaments, l'idéal serait en revanche de connaître la réponse du patient au traitement. De prescrire le bon médicament au bon patient afin de le traiter efficacement du premier coup. Ce schéma éviterait ainsi de dispenser un médicament dont le taux de réponse sera nul sur un patient "X", et économiser de l'argent. C'est un des aspects de la médecine personnalisée, le bon médicament pour le bon patient.



C'est l'objectif que tente d'atteindre l'entreprise ExactCure, au moyen de l'intelligence artificielle (59).

**ExactCure offre au patient ou au médecin la possibilité d'étudier en temps réel l'effet du médicament sur son corps, de manière individuelle et de pouvoir prendre le bon médicament au bon moment.**

Une fois que le médicament a été choisi, le système est capable de dire quelle est la bonne posologie, les bons intervalles, la bonne forme galénique à prendre pour éviter les sous-dosages, les surdosages et les interactions médicamenteuses. Les résultats sont présentés sous forme de graphiques animés et accessibles au médecin.

Outre le fait que cette solution soit très simple d'utilisation, une application à télécharger pour le patient ou un logiciel sur l'ordinateur du médecin, elle présente un avantage unique. En effet, l'analyse est faite sans aucun prélèvement sanguin, simplement par une simulation.

De manière plus technique, ExactCure se base sur 2 piliers.

La première ne repose pas sur l'intelligence artificielle, mais sur une approche unique de biologie croisée à des mathématiques, **une technique de "bio-modélisation"**. La réponse individuelle et les interactions médicamenteuses peuvent être déterminées à partir de règles pharmacocinétiques. Comme évoqué précédemment, en quelques minutes, le patient sur son téléphone mobile ou le médecin depuis son ordinateur au cabinet médical crée un jumeau digital sur la base des caractéristiques personnelles : poids, âge, sexe, médicaments co-prescrits, clairance, créatine, mutations génétiques ...

Les algorithmes développés garantissent des calculs du taux de réponse personnelle avec un très haut degré de précision en fonction des caractéristiques pharmacocinétiques du médicament et du profil du patient.

Un second aspect, dans lequel intervient le **machine learning pour capter le ressenti du patient**. La première partie était très objective grâce aux calculs, la seconde est beaucoup plus subjective. L'objectif est d'intégrer, dans le modèle de calcul, le ressenti du patient. Pour cela, des informations sur le ressenti sont collectées grâce à des questionnaires (échelles de 1 à 10) ou via des objets de santé connectés (qui déterminent la sudation ou le rythme cardiaque). Ces données sont ensuite traduites en équations. Cette analyse s'affine au fur et à mesure des utilisations, grâce au machine learning. Plus les patients partagent leurs ressentis, plus le modèle est capable de déterminer la juste dose de molécule et le rythme d'administration qui permettent d'obtenir les résultats attendus.

Aujourd'hui, ExactCure couvre un certain nombre de molécules et souhaite grandir maladie chronique par maladie chronique en augmentant ses bases de données de médicaments. Le premier projet s'intéresse aux maladies inflammatoires chroniques et la gestion de la douleur. Aujourd'hui, 72 molécules sont référencées sur cette aire thérapeutique, multiplié par le nombre de formes galéniques et les génériques, cela équivaut à environ 1300 références dans le commerce. L'objectif des prochains mois sera de se pencher sur les maladies cardio-vasculaires, maladies neurologiques (anxiété, épilepsie, dépression, maladies neurodégénératives, schizophrénie, bipolarité), les maladies du poumon, cancers, maladie du ventre (maladie du Crohn, MICI).

Ce type d'innovation s'applique parfaitement à des patients atteints de maladies chroniques polymédiqués.

ExactCure souhaite être reconnu comme dispositif médical de classe IIa (présentant un risque d'utilisation potentiel modéré), ce qui suppose une organisation de production en interne, avec une série de processus à suivre.

Si aujourd’hui ExactCure est en mesure de déterminer les posologies et les rythmes d’administration idéaux pour une molécule déjà testée sur le patient, dans quelques temps on peut imaginer connaître, de manière toute aussi précise, le taux de réponse d’un patient à une nouvelle thérapie sans même avoir besoin de l’administrer. Le médecin pourrait ainsi prescrire en première intention le traitement qui sera le plus adapté d’emblée afin d’avoir un meilleur taux de guérison ou de rémission tout en utilisant le moins de lignes de traitement possibles. C’est moins de souffrance pour le patient, par réduction des effets secondaires, une efficacité augmentée dans la lutte contre l’évolution de la maladie et autant d’économies de manière plus globale pour la sécurité sociale.

### **3.5. Prévention des comportements et environnements à risque, reconnaissance visuelle et machine learning**

Comme évoqué au cours de l’étude de la sécurité sociale, les habitudes comportementales des populations vont entraîner dans les années à venir une vague de maladies chroniques comme la France n’a jamais connu. Cancer, obésité, hypertension, diabète autant de maladies qui peuvent, dans certains cas, avoir une composante induite par notre comportement et nos choix de vie. Pour limiter cette explosion, le gouvernement et les instances de santé nationale misent sur un levier central : la prévention.

La culture de la santé s’apprend dès le plus jeune âge et est enseignée à nos enfants au moment de leur entrée à l’école au moyen de campagnes de dépistage ou de vaccination par exemple. La promotion de la santé est enseignée comme les autres matières pour comprendre les répercussions directes que peuvent avoir nos comportements sur notre santé. Ces campagnes de prévention touchent des pans de vie aussi larges que la consommation de tabac ou d’alcool, les conséquences d’une alimentation déséquilibrée ou des conduites sexuelles à risque.

Même si les enfants ont l’occasion d’être informés sur ces réalités, les répercussions de ces actions de prévention ne sont pas toujours visibles lorsque les enfants deviennent adultes. En effet, l’individu résulte d’une multitude de facteurs variés composant avec l’histoire personnelle aussi bien que sociale. Les sociologues savent la force de l’influence qu’exerce l’entourage de l’individu dans son comportement. Par mimétisme, même s’il sait que la conduite est à risque, le facteur social et familial l’emporte souvent sur la connaissance. (60)

On comprend dès lors l’importance des campagnes de prévention à la fois portées par le gouvernement mais également par les pairs pour que le message soit mieux reçu et accepté par les populations cibles. Pour montrer une efficacité significative, les campagnes de prévention doivent

être renouvelées régulièrement et à des moments clé de la vie de l'individu, pour que les messages diffusés fassent écho avec son vécu. (60)

Avant de parler de plan de prévention, il convient de lui donner une définition. La prévention des maladies, selon la banque des données en santé publique, "correspond à des mesures permettant non seulement d'empêcher l'apparition de la maladie comme la réduction d'un facteur de risque, mais également d'arrêter sa progression et de réduire ses conséquences une fois la maladie établie." (61). Classées en trois catégories, primaire, secondaire ou tertiaire, les actions de prévention correspondent au moment où elles interviennent dans l'évolution de la maladie.

La prévention primaire regroupe l'ensemble des actions qui visent à diminuer l'incidence d'une maladie sur une population et réduire autant que possible l'apparition de nouveaux cas malades. Ces actions sont mises en place en amont de la maladie, lorsque le sujet est sain pour éviter son apparition. (61)

La prévention secondaire a pour objectif de diminuer la prévalence de la maladie apparue chez l'individu. Lorsque les premiers symptômes de la pathologie apparaissent, la prévention secondaire est l'ensemble des comportements à adopter pour limiter la progression de la maladie ou diminuer les facteurs de risque. Elle incite au dépistage et au diagnostic.

Enfin, la prévention tertiaire est composée de tous les actes qui visent à réduire les complications, les invalidités ou les rechutes engendrées par une maladie déjà installée. Donc amoindrir les effets et séquelles d'une pathologie ou de son traitement.

Le champ d'action de la prévention est excessivement large. En fonction du moment auquel on se place par rapport au développement de la maladie, il existe toujours une action de prévention qui peut être mise en place.

Une nouvelle entreprise a fait le choix de s'engager dans la prévention de la santé auprès de la population. Dans le domaine de la prévention alimentaire, il s'agit de Foodvisor, une application mobile de suivi nutritionnel (62).



Classé dans la catégorie de prévention primaire, sa volonté est simple et universelle : réapprendre à la population à manger sainement, dans un objectif de rééquilibre alimentaire et de perte de poids. Foodvisor se place comme un acteur majeur de prévention face à certains facteurs de risques auxquels est confronté la plupart de la population actuelle vivant dans les pays développés.

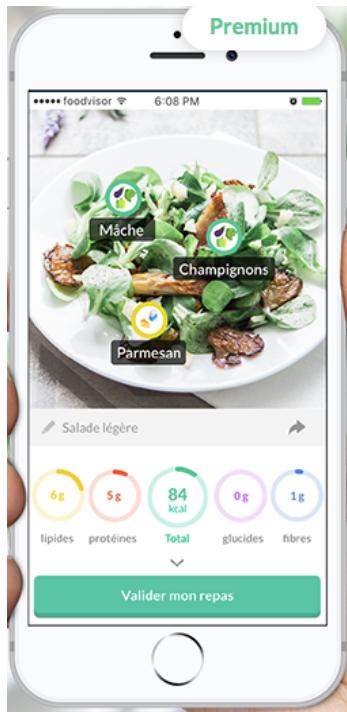


Figure 15 : Présentation de l'application Foodvisor (62)

Son utilisation simple et ludique s'insère facilement et rapidement dans les nouvelles habitudes de vie de l'utilisateur.

Après téléchargement de l'application et renseignement des informations personnelles, le service de Foodvisor est prêt à l'emploi.

**Par simple prise en photo de l'assiette que l'utilisateur s'apprête à manger, grâce à des technologies de reconnaissance visuelle liées à l'intelligence artificielle, l'application détecte les aliments présents dans l'assiette.**

**En fonction des aliments reconnus, l'application est en mesure de fournir des informations nutritionnelles puis inscrits ces données dans un tableau de bord, qui contient tous les repas précédents. Comme un bon nombre d'applications de reconnaissance, elle**

**est également dotée d'un système de machine learning. Plus l'application est utilisée, plus elle est capable de déterminer des aliments avec précision.**  
**Ainsi, l'utilisateur peut suivre de manière simple ses habitudes alimentaires.**

Toutes les données alimentaires sont regroupées dans un tableau de bord, puis, tel un nutritionniste, l'application fournit des conseils d'alimentation et de cuisine adaptés à chacun pour rééquilibrer les habitudes alimentaires en fonction de ses habitudes, avec l'objectif de perdre du poids et diminuer, *a fortiori*, les risques de diabète, d'hypertension et de maladies cardiovasculaires.

Grâce à sa partie podomètre, Foodvisor prend en compte l'exercice physique effectuée et sa correspondance calorique. Grâce à des calculs, les quantités de calories absorbées et brûlées sont reportées de manière visuelle dans des graphiques accessibles par l'utilisateur pour suivre l'évolution de la perte de poids et des efforts accomplis.

D'autre part, par un chat avec un nutritionniste, réel cette fois-ci, une personne diplômée se tient à disposition de l'utilisateur pour l'écouter et répondre à ses questions.

Enfin, une dernière partie propose des recettes simples et équilibrées, ciblées en fonction des déséquilibres alimentaires de l'utilisateur

Pour atteindre ses objectifs de prévention, Foodvisor enregistre les progrès de l'utilisateur, les améliorations visibles ou non sur la santé et le bien-être général. Il est également capable de mettre en lumière les faiblesses de l'utilisateur pour l'accompagner au mieux.

En formant les utilisateurs aux bonnes pratiques alimentaires, Foodvisor est un agent de prévention qui intervient au cœur de la vie courante de l'utilisateur, un coach personnalisé et adaptable au rythme de vie de l'utilisateur.

### 3.6. Empowerment du patient

Chaque innovation étudiée ci-dessus s'inscrit dans une démarche globale connue sous le nom "Empowerment du Patient" ou "Autonomisation et prise du pouvoir du Patient".

Que ce soit pour la gestion autonome du diabète avec PKVitality ou Hillo, pour la formation et l'implication du patient avec des idées telles que Posos ou WeFight, l'entretien de la motivation via Médicus AI, le maintien du patient à domicile avec Télégraphik, la personnalisation du traitement

grâce à ExactCure, ou le soutien d'action de prévention avec des start up comme Foodvisor, toutes les pensées convergent vers la même théorie : l'Empowerment du patient.

Sujet très actuel, on entend par le terme "d'empowerment" la prise en charge de l'individu par lui-même de manière globale, aussi bien économique que professionnelle, sociale ou familiale.

Initialement, ce concept, venu des Etats-Unis, ne concerne pas exclusivement le domaine de la santé. Il est issu du sentiment qu'éprouvent certains Américains de diminution ou de perte de leur autonomie face à leur environnement, exprimé par le nom "Powerlessness". En opposition à cette façon de penser, des personnes et des collectivités agissent pour émanciper les gens et les pousser à agir par eux-mêmes créant une dynamique générale, nommée Empowerment ou prise de pouvoir, qui concerne à la fois l'individu, la communauté et l'organisation. (63)

Du mot "Empowerment" nous retiendrons le mot "Power" en anglais ou "le Pouvoir" en français. Traduit littéralement par la prise de pouvoir, accès au pouvoir ou pouvoir revendiqué, les traductions sont nombreuses. Autrement dit, le patient devient acteur de sa santé. Le rôle passif qui lui était attribué dans les années 80 n'est plus valable, le patient revendique sa place en tant qu'acteur au sein du système de santé et veut prendre part aux décisions qui le concernent en tant qu'expert (64)

**L'empowerment se définit avec une idée majeure : le patient est placé au centre du système de pensée et les acteurs de santé gravitent autour de lui. L'attention est recentrée sur le patient et non plus sur le problème.**

Cette révolution de pensée est permise par une **évolution générale de la société** et une volonté commune de toutes les parties prenantes d'aboutir à l'émancipation du patient. Le malade individuellement mais aussi supporté par des mouvements collectifs, demande à participer aux échanges qui concernent sa santé en toute transparence avec le médecin dans une relation plus équilibrée. Pour se faire entendre du médecin, le patient s'informe et acquiert de nouvelles connaissances. Cet accès au savoir a été largement permis grâce à l'avènement d'internet (65). D'autre part, les législateurs cherchent le moyen de moderniser le système de santé en prônant la participation de l'ensemble des acteurs pour créer une synergie et une meilleure efficience du système, avec pour objectif de réduire les dépenses de santé. Enfin, les équipes soignantes sont en faveur d'une collaboration avec le patient et sont conscientes que le patient peut être une source de savoir grâce à son expérience. Unanimement, les professionnels de santé affirment que l'implication du patient à la fois dans son traitement et dans les décisions favorise sa compliance, l'aide à mieux

vivre sa maladie et à mieux utiliser les ressources qui lui sont proposées (encadrement paramédical, groupes de parole, réseaux de malades, documentation disponible). Cette relation se construit dans la durée et ne se limite plus aux simples temps de consultation.

Plusieurs **éléments structurels majeurs** ont également poussé le patient à se détacher de la coupole du médecin et à prendre le pouvoir face à la maladie : au cours du XXème siècle, encouragé par les avancées de la médecine, les soins alors dispensés en milieu hospitaliers retrouvent une place au sein du domicile des patients. Les évolutions aussi bien pharmacologiques, diagnostiques ou thérapeutiques ont favorisé la réduction du temps moyen de séjour à l'hôpital. En parallèle, largement plébiscité par les pouvoirs publics, on voit apparaître l'essor de la médecine hospitalière ambulatoire ou des services de jour d'oncologie. Une fois rentré chez lui, le patient est incité à rapidement se prendre en charge sans aide extérieure si cela est envisageable.

En parallèle, comme nous l'avons vu, les maladies chroniques explosent, or des études ont montré que les patients atteints de maladies chroniques sont plus actifs sur les communautés digitales de patients : forums, groupes sur les réseaux sociaux, associations de patients. Ils sont désireux d'informations et de plus de transparence en particulier après les scandales qui ont éclaboussé l'industrie pharmaceutique ces dernières années : affaire du sang contaminé, hormones de croissance ou encore vaccin H1N1. Aujourd'hui les patients sont impliqués dans tous les stades de développement du médicament avec un droit de regard, ce qui relève d'une innovation majeure dans ce domaine. Ces évolutions prônées par les associations de patients ont trouvé une résonance législative notamment en matière de démocratie sanitaire avec la loi du 4 mars 2002 relative aux droits des malades et à la qualité du système de santé et dans la loi de modernisation du système de santé votée en 2015.

Pour que l'Empowerment s'intègre naturellement dans le mode de pensée des patients, il faut tenir compte d'un certains nombres de point limitants, énoncé par Keleher (66) :

- Respect de la culture : un prérequis indispensable pour que chaque personne dans son individualité adhère à l'apprentissage de la santé et du bien-être. Il faut que le programme soit pensé localement en fonction de la culture
- Renforcement de la participation volontaire
- Temps et espace pour discuter et identifier les barrières structurelles ou celles qui au contraire facilitent les actions d'autonomisation et des mécanismes pour les surmonter
- Comprendre le rôle du matériel et des forces sociales qui soutiennent les contraintes pour les conditions de vie en bonne santé ou les qualités personnelles en matière de santé

L'empowerment est une réelle révolution dans la façon d'appréhender la nouvelle place du patient, dans le sens où, la société reconnaît que l'expérience du patient contribue au bon fonctionnement du système dans sa globalité et non pas à pour lui seul en tant qu'individu

## 3.7. Les limites de la technologie

Bien que l'intelligence artificielle nous offre de multiples opportunités quant à l'empowerment du patient, comme nous l'avons vu précédemment, il faut également lui reconnaître certaines limites.

### 3.7.1. Le déclin des applications

Ces entreprises que nous venons d'étudier ont choisi le biais d'applications mobiles pour la majorité d'entre elles. C'est effectivement un mode de fonctionnement très répandu des nouvelles technologies aujourd'hui. Mais sommes-nous certains que ce modèle sera toujours d'actualité dans cinq, dix, quinze ou vingt ans quand nous réalisons la vitesse à laquelle se produisent les évolutions technologiques actuellement ?

Des premiers éléments de réponse mettent en évidence une perte de vitesse des applications, plusieurs raisons sont avancées. De récentes études affirment que les utilisateurs téléchargent de moins en moins d'applications sur leur smartphone, la vague d'engouement initiale semble s'essouffler. Une fois l'application téléchargée et installée sur le terminal mobile, le comportement de l'utilisateur a également évolué. La majeure partie des applications ne sont utilisées qu'une seule fois puis laissées dans un coin du smartphone sans être réactivées, voire même jamais ouverte. Cette tendance s'accentue d'autant plus alors que nous savons qu'en moyenne un propriétaire de smartphone utilise à peine une dizaine d'applications par jour. (65) (67)

Selon la phrase d'Apple en 2009, « il y a une app pour ça ». Dix ans plus tard, cette phrase est plus que jamais d'actualité, les applications sont si nombreuses sur le marché que les utilisateurs se retrouvent face à un panel de propositions en doublon, rendant la concurrence féroce pour les concepteurs d'applications et le choix flou pour les patients.

Dans le cas d'applications de santé, l'idéal étant qu'elles soient conseillées par un professionnel de santé afin de garantir leur fiabilité et leur sécurité. Avec cette multiplication

d'applications, qui demandent à chaque téléchargement de remplir un questionnaire complet de santé avant d'être utilisable, le patient ne risque-t-il pas de se décourager avant même d'avoir utilisé la solution ? Une seconde question apparaît, que deviennent les données de santé que l'utilisateur partage ?

### **3.7.2. Les biais de construction des algorithmes**

Selon un autre axe de réflexion, au moment de construire les algorithmes, les concepteurs doivent être particulièrement vigilants au nettoyage et filtrage des bases de données. Cette partie de l'activité demande de réelles compétences et connaissances en gestion des données. En effet, un algorithme qui apprend avec des erreurs, dues à de mauvais filtre et un mauvais nettoyage de la base de données initiale, va inexorablement reproduire ces erreurs et fournir de mauvaises informations à l'utilisateur. Ce biais de sélection n'est pas anodin, tout particulièrement quand on parle de santé.

### **3.7.3. Gestion des données personnelles**

La préoccupation sur la sécurité de la gestion des données de santé est récurrente. Lorsque qu'une entreprise regroupe des données avec le consentement des utilisateurs en vue d'une étude, la création d'une application ou toute autre nécessité, ce consentement est valable dans un cadre précis. Il est parfois tentant pour les professionnels d'utiliser les données déjà collectées pour d'autres utilisations afin de simplifier leurs futures études ou toutes autres actions sachant que les données sont déjà générées et utilisables en l'état. Sans pour autant que la volonté soit malveillante. Cependant, le professionnel doit s'assurer que les données ne seront bien utilisées que dans le cadre des limites posées initialement.

### **3.7.4. Image et réputation**

Dans la continuité des erreurs potentiellement induites par les algorithmes, observons cette fois-ci, la limite du côté des entreprises exploitant ces nouvelles technologies, en termes d'image publique et de réputation. Il y a quelques années, Google a lancé son programme « Google Flu Trend » qui suivait l'évolution des épidémies de grippe grâce à des algorithmes. Pour estimer les évolutions des pics épidémiologiques, Google se basait sur les mots et groupes de mot tapés dans la barre de recherche du navigateur. En fonction du nombre de recherches, les scientifiques de Google

étaient capables d'estimer le nombre de personnes atteintes par la grippe dans une population, en temps réel. La proposition était alléchante, cependant, l'algorithme n'a pas fonctionné de la manière espérée et les chiffres présentés étaient aberrants. Cet épisode a valu à Google de très nombreuses critiques de la part des journalistes et des communautés scientifiques. Son image en a été impactée. Nous parlons de Google qui a la force de faire face à ce genre de situation grâce à sa taille et sa puissance, mais si la même situation avait été appliquée à une plus petite entreprise, les conséquences pouvaient être irréversibles.

### 3.7.2. Les inévitables géants du web

Nous savons que les acteurs qui se lancent aujourd'hui sur le marché du numérique, quel que soient leur taille, doivent s'appuyer sur au moins l'un des géants du numérique et les plateformes de service associées :

- Les géants : GAFAM
- les plateformes
  - o NATU : Netflix, Airbnb, Tesla et Uber, le pôle américain
  - o BATX : Baidu, Alibaba, Tencent, Xiaomi, le pôle chinois

Pour stocker des données, pour bénéficier d'une meilleure visibilité et attirer plus de visiteurs sur leur site internet, pour atteindre le patient ...

La France et l'Europe accusent un retard dans ce domaine, et n'est présente dans aucun de ces acronymes.

Cependant, la France et son président Emmanuel Macron tentent de profiter de la vague du numérique. Grâce à d'importants investissements économiques, nous restons certes dans la course, mais en contrepartie, nous augmentons notre dépendance aux plateformes citées précédemment. En se nourrissant des données que nous leur fournissons, faute d'autres options, ces plateformes augmentent leur valeur. (68)

L'idéal serait de pouvoir nous reposer sur notre indépendance technologique. Or, aucun état n'est aujourd'hui capable de mettre à disposition la force de frappe humaine, financière et structurelle que ce qu'offrent ces géants actuellement. (68) (69)

### 3.7.6. Une faible part de la population réticente

Lancés dans de grands projets d'avenir, nous sommes nous demandé si la population était prête à utiliser ces innovations ? Même si la très large majorité de la population plébiscite l'arrivée des nouvelles technologies en santé et que la moyenne d'âge de la population utilisant des outils internet recule d'années en années. Nous pouvons dire qu'internet n'est plus réservé aux jeunes populations, désormais toutes les générations sont en mesure d'utiliser les nouvelles technologies, il existe néanmoins une part de la population qui reste réticente face à cet engouement. Cette part ne doit pas être négligée.

Pour que les solutions soient viables et pérennes, il faut que les créateurs trouvent le meilleur moyen d'atteindre le patient. Proposer des solutions qui s'intègrent naturellement et le plus simplement possible dans le quotidien des patients pour que leur utilisation devienne réflexe et non pas perçue comme une contrainte, avant que ce dernier n'abandonne la technologie par lassitude.

Enfin, n'oublions pas que dans le domaine de la santé, les relations humaines prévalent sur toutes les technologies. Quand il s'agit d'annoncer un diagnostic au patient, d'apporter la nouvelle de guérison, le médecin n'a pas à justifier sa place. Les groupes de paroles qui accompagnent le parcours thérapeutique des patients atteints de maladies chroniques sont plus nombreux que jamais. Les associations de patients qui soutiennent les malades sur le chemin de la guérison et se battent pour leurs droits sont plus actifs qu'ils ne l'ont jamais été. Le meilleur partenaire du malade reste son entourage.

Il ne faut pas voir l'intelligence artificielle comme une finalité mais comme un moyen de support qui vient suppléer et compléter les professionnels de santé sur certaines tâches.

## Conclusion

Les promesses que pourraient-nous offrir l'intelligence artificielle dans la réorganisation de nos vies paraissent sans fin. Nos habitudes quotidiennes sont à repenser avec l'émergence de ces nouvelles technologies. Ceci est vrai pour un grand nombre de domaines et particulièrement celui de la santé. La technologie permet d'automatiser les tâches récurrentes laissant aux hommes plus de temps pour se pencher sur des missions à réelle valeur ajoutée comme nous avons eu l'occasion de le voir tout au long de ce travail. L'intelligence artificielle ne doit pas à remplacer le médecin ou le pharmacien mais doit transformer l'exercice de sa profession et sa relation avec le patient. (70)

Ainsi, si d'un côté l'intelligence artificielle n'est qu'à l'aube de la création d'un nouvel univers, l'Assurance Maladie de son côté se trouve face à de nouveaux enjeux de société auxquels il faudra trouver des solutions pour créer un nouvel équilibre de dépenses dans les prochaines années.

Finalement, l'intelligence artificielle pourrait venir au service de l'Assurance Maladie. En autonomisant le patient grâce à des applications, des objets connectés, des solutions informatiques ... Le patient apprend à gérer sa maladie de manière autonome engendrant des économies de santé. Grâce à la réduction du nombre de visites médicales, une meilleure prise en charge des pathologies en corrélation directe avec la réduction des complications générant des économies supplémentaires, des économies de personnels infirmiers, la réduction du nombre de visites dans les services d'urgences ... Toutes ces économies générées par les innovations technologiques vont, dans les années à venir, pouvoir être allouées à des postes de dépenses qui font sens aujourd'hui : offrir au patient des traitements innovants dont les coûts sont plus élevés, diminuer la charge de travail des professionnels de santé pour des actes à faible valeur ajoutée et recentrer leur action sur le patient, offrir une médecine universelle accessible à toutes les populations en dépit de leur lieu de vie et de leur moyen de déplacement ... La technologie permet de délocaliser le cabinet médical, les solutions de santé s'adaptent au mode de vie du patient et non plus l'inverse. Une nouvelle conception du monde de la santé.

Ce nouveau mode de pensée abouti sur une nouvelle manière d'appréhender la maladie. Selon les experts de la santé, la théorie des 4P semblerait définir la médecine de demain : personnalisation, prédition, prévention et participation.

- **Personnalisée** : ou individualisée, fondée essentiellement sur la connaissance génomique, la médecine personnalisée permet d'orienter la thérapie en fonction de chaque patient.

- **Préditive** : en connaissant les caractéristiques de l'individu, la médecine sera capable d'évaluer pour chaque individu le risque de développer une pathologie afin d'instaurer des bonnes pratiques pour éviter l'apparition de la maladie et anticiper la réponse du patient au médicament afin d'administrer le bon médicament en première intention
- **Préventive** : en valorisant une approche « pro-active », c'est inclure l'individu dans une démarche de préservation de sa santé avant même l'apparition d'une pathologie
- **Participative** : en informant le patient et en lui donnant toutes les clefs pour comprendre, c'est permettre au patient de prendre des décisions pour sa santé de manière éclairée. (71)

Cette théorie s'inscrit dans la lignée de l'empowerment du patient que nous avons eu l'occasion d'étudier au cours de ce travail.

Si désormais, le monde de la santé ne peut plus se passer des nouvelles technologies, l'Assurance Maladie de son côté se structure pour qualifier et certifier les solutions de santé afin de garantir leur sécurité et l'efficacité de leur utilisation avant d'envisager un potentiel remboursement. En effet, en fonction des modèles économiques des entreprises, ces dernières peuvent être amenées à demander le remboursement par l'Assurance Maladie lorsqu'un patient utilise la solution. Pour répondre à ce besoin, le gouvernement français sous l'égide du Ministère de la Santé et de l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm), a créé huit branches d'étude des technologies innovantes : les CIC-IT. Leur mission est de mesurer les bénéfices attendus ou le service médical rendu (SMR) par les innovations mais aussi les inconvénients potentiellement engendrés et si cela est possible, étudier le retour sur investissement. Chaque ville de France a une spécialité d'étude :

- Lille évalue l'e-santé et les biocapteurs
- Rennes est spécialisé dans les dispositifs diagnostiques et les thérapeutiques appliquées au système vasculaire
- Garches étudie les dispositifs médicaux pour le handicap
- Tours gère les ultrasons et la radiopharmacie
- Nancy est connue pour l'étude des dispositifs, méthodologie et techniques pour l'IRM
- Besançon est expert dans la microtechnique
- Grenoble fait valoir ses connaissances autour des techniques associées aux gestes médico-chirurgicaux
- Bordeaux maîtrise l'aire des biomatériaux

L'existence de ces branches spécialisées permet de garantir la sécurité d'utilisation pour le patient et reconnaître scientifiquement l'efficacité de l'innovation. Cette étape de certification est incontournable avant d'envisager un remboursement par l'assurance maladie. (72)

Si l'avenir semble fleurissant dans ce domaine, certaines questions émergent. Avec la génération d'un volume de données personnelles comme nous n'en n'avons jamais connue, des préoccupations juridiques et éthiques se soulèvent. Que va-t-il advenir de ces données ? Où seront-elles stockées ? Qui y aura accès et dans quelles conditions ? Pour répondre à ces questions la législation française s'organise actuellement au cas par cas. Pour élaborer la réglementation relative à la protection des données personnelles, des agences publiques s'engagent (des institutions nationales, européennes et internationales) mais aussi privées (professionnels du secteur). Ensemble, ils créent des dispositions légales et réglementaires pour définir le cadre de l'hébergement, le partage et le traitement de données à caractère personnel. Les dispositifs médicaux relevant de l'article L. 5211 du code de la santé publique sont renforcés par des précisions de l'Agence Nationale de Sécurité du Médicament et des Produits de Santé (ANSM). La gestion des données de santé se réfère quant à elle à l'article L. 1111-9 du code de la santé publique. (73)

A l'échelle européenne, c'est le Livre Vert sur la santé mobile qui fait référence pour les pratiques médicales.

Enfin, des programmes d'accréditation des applications en santé voient le jour. Ces programmes garantissent la qualité des applications et la fiabilité dans la gestion des données de santé. (73) Les années qui arrivent seront charnières et définiront la manière dont nous, la France, souhaitons nous positionner face à cette déferlante technologique. Choisirons-nous de surfer sur cette vague et de saisir toutes les opportunités qui verront le jour, de nous replier pour nous protéger, ou au contraire d'adopter une posture mixte et ce, dans quelles conditions ?

## Bibliographie

- (1) M. Béjean, J-P. Dumond, J. Habib (2015). Fondation de l'avenir. Petit guide d'exploration au pays de la santé numérique. p4-6.
- (2) ARS (2018). La stratégie nationale e-santé 2020.
- (3) Président de la République Française. Journal Officiel. Loi n° 2009-879 du 21 juillet 2009. Réforme de l'hôpital relative aux patients, à la santé et aux territoires. p 12184 texte n°1.
- (4) M-O. Safon (2019). Institut de recherche IRDES et documentation en économie de la santé. La e-santé Télésanté, santé numérique ou santé connectée.
- (5) C. Tutin. Encyclopaedia Universalis. Télémédecine. [en ligne].  
[https://www.universalis.fr/encyclopedie/telemedecine/#i\\_0](https://www.universalis.fr/encyclopedie/telemedecine/#i_0) (consulté le 05/09/2019)
- (6) Microsoft. Santé connectée : les 4 chiffres qu'i faut connaître. [en ligne].  
<https://experiences.microsoft.fr/business/intelligence-artificielle-ia-business/sante-connectee-chiffres/> (consulté le 05/09/2019)
- (7) Lise Verbeke (2018). France Culture. Aux origines de l'Intelligence Artificielle.
- (8) Futura Science. Intelligence artificielle. [en ligne].  
<https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/informatique-intelligence-artificielle-555/> (consulté le 07/09/2019)
- (9) C. Kumar (2018). Medium Artificial Intelligence: Definition, Types, Examples, Technologies.
- (10) Altran (2019). IA définition.
- (11) B. Marr (2015). Bernard Marr and Co pour Forbes. Deep Learning Vs Neural Networks – What's the difference?
- (12) Z. Wang (2015). The Applications of Deep Learning on Traffic Identification.
- (13) E.D. Liddy (2001). Natural Language Processing. p2-4.
- (14) Linguamatics. What is Text Mining, Text Analytics and Natural Language Processing. [en ligne].  
<https://www.linguamatics.com/what-text-mining-text-analytics-and-natural-language-processing> (consulté le 15/09/2019)
- (15) S. Kendall. Narative (2019). Science. What is Natural Language Generation (NLG)?
- (16) V. Zwass (2016). Encyclopaedia Britanica. Speech Recognition.
- (17) A. Rachidi (2011). National Library of Canada. Développement d'un réseau de neurones biologiques.

- (18) Société Canadienne du Cancer. L'encéphale et la moelle épinière. [en ligne]. <https://www.cancer.ca/fr-ca/cancer-information/cancer-type/brain-spinal/brain-and-spinal-tumours/the-brain-and-spinal-cord/?region=on> (consulté le 31/10/2019)
- (19) C. Touzet (2016). Collection de l'EERIE. Les réseaux de neurones artificiels, introduction au connexionnisme : cours, exercices et travaux pratiques. p11-24.
- (20) R. Lambert (2018). Pensée Artificielle. Focus : Le Réseau de Neurones Artificiels ou Perceptron Multicouche.
- (21) A. Verchère (2017). Le siècle digital. Quelles sont les applications concrètes de l'intelligence artificielle ?
- (22) B. Marr (2019). Forbes. Meet the world's most valuable AI startup: China's SenseTime.
- (23) SenseTime [en ligne]. <https://www.sensetime.com/Technology/face.html> (consulté le 17/08/2019)
- (24) C. Garcia-Montero (2018). Alliancy. L'IA à la base de la voiture autonome. Le 19 juin 2018.
- (25) J. Fleetwood (2016). American Public Health Association. Public health, Ethics, and Autonomous Vehicles.
- (26) Tesla. [en ligne]. [https://www.tesla.com/fr\\_FR/autopilot](https://www.tesla.com/fr_FR/autopilot) (consulté le 30/10/2019)
- (27) A. Biglia (2015). Mémoire-Recherche, Louvain School of Management. Analyse prospective sur l'implémentation de la voiture autonome : impact sur l'industrie automobile et le citoyen.
- (28) Elsevier (2018). Ground-breaking data shows China set to become global leader in AI research and finds a global 'brain drain' from academia to private sector.
- (29) Comarketing News (2018). IA : les chiffres à connaître en France et dans le monde.
- (30) C. Caradec, F. Luu (2017). Accenture. L'Intelligence Artificielle pourrait accroître de près de 38% la rentabilité des entreprises d'ici 2035.
- (31) Viuz (2019), Intelligence artificielle, photographie en 15 chiffres.
- (32) J-D. Lévy, G. Lancrey-Javal, A. Leroy (2019). Harris Interactive pour Indeed. Les Français et l'intelligence artificielle.
- (33) V-T. Tran, C. Riveros, P. Ravaud (2019). Nature Partner Journal. Patients' views of wearable devices and AI in healthcare: findings from the ComPaRe e-cohort.
- (34) OMS (2000). Rapport sur la santé dans le Monde 2000, pour un système de santé plus performant. p11-20.
- (35) G. Nezosi (2016). Vie Publique. Comment la France se situe-t-elle entre le modèle Bismarckien et le modèle Beveridgien.
- (36) B. Palier, G. Bonoli (1995). Persée. Entre Bismark et Beveridge, « crises » de la sécurité sociale et politique(s). p668-674.
- (37) S. Barmio (2016). Université de Lille 2. L'évolution du système de santé français : analyse et perspectives des réseaux de soins.

- (38) Cours des comptes (2017). Rapport public thématique. L'avenir de l'assurance maladie. p9-12 ; 17-19 ; 22-29.
- (39) Vie Publique (2018). Systèmes bismarckien et beveridgien : quelles caractéristiques ?
- (40) TytoCare. [en ligne]. <https://www.tytocare.com/> (consulté le 17/09/2019)
- (41) HAS (2007). Education thérapeutique du patient (ETP).
- (42) C.Franc (2013). Médecine/Science. Le diabète Des chiffres alarmants.
- (43) PKvitality. [en ligne]. <https://www.pkvitality.com> (consulté le 18/09/2019)
- (44) Hillo. [en ligne]. <https://www.hillo.ai> (consulté le 19/09/2019)
- (45) Assurance Maladie (2017). Infirmier libéraux, Guide pratique NGAP.
- (46) B. Detournay (2015). Médecine des Maladies Métaboliques. Les coûts de l'insulinothérapie chez les patients diabétiques de Type 2, en France. Volume 9, Chapitre 3, Supplément 1.
- (47) Posos. [en ligne]. <https://www.posos.fr> (consulté le 22/09/2019)
- (48) WeFight. [en ligne]. <https://www.wefight.co/fr/accueil/> (consulté le 20/09/2019)
- (49) Codiab Newsletter (2015). Article relatif à la motivation du patient dans les cas de maladies chroniques retiré de l'URL : <https://www.codiab.fr/wp-content/uploads/2015/09/newsletter-janv2015-lien2.pdf>
- (50) Medicus AI. [en ligne]. <https://medicus.ai> (consulté le 20/09/2019)
- (51) M. Weber, Y. Verollet (2011). Les avis du conseil économique, social et environnemental, Journaux officiels. La dépendance des personnes âgées. p4 ; 9-10.
- (52) Insée. Projections de population pour la France métropolitaine à l'horizon 2050. [en ligne]. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/1280826> (consulté le 12/10/2019)
- (53) Telegraphik. [en ligne]. <https://www.telegrafik.fr/> (consulté le 24/09/2019)
- (54) R. Rocle (2009). Regards croisés sur l'économie. De la thérapie de masse à la thérapie individualisée. Volume 5. p226-228.
- (55) S. Lucas-Samuel (2013). Transfusion Clinique et Biologique. Thérapie innovantes : du cadre réglementaire européen au cadre réglementaire national. Volume 20, Chapitre 2. p 221-224.
- (56) C. Dreyer, E. Raymond, S. Faivre (2009). Revue de Médecine Interne Les thérapies ciblées et leurs indications dans les tumeurs solides. Volume 30, chapitre 5. p 416-424.
- (57) Base de données publique des médicaments. [en ligne]. <http://base-donnees-publique.medicaments.gouv.fr/extrait.php?specid=67939209> (consulté le 20/09/2019)
- (58) Vidal. Sutent 50mg gél. [en ligne]. [https://www.vidal.fr/Medicament/sutent-73976-prescription\\_delivrance\\_prise\\_en\\_charge.htm](https://www.vidal.fr/Medicament/sutent-73976-prescription_delivrance_prise_en_charge.htm) (consulté le 20/09/2019)

- (59) ExactCure. [en ligne]. <https://www.exactcure.com/> (consulté le 27/09/2019)
- (60) E. Masseray (2006). Revue Médicale Suisse. Education à la santé, prévention et/ou promotion de la santé. Volume 2.
- (61) A. Flajolet (2008). Rapport Flojolet au profit du gouvernement concernant les disparités territoriales des politiques de prévention sanitaire. ANNEXE 1 : la prévention : définition, notions générales sur l'approche française, et comparaisons internationales. p1-2.
- (62) Foodvisor. [en ligne]. <https://www.foodvisor.io> consulté le 27/09/2019
- (63) B. Bassleer, J-M. Boulanger, C. Menozzi (2014). CHU de Liège. L'empowerment des patients: pourquoi et comment.
- (64) M-G. Fayn, V. des Garets, A. Rivière (2017). Recherches en Sciences de Gestion n°119. Mieux comprendre le processus d'Empowerment du patient.
- (65) Business Insider (2017). LA FIN DES APPLICATIONS: Comment Apple, Facebook et Google inaugurent une nouvelle ère d'expériences mobiles et ce que cela signifie pour les entreprises.
- (66) M. Pulvirenti, J. McMillan, S. Lawn (2012). Empowerment, patient centred care and self-management. Wiley Online Library.
- (67) Think with Google (2015). Comment les mobinautes trouvent et utilisent les applications ?
- (68) J-L. Marinin (2019). Les Echos. Intelligence artificielle : peut-on se passer des Gafam ?
- (69) A-S. Cases. Journal de gestion et d'économie médicale. L'e-santé : l'empowerment du patient connecté. Volume 35. p. 137-15.
- (70) J.D. Benassouli, L. Le Claire, E. Hachmanian, M. Damez-Fontaine (2019). Décryptage, revue de PWC. Intelligence Artificielle : une révolution technologique initiée par et pour les Hommes.
- (71) H.Corvol, J.Taylard, O.Tabary, et al. (2015). Archives de Pédiatrie. Les enjeux de la médecine personnalisée appliquée à la mucoviscidose. Volume 22, chapitre 7. p778-786.
- (72) L.Watbled, S.Pelayo, S.Guerlinger, R.Beuscart, M.-C.Beuscart-Zéphir (2010). IRBM. L'évaluation des nouvelles technologies en santé : un nouveau besoin, l'évaluation de l'adaptation à l'usage. Volume 31, Chapitre 1. p36-40.
- (73) B. Juanals (2018). Chapitre 9. Téléphone mobile et santé mobile : une question sociétale en débat dans l'espace public.

**Annexe 1 : Retranscription de l'interview avec Emmanuel Bilbos, PDG et fondateur de Posos, le 30 août 2019**

Mathilde PASKO (MP) : Bonjour Emmanuel, première question très simple, pouvez-vous vous présenter et présenter Posos ?

Emmanuel Bilbos (EB) Après des études de pharmacie et une carrière dans l'industrie pharmaceutique, nous nous rendions compte qu'il existait un décalage entre la demande et les solutions proposées sur le marché. Les médecins et les pharmaciens au moment de prescrire ou de dispenser le médicament avaient souvent besoin d'informations et ce, de manière instantanée.

Auparavant, le laboratoire proposait effectivement un système qui permettait au pharmacien ou au médecin de poser leurs questions, mais qui n'était pas adapté avec leur exercice. Le moyen de réponse était basé sur un standard téléphonique ou une boîte mail et l'obtention des réponses se faisait dans les jours suivants. Dans tous les cas, la réponse arrivait avec un délai. En effet, appeler le laboratoire c'est chronophage, il faut : joindre le standard, donner le numéro de sa pharmacie, être redirigé vers la personne adéquate, poser sa question, attendre que la personne de l'autre côté de la ligne trouve l'information et enfin obtenir la réponse. Cette attente peut aller de quelques minutes à plusieurs jours. Quand un patient attend derrière le comptoir ou dans le cabinet, il a besoin de son traitement immédiatement, le temps d'attente n'est acceptable. Plusieurs jours de délais pour obtenir une réponse sur un sujet aussi vital que les traitements médicaux, c'est déjà trop tard. Particulièrement dans une société habituée à tout obtenir dans l'immédiat.

De l'autre côté, les industriels recevait des appels de pharmaciens et de médecins qui, généralement, posaient les mêmes questions. A chaque fois il fallait y répondre individuellement. Autrement dit, une perte de temps et d'énergie pour les équipes en poste.

La solution proposée par Posos est un logiciel implanté sur les sites internet des industriels pharmaceutiques. Lorsque le médecin ou le pharmacien a une question relative à un médicament, le professionnel de santé se connecte sur le site de l'industriel, pose sa question et obtient immédiatement la réponse à sa question grâce à des sources fiables issues de la littérature scientifique. Le médecin peut prescrire et le pharmacien délivrer le médicament en toute sécurité.

(MP) Quelles technologies d'intelligence artificielle interviennent dans votre solution ?

(EB) Le système fonctionne grâce à plusieurs types d'algorithmes, faisant intervenir ;

- de l'intelligence artificielle supervisée : un grosse partie du travail de construction de Posos a été fait par des pharmaciens. Il s'agit du recensement de dizaines de milliers de questions usuellement

posées par les professionnels de santé. A la main, chaque question a été étiquetée et classée : cette question porte sur tel sujet et demande tel type d'informations dans la réponse. Ce travail répétitif réalisé par des humains instruit à l'algorithme le schéma à suivre pour qu'il puisse, à son tour, classer la question en fonction de son sens avant d'y apporter une réponse. L'objectif est que l'algorithme reproduise un comportement qu'on lui a appris à partir d'une base déjà interprétée par un humain

- de l'intelligence artificielle non supervisée : c'est la transformation du vocabulaire médical en vecteurs mathématiques. Ces vecteurs portent le sens du mot et non la combinaison de lettres qui forme le mot. Exemple : le vecteur comprend que le mot CHIEN renvoie à un animal à quatre pattes et meilleur ami de l'homme mais ne comprend pas la combinaison de lettres C-H-I-E-N. Aujourd'hui l'informatique ne traite pas de lettres, mais seulement des chiffres, les chiffres doivent avoir un sens qui soit lié au sens du médicament. Le but est de regrouper un champ de mots ou des associations de mots qui ont le même sens : « mal de tête » « céphalées » « maux de crâne » qui ont des vecteurs mathématiques très proches même si d'un point de vue orthographique ils sont éloignés les uns des autres. Ces vecteurs cheminent ensuite vers la même compréhension ou réponse. On fait parcourir par l'algorithme des millions de textes médicaux pour que celui-ci déduise que certains mots apparaissent toujours dans le même contexte et ont par conséquent un sens proche. Aucun humain n'est derrière le processus pour apprendre à l'algorithme que le mot veut dire "bleu" ou "rouge" ou "jaune" ou différencier un chat d'une voiture.

Tout ce travail a été réalisé en un an et demi et ce n'est que le début.

(MP) Pouvez vous nous dire où en est le projet actuellement ? Est-il capable de répondre à des questions sur toutes les aires thérapeutiques? Est-il commercialisé ?

(EB) La solution peut couvrir tout type de médicaments donc toutes les aires thérapeutiques. Sachant que l'enjeu du machine learning est toujours d'apprendre pour avoir plus de données, plus d'exemples, plus de sources d'informations. Plus le système apprend, plus il est performant.

Cette solution est commercialisée par trois groupes pharmaceutiques dont une des filiales de Sanofi.

(MP) Comment se présente concrètement la solution ?

(EB) Le laboratoire qui fait appel à nos services implémente nos solutions dans son site internet. Ensuite, prenons un exemple réel, le pharmacien ou le médecin devant un patient se pose une question sur un médicament. Il se connecte sur le site du laboratoire, clique sur l'onglet "Question" et tape sa question. La requête arrive sur les serveurs de Posos qui se charge de comprendre et de répondre à la question, réponse qui est renvoyée sur le site web du laboratoire. Le traitement de la question se fait chez Posos mais pour l'utilisateur c'est invisible

Posos est intégré dans le site web de l'industriel

(MP) Si le logiciel est implémenté dans le site web du laboratoire, est ce que le patient peut aussi avoir accès à cette solution et poser ses questions ?

(EB) Il est possible de donner accès aux patients, tout dépend de la demande du client, ici le laboratoire pharmaceutique. Le mode d'utilisation est le même mais les sources d'information peuvent être différentes.

Lorsque la plateforme est dédiée aux professionnels de santé, nous les identifions via la solution choisie par l'industriel pharmaceutique : code RPPS ou CPS

(MP) Est-il déjà arrivé que l'algorithme dispense une mauvaise réponse?

(EB) L'algorithme ne va pas donner de mauvaise réponse mais le risque serait plutôt que l'algorithme ne donne pas toute l'information. L'information est là, mais ce n'est pas suffisant, le professionnel de santé aurait souhaité plus de détails. Ou les informations données sont bonnes mais ce n'est pas ce que je recherche. Telle est plutôt la problématique aujourd'hui. Ce système n'est pas conçu avec des réponses préconçues où il faut piocher la bonne réponse parmi une liste. Le système extrait de l'information qui a le même sens que la question donc l'enjeu est plus de trouver la bonne information et de la présenter de manière très visible pour qu'elle soit toujours visionnée.

Après, la question peut-être mal interprétée par l'algorithme, raison pour laquelle on fait toujours valider le sens de la question par l'utilisateur en la reformulant : « *Est ce que vous voulez bien dire ...* »

L'algorithme est capable dans 90% des cas de rediriger l'utilisateur vers la bonne information médicale qui répond à la question simple, vers une information qui a été filtrée.

(MP) Vous ciblez également les hôpitaux et les cliniques ? Pourriez vous m'en dire un peu plus ?

(EB) Ce sont des tests aujourd'hui avec des essais pilotes lancés en association avec des hôpitaux, mais ce n'est pas notre focus. C'est une idée de développement pour le futur.

## **Annexe 2 : Retranscription de l'interview avec Benoît Brouard, PDG et cofondateur de WeFight, le 14 octobre 2019**

Mathilde Pasko : Bonjour Monsieur, pourriez-vous me présenter votre entreprise ?

Benoît Brouard : L'entreprise est WeFight. Le produit de l'entreprise, la technologie que nous avons créé est Vik. Vik est une intelligence artificielle, un compagnon virtuel pour les patients. Le but de Vik est d'accompagner les patients dès le diagnostic de leur maladie et pendant tout leur parcours de soin. Aujourd'hui nous sommes focalisés sur les cancers mais également sur les maladies chroniques. Plusieurs versions de Vik ont été lancées, depuis Octobre 2017 dans le cancer du sein, dépression, asthme et de nouvelles versions arrivent pour le cancer de la peau, du poumon, ou cancers gynécologiques.

(MP) Votre start up a été lancée il y a combien de temps ?

(BB) En février 2017, c'est là que tout a commencé et nous venons de finir notre première levée de fond qui nous permet d'accélérer notre développement.

(MP) Combien êtes-vous aujourd'hui dans l'entreprise ?

(BB) Nous sommes aujourd'hui une vingtaine dans l'entreprise.

(MP) Comment avez-vous développé la technologie ? Avez-vous fait appel à des partenaires extérieurs ou à des personnes en interne ?

(BB) Toute notre technologie est développée en interne, pour plusieurs raisons. Premièrement pour des raisons de sécurité. Pour stocker l'ensemble de nos technologies et les données des utilisateurs sur des serveurs agréés pour l'hébergement des données de santé en France, on ne peut pas passer par des services tiers, tout doit être réalisé en interne. Et pour une seconde raison, pour rendre les réponses de Vik le plus pertinentes possibles. Il y avait des technologies de compréhension vocale déjà existantes sur le marché, mais toutes assez généralistes. Or, nous avions un cas bien spécifique de suivi des cancers ou des maladies chroniques, donc nous devions développer notre propre nouvel algorithme pour avoir une nouvelle version de Vik.

(MP) Toutes les informations que vous fournissez au patient via l'agent conversationnel, qui développe les réponses ?

(BB) Des ingénieurs vont développer et construire des algorithmes. Ensuite, des associations de patients et des médecins experts travaillent avec nous pour entraîner et valider nos algorithmes. Pour donner au patient des informations qui ont été validées.

(MP) En terme de technologies d'algorithmes ... quelle part de l'intelligence artificielle faites vous intervenir ?

(BB) Nous utilisons le Natural Language Processing, donc de la compréhension de langage. En fait, c'est la capacité de Vik à comprendre une question que vous lui posez en langage naturel, à l'écrit en l'occurrence. Ici, oui, ce sont des algorithmes de LNP. Ensuite, il y a des algorithmes de machine learning pourquoi ? Pour que l'algorithme puisse s'améliorer avec le temps, c'est-à-dire que nos chefs de produits qui sont professionnels de santé vont entraîner nos algorithmes, en disant à Vik, là tu as bien répondu, là tu n'as pas bien répondu, en ajoutant de nouvelles réponses, en ajoutant de nouvelles questions, c'est pour ça qu'on parle de machine learning, parce que Vik s'améliore au cours du temps.

(MP) Aujourd'hui au bout de 2 ans d'utilisation, vous devez être une référence pour l'accompagnement du cancer ?

(BB) En quelques sortes, ce qui est intéressant dans ce type de solution, c'est que nous avons lancé Vik 1 en octobre 2017, la première version pour les patients et les proches atteints de cancer du sein, en travaillant en amont avec les associations de patients et les médecins pour avoir la version la plus performante possible. Aujourd'hui la version de Vik d'octobre 2019 est beaucoup plus performante que la version d'octobre 2017. Car cette nouvelle version a bénéficié de tout l'entraînement des questions que les patients posaient à Vik, et nous aussi en interne on a enrichi sa base de connaissances sur beaucoup de nouvelles thématiques. C'est un vrai service qui s'améliore au cours du temps.

(MP) Dites moi, aujourd'hui vous ciblez les patients et leurs proches, comment vous les atteignez ?

Comment faites vous la promotion de votre plateforme auprès des patients ?

(BB) On s'appuie sur un réseau de médecins et les associations de patients, c'est un mix des deux. On s'adresse à toutes les personnes qui peuvent nous aider et parler de Vik.

(MP) J'imagine que vous avez de très bons retours de la part des patients ?

(BB) Oui, ils sont vraiment satisfaits. Ca leur apporte quelque chose de nouveau par rapport aux applications traditionnelles. Le fait que Vik s'adresse à eux, en langage naturel, qu'il les tutoie, ça crée une vraie relation de proximité avec les utilisateurs.

(MP) C'est vous qui étiez à l'origine du projet ?

(BB) Oui, c'est moi qui ai initié le projet, je suis pharmacien aussi, j'ai fait l'internat. C'est au cours de mon internat et du lancement de ma première entreprise où j'ai développé des applications mobiles en santé que j'ai eu cette idée. Puis j'ai été rejoint par mon associé qui est ingénieur qui nous a permis de mettre en place toute l'infrastructure technique qui permet à Vik d'être aujourd'hui aussi performant.

(MP) L'idée vous est venue car en tant que pharmacien hospitalier vous aviez un contact particulier avec les femmes sous chimiothérapies ?

(BB) Oui, tout à fait, cet aspect entre en jeu, j'ai fait ma thèse sur le sujet, notamment comment les outils numériques peuvent permettre de réduire les coûts de santé.

(MP) Quels sont les objectifs pour le futur ?

(EB) Nous aimerais nous étendre sur de nouvelles aires thérapeutiques, nous travaillons déjà sur certaines, d'autre en revanche pour lesquelles tout reste à faire.

### **Annexe 3 : Retranscription de l'interview avec Géry Pruvost, directeur de la filiale France de Médicus AI, le 5 septembre 2019**

Mathilde Pasko : Quelle est votre parcours et votre place au sein de Médicus AI aujourd'hui ?

Géry Pruvost : Je travaille dans le digital depuis une quinzaine d'années. J'ai commencé ma carrière dans une agence web chez Publicis, en tant que chef de projet dans de nombreux domaines, de la santé ou non m'ayant amené à développer une centaine de sites web et d'applications mobiles. J'ai rejoint le secteur de la santé il y a six ans, en développant une start up « Be patient » qui travaillait avec Sanofi. C'est une des premières start up en e-santé en France. On y développait des programme d'accompagnement pour des patients en cours d'hospitalisation.

L'année dernière j'ai rencontré Médicus AI, une start up autrichienne créée en 2015 qui souhaitait se développer sur le marché français. Il y a un an, j'ai donc pris la direction de la filiale française de Médicus. Le siège est situé en Autriche à Vienne. Des bureaux commerciaux sont installés en Allemagne, à Dubaï et une grosse partie de la R&D est au Liban à Beyrouth. Nos clients sont situés au Luxembourg, en Suisse et en fin d'année au Portugal. Notre nouvel objectif est de cibler la Chine avec, nous espérons, une levée de fond à la clef. Aujourd'hui l'entreprise compte environ 80 personnes au niveau global. En France, Médicus AI emploie une vingtaine de personnes essentiellement des commerciaux et des marketeur.

(MP) Je vois que vous êtes une entreprise tournée vers l'internationale. Tout le contenu qui est publié sur la plateforme, est-il orienté en fonction du pays ?

(GP) Tout à fait. En général on part des guidelines internationales puis on focalise en fonction des pays s'il y a des particularités locales émises par les sociétés savantes. En l'occurrence en France il y a beaucoup de guidelines locales dans le domaine cardio-métabolique, via les recommandations de la SFC (Société Française de Cardiologie).

(MP) Quel est le fonctionnement de Médicus AI ?

(GP) Nous travaillons majoritairement (80-90%) avec des groupements de laboratoires d'analyse biologique. On installe notre solution sur leur système informatique. De son côté, le patient télécharge l'application du laboratoire sur son smartphone. L'objectif est que le patient ne reçoive plus de bilan sanguin papier mais une notification sur son téléphone où il peut consulter directement son rapport de manière augmentée. On y ajoute une couche de design et d'informations toujours validées par le biologiste. Ce dernier a, en back office, des outils de validation biologique lui permettant d'automatiser l'envoie des comptes rendus.

(MP) Le patient a accès à votre solution via une application, mais comment fonctionne-t-elle ?

(GP) Tout à fait, le patient a accès à ses résultats biologiques depuis l'application proposée par le laboratoire. La solution Médicus AI vient s'intégrer comme une marque blanche, transparente aux yeux de l'utilisateur, il ne voit pas la marque Médicus AI apparaître. Sur son application, le patient peut retrouver l'ensemble de ses comptes-rendus. Pour chaque biomarqueur, des règles et des conseils santé personnalisés sont proposés. Et depuis peu, nous allons encore plus loin, nous croisons les données biologiques avec des scores de risque et les habitudes de vie connues du patient, sa vie sociale ... Ainsi, on peut créer un profil de santé global à la fois physique et mental. A partir de ces données, on propose des programmes coaching pour motiver le patient dans sa volonté de changer de mode de vie.

(MP) Quelles technologies faites-vous intervenir exactement ? A quel moment l'intelligence artificielle intervient dans l'application ?

(GP) Chez Médicus AI, l'intelligence artificielle intervient de quatre manières. On utilise des briques d'IA pour différentes applications.

Premièrement, l'IA intervient autour des conseils santé. On utilise un système expert, un ensemble d'environ 320 000 règles sont intégrées dans notre solution. Grâce à l'intelligence artificielle, ces règles s'adaptent en fonction des valeurs biologiques, du profil des patients et des scores de risques auxquels ils répondent. En fonction de ces paramètres définis, le système peut donner des conseils santé personnalisés avant de les envoyer au patient. Ce système expert est mis à disposition des biologistes qui peut à tout moment valider ou modifier les conseils prodigués. Le biologiste reste garant de l'information transmise au patient. Pour chaque rapport biologique, il peut décider soit d'envoyer le rapport sans modification, soit de modifier la règle pour s'adapter à un patient en particulier, soit de modifier la règle pour l'ensemble des patients qui ont ce type de profil. Il y a toujours un contrôle humain derrière. C'est notre philosophie.

Une seconde partie de l'entreprise utilise l'intelligence artificielle pour le diagnostic. Une interface dédiée au médecin prescripteur, qui, en fonction des données biologiques et de l'état de santé du patient va proposer une liste de pathologies suspectées. Puis, en fonction de cette liste, l'application avance une série de tests supplémentaires pour valider ou invalider le diagnostic.

Nous travaillons de ce fait beaucoup avec les laboratoires d'analyses. Mais les patients peuvent tout à fait utiliser l'application par eux-mêmes, elle est disponible depuis App Store ou Play Store. Le patient prend en photo son rapport d'analyses biologiques et l'analyse sera faite automatiquement en fonction des guidelines grâce à la reconnaissance visuelle intégrée dans l'application, mais aujourd'hui ce n'est pas notre business modèle.

Enfin, le dernier aspect de Médicus AI qui fait intervenir une composante d'intelligence artificielle découle du machine learning dans un contexte où la fusion de laboratoires mène des système informatiques qui ne communiquent pas entre eux . Elle concerne l'interopérabilité des données de santé. Autrement dit, quand on va s'implanter chez un client (donc un laboratoire d'analyse médicale), les données de santé doivent être codifiées de manière automatique pour qu'elles soient reconnues par tous les logiciels utilisés par les laboratoires. Par exemple, un « Total Cholestérol » chez deux laboratoires va être appelé par deux noms différents, certains le nommeront « Tot Chol », d'autres « Chol ». Une codification nationale a été mise en place pour harmoniser ces appellations, et actuellement, très peu d'hôpitaux et laboratoires l'ont adopté.

(MP) Les patients renseignent eux-mêmes leurs données personnelles ?

(GP) En effet, toute une partie des informations vient du laboratoire, et une seconde une partie des informations est remplie par le patient directement sur son application.

(MP) Avez-vous rencontré des patients qui soient réticents à l'idée de donner leurs informations de santé sur une application ?

(GP) Oui, il y a toujours des patients qui émettent des réticences mais dans ces cas-là, ils ne passent pas directement par l'application. Le patient a le choix d'utiliser soit un PDF disponible sur un serveur de résultat classique ou bien d'utiliser l'application. Dans un cas comme dans l'autre, les données seront stockées dans l'application.

(MP) Vous parlez justement de stockage de données, j'ai vu que vous garantissiez la sécurité des données qui vous sont transmises, quels moyens faites vous intervenir ?

(GP) Aucune donnée n'est stockée chez nous dans nos serveurs. On fonctionne de deux manières différentes : soit le laboratoire installe notre solution directement sur son système informatique, donc les données sont stockées par le laboratoire comme c'était le cas avant. Autrement, toutes les données fonctionnent en stand alone sur votre téléphone, ce qui signifie que toutes les informations enregistrées sont stockées sur votre téléphone et non sur nos serveurs

(MP) Les populations malades sont généralement des populations âgées, ces personnes n'ont-elles pas un peu de mal à utiliser ce genre de technologies ?

(GP) Les personnes qui utilisent Médicus AI ont forcément un certain âge, mais on peut dire que la barrière technologique a tendance à se gommer d'une part. Ensuite, nous voyons une utilisation plus importante sur certains types de pathologies, c'est-à-dire que les personnes actives qu'on va rencontrer sur l'application sont des personnes atteints par des pathologies chroniques qui

nécessitent des tests réguliers. J'utilise mon App car je peux retrouver facilement tous mes résultats, mon historique et partager ces informations avec mon médecin de manière simplifiée. Plutôt qu'une personne qui vient faire ponctuellement une analyse sanguine pour avoir son prêt d'appartement qui ne verra pas forcément l'intérêt de l'application.

(MP) J'imagine que les laboratoires d'analyse voient d'un bon œil votre proposition ?

(GP) Oui tout à fait, nous avons un très bon accueil. Aujourd'hui nous discutons avec 80% des laboratoires du marché. Notre premier client est un grand groupement de laboratoires localisé le Sud Est de la France, avec qui nous venons de signer un contrat, qui présente à peu près 5% du marché total et certainement deux autres groupes vont signer avant la fin de l'année.

D'ici Décembre nous espérons couvrir 15 à 20% du marché. Notre défi majeur est la l'intégration de notre solution dans le système informatique utilisé par le laboratoire et faire en sorte que le biologiste s'adapte le plus simplement possible au changement. Tout le monde s'accorde à dire que c'est ce qu'il faut faire, maintenant certains biologistes sont plus réticents que d'autres.

Il faut savoir que les systèmes informatiques en fonction dans les laboratoires sont des systèmes développés dans les années 90-2000 qui commencent à avoir un certain âge. Les technologies deviennent âgées, dépassées et nécessitent beaucoup de maintenance. Donc effectivement, les biologistes sont heureux de nous voir arriver avec cette solution bourrée de technologies récentes qui a l'avantage d'être évolutive. Tous les deux-trois mois, de nouvelles fonctionnalités sont lancées et implémentable par simple mise à jour. Ce changement de logiciel informatique implique une réorganisation totale au sein laboratoire pour le faire accepter par les équipes.

(MP) Donc vous touchez les groupements de laboratoires privés, mais qu'en est-il des laboratoires d'analyse hospitalier ?

(GP) Cette solution fonctionne effectivement pour les deux. Stratégiquement nous sommes un petite équipe commerciale, et par choix nous ne nous focalisons que sur le développement du secteur privé. Les décisions sont plus faciles à prendre car l'interlocuteur avec qui on négocie est celui qui prend la décision.

(MP) J'ai vu que vous fournissiez des informations de la vie quotidienne, de prévention, pourriez-vous m'en parler un peu plus ?

(GP) Cet aspect "coaching" vient se greffer à partir des scores de risque. Toutes les informations de santé et de vie quotidienne que rentre le patient dans l'application sont analysées. On calcule et on propose un accompagnement à la fois pour l'activité physique, la nutrition ou le sommeil. Ce qui s'intègrent effectivement dans une partie de motivation du patient.

(MP) Ces besoins auxquels vous répondez par votre application, ce sont les mêmes en Autriche, à Dubaï, en Allemagne ?

(GP) Non, à vrai dire les besoins sont très différents. C'est assez caractéristique du domaine de la santé où les marchés sont localisés avec leurs particularités, que ce soit au niveau du financement ou de l'organisation.

En France par exemple, le biologiste a un rôle médical important. En Allemagne au contraire, il y a très peu de biologistes, il n'y a presque que des relais techniques. Ces relais reçoivent des échantillons de sang, font les tests et renvoient les résultats au médecin clinicien. Une fois l'échantillon analysé, c'est le médecin clinicien qui fait l'interprétation sans intervention d'un médecin biologiste. Sur le marché allemand par exemple, notre fonction principale est d'aide au diagnostic et nos clients directs sont plus facilement les médecins cliniciens que les biologistes. Donc effectivement, dans chaque pays nous devons adapter notre business modèle et notre produit en fonction des marchés sur lesquels on s'installe.

## **Annexe 4 : Retranscritpion de l'interview avec Fabien Astic, co-fondateur et en charge du business development de ExactCure, le 29 octobre 2019**

Mathilde Pasko : Bonjour Monsieur, pourriez-vous me présenter votre entreprise ?

Fabien Astic : Oui tout à fait, ExactCure intervient une fois que le médicament a été choisi par le médecin. On est capable de dire quelle est la bonne posologie, la bonne forme galénique et le bon rythme d'administration à suivre pour éviter les sous-dosages, les surdosages et les interactions médicamenteuses, de manière personnalisée à chaque patient pour tirer tout le potentiel du médicament.

(MP) Comment arrivez-vous à déterminer tous ces paramètres ?

(FA) Grâce aux mathématiques. Notre technologie se base sur deux aspects, un qui a trait à l'intelligence artificielle et le second un peu moins.

Nous manipulons des modèles mathématiques qui sont ceux du médicament, à savoir les profils pharmacocinétiques. Nous sommes trois co-fondateurs. L'un de nous trois était professeur de pharmacocinétique à la fac pour les étudiants en pharmacie, moi je suis business developper, et le dernier est un pur mathématicien. Dans les équations de cinétiques que nous avons déterminées, on insère des paramètres : l'âge, le poids, la taille, la clairance, la créatine, les mutations de gènes ... Toutes ces informations qui sont individuelles au patient afin de pouvoir simuler la pK du médicament ou la pD du patient en fonction de lui. On est capable de dire pour tel ou tel patient, la concentration en médicament va monter un peu plus vite ou un peu plus haut, ou un peu plus bas. Finalement, on ne fait pas un jumeau digital au sens modèle 3D, on étudie le modèle digital du médicament.

Le deuxième aspect, sur lequel on utilise le machine learning. Une fois qu'on a simulé le niveau de concentration plasmatique du médicament pour un patient donné, on capte son ressenti. Nous avons tous des ressenti différents, par rapport à la douleur, au confort, à l'inconfort et nous essayons de la capter.

La première partie était très objective, la seconde est beaucoup plus subjective. Ce que nous arrivons à faire, ou tout du moins nous développons des modèles qui permettent de calculer le ressenti du patient. Ce qui nous demande des recherches mathématiques, on est assez fières de ce que nous avons réussi à développer sur cet aspect de captation du ressenti et intégration du modèle patient.

(MP) Avant d'utiliser des équations pour quantifier le ressenti, comment avez-vous accès aux informations que souhaite transmettre le patient sur ce qu'il ressent ?

(FA) Alors, le ressenti est effectivement capté au travers de questionnaires par des échelles de 1 à 10 par exemple. Ou nous récupérons des données des objets connectés lorsque le patient en utilise : sudation, rythme cardiaque ... Mais on peut aussi poser des questions : comment vous sentez-vous ? ... Il faut effectivement ce vecteur de captation du ressenti, pour qu'à un moment donné le patient nous dise comment il ressent l'action du médicament. On ne peut pas y échapper et c'est là que c'est un peu subjectif, il y a plusieurs formes, plusieurs échelles qui sont prises en compte dans les équations. Mais on apprend avec le temps. Plus les patients donnent leurs ressentis, au fil des jours, plus on capte son ressenti, plus on affine le modèle. C'est à ce moment qu'intervient le machine learning où en fonction du patient, plus il l'utilise, plus l'application est capable de dire de manière précise quelle est la bonne dose pour le patient et à quel moment

(MP) Aujourd'hui, quel est votre business modèle ?

(FA) Alors, il y a deux termes à bien différencier, il y a l'utilisateur et la clientèle.

Pour ce qui est des utilisateurs, il y a deux utilisateurs, qui sont le patient et le professionnel de santé. Le patient est typiquement un malade chronique polymédiqué. Pour lui c'est une appli sur son mobile, il a de manière visuelle et instantanée les moments de sur ou sous-dosages ainsi que les interactions médicamenteuses.

Pour le professionnel de santé, c'est un autre outil. La solution est disponible sur son ordinateur ou sa tablette. Il a un tableau avec des courbes un peu plus techniques, et il peut jouer avec des curseurs de poids, d'âge ... qui varient en fonction du patient, il sélectionne le médicament qu'il veut simuler, il sélectionne la forme (comprimé, sirop) le dosage, l'heure de l'administration. En fonction des curseurs et des données, les courbes s'adaptent. Son but est de garder la courbe bleue qui représente la courbe de concentration de la molécule chez le patient, entre un minimum et un maximum qui sont indiqués visuellement.

Ensuite, les clients sont d'autres personnes, ils sont deux pour le moment : les laboratoires pharmaceutiques ou les assurances santé.

Pour l'implémentation du logiciel chez le médecin, on ne souhaite pas le faire payer le médecin. Il faut absolument que le médecin soit prescripteur de notre solution. Ce n'est pas notre vision, ni notre modèle économique.

Les laboratoires pharmaceutiques sont intéressés par notre solution pour deux raisons.

- Avant l'autorisation de mise sur le marché (AMM) des médicaments, on intervient au moment du développement pharmaceutique. Au moment des essais cliniques de phase 1, 2 ou 3, en mettant notre solution dans la main du patient. Ce qui va permettre au laboratoire de capter le ressenti du patient, en temps réel et le corrélérer à la concentration du médicament dans son sang au moment où il déclare être nauséux par exemple. Aujourd'hui ce sont des

informations inaccessibles pour les laboratoires. Le laboratoire pourra ensuite aller voir les autorités de santé au moment de la demande d'AMM et de pouvoir justifier la maîtrise du produit. Car en maîtrisant plus facilement les segments de populations (toutes les personnes en situation d'obésité, insuffisance rénale...), nous pensons que le laboratoire aura de plus grande chance d'obtenir l'AMM.

- Après AMM. Une fois que le médicament est sur le marché, donc post AMM, le laboratoire peut différencier son médicament en augmentant son suivi. Ce qui va rassurer le patient, montrer ce qu'il se passe dans son corps. C'est un outil qui accompagne le patient et permet au laboratoire de collecter des données sur les grandes populations en vie réelle, comme dans les phases clinique d'étape IV.

Pour le modèle économique qui se base sur l'assurance santé, on se base la possibilité d'économie par patient et par mois. Ce sont eux qui seront intéressés par les coupes de santé.

(MP) Quelles sont les molécules que vous suivez aujourd'hui ?

(FA) Aujourd'hui on couvre un certain nombre de molécules et on souhaite grandir maladie chronique par maladie chronique. On va augmenter nos bases de données de médicaments. Notre premier projet est sur les maladies inflammatoires chroniques et toute la gestion de la douleur. Aujourd'hui on a 72 molécules en base de données. Si on multiplie par le nombre de formes galéniques et les génériques, ça correspond à peu près à 1300 références dans le commerce. Maintenant ce n'est qu'un début et il va falloir qu'on augmente le nombre de molécules, ce à quoi nous allons travailler pathologie par pathologie.

(MP) Donc à ce moment-là, vous vous approchez des laboratoires pharmaceutiques et vous leur proposez la solution ?

(FA) En ce qui concerne les aires thérapeutiques que nous voulons explorer, oui, on travaille avec les laboratoires, mais ça dépend des projets, de leurs priorités, des interlocuteurs. On travaille aussi beaucoup avec les associations de patients. Typiquement les deux premiers projets que nous avons montés, les associations de patients dans les rhumatismes inflammatoires chroniques et la spondylarthrite, sont très demandeurs de ce type d'innovation. Donc leur médecin traitant, leur spécialiste au CHU, même s'ils étaient assez sceptiques sur la solution au départ, ont eu un déclic. Et aujourd'hui c'est ce médecin qui nous aide à déposer des projets, à mettre la solution dans la main de ses patients. Donc c'est un travail des associations de patients et de certains spécialistes qui vont voir les laboratoires et demandent "sur cette aire thérapeutique nous aimerais faire un projet que vous pourriez financer."

(MP) Sur combien de collaborateurs pouvez-vous vous reposer aujourd’hui pour mettre en place toute cette masse de travail ?

(FA) Pour le moment, nous ne sommes qu’au début du projet. Nous allons embaucher la quinzième personne, nous aimerais grossir les équipes rapidement en fonction des moyens pour atteindre nos ambitions.

(MP) Aujourd’hui vous êtes présents dans la rhumatologie, avez-vous d’autres aires thérapeutiques que vous ciblez ?

Alors oui, d’une part en fonction des opportunités et du potentiel de la cible et du nombre de patients atteints et du coût engendré par patient sur une maladie donnée. Mais typiquement on cible des classiques : des maladies cardio-vasculaires, des maladies neurologiques (anxiété, épilepsie, dépression maladies neurodégénératives, schizophrénie, bipolarité), les maladies du poumon, cancers, maladie du ventre (maladie du Crohn, MICI).

(MP) Vous avez lancé votre entreprise il y a combien de temps ?

(FA) Le lancement administratif a eu lieu en Janvier 2018.

(MP) Pouvez-vous être référencé en tant que dispositif médical par exemple ?

Alors oui et non. Nous n’avons pas besoin d’autorisation. Néanmoins, nous souhaiterions être reconnus comme dispositif médical de classes IIa, ce qui suppose toute une organisation en interne de production pour la solution avec des processus à suivre. Ensuite, pour ce qui est de l’hôpital, effectivement, on cherche à s’intégrer à des logiciels utilisés par des pharmaciens et des médecins hospitaliers. Les professionnels de santé consultent des bases de données pour se renseigner sur les médicaments, nous aimerais nous intégrer à ces bases de données et les enrichir. Au moment où le pharmacien ou le médecin hospitalier vient chercher des renseignements dans cette base de données, on ajoute un petit pop up qui propose une simulation permettant de jouer avec les paramètres comme nous en parlions tout à l’heure : le médecin rentre toutes les données de son patient et les courbes se dessinent automatiquement. Pour ce patient là, aujourd’hui, voici la manière dont il va réagir,

(MP) N’êtes-vous localisés qu’en France ?

(FA) Alors, nous sommes Français, localisés à Nice, donc de manière structurelle et naturelle, nous travaillons beaucoup avec la France. Néanmoins, nous ne sommes pas du tout limité à la France. Notre objectif ne sera peut-être même pas de commencer par la France. En effet, avec l’Assurance Maladie qui est prépondérante, les assurances santé n’ont pas réellement intérêt à sauter le pas et

réduire les coûts. Nous avons un pilote en France avec Allianz, qui est une assurance allemande avec des filiales françaises, et un second pilote prometteur en Suisse. Avec une mentalité et un système de santé différents où ce sont les assurances privées qui remboursent dès le 1<sup>er</sup> Euro. Donc des opportunités en Suisse, en Allemagne et en Amérique du Nord évidemment qui ont beaucoup de dépenses de santé prises en charge par les assurances santé. Donc non, pas que la France.

Aujourd'hui, nous sommes en pleine phase de recherche et développement, la solution n'est pas prête à être lancée sur le marché, donc on crée des pilotes pour favoriser l'expérimentation. Ne nous sommes pas encore présents dans d'autres pays, on le sera oui, peut-être à l'horizon 2022. Pour le moment, nous avons des contacts avec les autres pays.

# Table des matières

Sommaire .....	1
Liste des figures .....	5
Liste des abréviations .....	6
<b>En quoi l'intelligence artificielle peut-elle favoriser l'Empowerment du patient .....</b>	<b>7</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>7</b>
<b>1. Qu'est-ce que l'intelligence artificielle .....</b>	<b>11</b>
1.1. Histoire et évolution .....	11
1.1.1. Les années 40, émergence d'idées.....	11
1.1.2. De 1950 à 1990, les prémisses d'une nouvelle science .....	11
1.1.3. Des années 1990 à nos jours, le développement fulgurant .....	12
1.2. Définition de l'intelligence artificielle .....	13
1.2.1. Les quatre types d'intelligence artificielle.....	14
1.2.1.1. La réactivité.....	14
1.2.1.2. La mémoire limitée .....	14
1.2.1.3. La Théorie de l'esprit .....	14
1.2.1.4. L'auto-conscience .....	14
1.2.2. Intelligence artificielle forte ou faible .....	15
1.2.2.1. Intelligence artificielle faible.....	15
1.2.2.2. Intelligence artificielle forte.....	15
1.2.3. Apprentissage automatique .....	15
1.2.3.1. Machine learning .....	16
1.2.3.2. Neural Net.....	16
1.2.3.3. Deep Learning .....	17
1.3. Le réseau de neurones, comparaison des neurones biologiques et des neurones artificiels .....	19
1.3.1. Les neurones biologiques .....	19
1.3.1.1. Rappels anatomiques.....	19
1.3.1.2. Passage de l'information.....	20
1.3.1.3. Organisation de l'information.....	21
1.3.1.4. Principe de l'apprentissage biologique .....	21
1.3.1.5. Des modèles d'adaptation simples entre deux neurones.....	21
1.3.2. Les neurones artificiels .....	22
1.3.2.1. Description du système .....	22
1.3.2.2. Traitement des données .....	23
1.3.2.3. Les règles d'apprentissage .....	24
1.4. De la théorie à l'application, exemples d'applications utilisant l'intelligence artificielle.....	26

1.4.1. La reconnaissance d'images statistiques, leur classification et marquage, SenseTime® se place en leader incontesté.....	26
1.4.2. La voiture autonome .....	27
1.5. Chiffres clés .....	31
<b>2. Le système de soin français .....</b>	<b>33</b>
2.1. Ses origines .....	33
2.1.1. Le système bismarckien .....	33
2.1.2. Le système beveridgien.....	34
2.2. Sa fondation .....	35
2.3. Son fonctionnement général.....	37
2.4. Constat actuel et limites.....	39
2.4.1. Accès aux soins : des inégalités géographiques.....	39
2.4.2. Des dépassements d'honoraires freinant l'accès aux soins.....	40
2.4.3. L'augmentation des maladies chroniques et des cancers .....	41
2.4.4. Une population vieillissante .....	42
2.4.5. Des thérapies plus onéreuses .....	42
2.4.6. Comportement et environnement, bombes à retardement .....	43
<b>3. L'intelligence artificielle en réponse aux limites de l'Assurance maladie : l'Empowerment du patient .....</b>	<b>45</b>
3.1. Réduire l'inégalité d'accès aux soins : collecte des données patients à distance pour faciliter le diagnostic à domicile .....	45
3.2. Autonomiser les patients .....	47
3.2.1. Autonomiser.....	48
3.2.1.1. Autonomiser, le machine learning pour surveiller son diabète .....	49
3.2.1.2. Autonomiser, deep learning pour faciliter la prise de décision dans la gestion du diabète .....	51
3.2.2. Impliquer et Former .....	54
3.2.2.1. Impliquer et former, analyse de texte pour former le patient sur sa maladie via le médecin ou le pharmacien .....	54
3.2.2.2. Impliquer et former, agent virtuel et génération de langage naturel pour accompagner les patients touchés par le cancer .....	56
3.2.3. Motiver, reconnaissance visuelle, système expert et machine learning pour faciliter le contact entre le patient et le laboratoire.....	59
3.3. Population vieillissante et dépendante, machine learning pour prolonger la durée de vie au domicile de la personne fragile .....	65
3.4. Attribuer le bon médicament au bon patient, le machine learning.....	70
3.5. Prévention des comportements et environnements à risque, reconnaissance visuelle et machine learning.....	73
3.6. Empowerment du patient.....	76
3.7. Les limites de la technologie .....	79
<b>Conclusion .....</b>	<b>83</b>

Bibliographie .....	86
Annexes.....	90
Table des matières.....	106
.....	109

## Résumé

### RÉSUMÉ

Une déferlante de nouvelles technologies s'abat sur notre société et promet de révolutionner notre quotidien. Notre vie est à repenser avec ces innovations, ceci est particulièrement vrai avec le développement de l'intelligence artificielle. De son côté, l'Assurance Maladie fait face à un monde en pleine mutation et de nouvelles limites apparaissent : l'aggravation des inégalités d'accès aux soins, l'augmentation du nombre de maladies chroniques, le vieillissement de la population, des thérapies plus onéreuses, l'augmentation des comportements et environnements à risque ... Economiquement, l'Assurance maladie doit se réformer, il en va de sa survie. Ne pourrions-nous pas penser que l'intelligence artificielle pourrait venir au secours de l'Assurance Maladie ? Notamment en développant des solutions de santé favorisant l'autonomisation du patient. Ce concept venu des Etats-Unis, connu sous le nom d'Empowerment est révélateur d'une volonté commune des patients, des médecins et des autorités de santé d'encourager le malade à se prendre en charge lui-même. Les conséquences sont multiples : responsabilisation du patient, réduction des déserts médicaux, économies de santé ... A chaque point limitant, une entreprise faisant intervenir l'intelligence artificielle au service de l'Empowerment du patient est mise en lumière. Des dirigeants de ces entreprises ont été interrogés sur leur vision du monde de la santé de demain et les solutions qu'ils proposent.

**mots-clés :** intelligence artificielle, nouvelles technologies, système de santé, Assurance Maladie, Autonomisation du patient, Empowerment du patient.

### ABSTRACT

Emerging technologies are coming in our society, with the promise to revolutionize our daily life. Our life needs to be thinking in a new manner, especially with the development of the artificial intelligence. On the other side, the Assurance Maladie, French health care system, have to define a new position in a changing world, where new limits appears: increase of the inequalities to access to a physician, number of chronic diseases increasing, aging populations, medications are more expensive than ever, behavioural and environmental risk increasing ... Economically speaking, the Assurance Maladie needs to be amended. May be, we could think that Artificial Intelligence could assist Assurance Maladie? Especially by developing some health solutions to support the empowerment of the patient. This concept, directly coming from United States, known as Patient Empowerment, shows a general desire from every sides: patients, physicians, health authorities, to support patients to take care of themselves. Consequences are multiples: patient accountability, medical desertification decreasing, healthcare cost-savings ... For each limit, a company who use artificial intelligence supporting patient empowerment will be highlighted. Managers of these companies had been interviewed on their vision for the future of the healthcare system and the solutions their offer.

**keywords :** artificial intelligence, emerging technologies, healthcare system, French healthcare insurance, Assurance Maladie, patient empowerment.

# ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT

Je, soussigné(e) Mathilde PASKO  
déclare être pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une  
partie d'un document publiée sur toutes formes de support, y compris l'internet,  
constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée.  
En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées  
pour écrire ce rapport ou mémoire.

signé par l'étudiant(e) le **07/01/2020**

thilde

*Cet engagement de non plagiat doit être signé et joint  
à tous les rapports, dossiers, mémoires.*

PASKO Mathilde | En quoi l'intelligence artificielle peut  
**Présidence de l'université** favoriser l'Empowerment du patient  11  
**40 rue de rennes – BP 73532**  
**49035 Angers cedex**  
**Tél. 02 41 96 23 23 | Fax 02 41 96 23 00**

