

ACADÉMIE D'ORLÉANS-TOURS

UNIVERSITÉ DE TOURS

FACULTE DE PHARMACIE « Philippe-Maupas »

Année 2020

N 5

THÈSE D'EXERCICE

pour le

DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN PHARMACIE

Par

Gries Armand, n  le 8 janvier 1995 à Angers

PRÉSENTÉE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 27 JANVIER 2021

**Quelles sont les nouvelles technologies connectées de
la santé ? Dans quelle mesure ces dernières peuvent-
elles répondre aux besoins des déserts médicaux ?**

JURY

Président : Mme MAUPOIL, Professeur, Faculté de Pharmacie
– TOURS

Membres :

M. PASQUALIN, Maître de conférences, Faculté de Pharmacie
– TOURS

M. de LA BARDONNIE, Pharmacien titulaire – JOUE-LES-TOURS



SERMENT DE GALIEN

En présence des Maitres de la Faculté, je fais le serment :

D'honorer ceux qui m'ont instruit(e) dans les préceptes de mon art et de leur témoigner ma reconnaissance en restant fidèle aux principes qui m'ont été enseignés et d'actualiser mes connaissances ;

D'exercer, dans l'intérêt de la santé publique, ma profession avec conscience et de respecter non seulement la législation en vigueur, mais aussi les règles de Déontologie, de l'honneur, de la probité et du désintéressement ;

De ne jamais oublier ma responsabilité et mes devoirs envers la personne humaine et sa dignité ;

En aucun cas, je ne consentirai à utiliser mes connaissances et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser des actes criminels ;

De ne dévoiler à personne les secrets qui m'auraient été confiés ou dont j'aurais eu connaissance dans l'exercice de ma profession ;

De faire preuve de loyauté et de solidarité envers mes collègues pharmaciens ;

De coopérer avec les autres professionnels de santé ;

Que les Hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses. Que je sois couvert(e) d'opprobre et méprisé(e) de mes confrères si j'y manque.

Date : 27 janvier 2021

L'étudiant
M. Gries Armand

Le Doyen de la Faculté
Professeuse Véronique Maupoil

REMERCIEMENTS

Je remercie tout d'abord Monsieur Côme Pasqualin pour m'avoir accompagné de la conception de la problématique à la construction du plan de cette thèse, pour ses relectures et ses conseils avisés.

Je remercie Madame Véronique Maupoil pour m'avoir fait l'honneur d'en présider le jury. Sa présence pour clore mon cursus d'étude a une grande valeur à mes yeux.

Je remercie Monsieur Hervé de La Bardonnie pour sa présence au jury, après avoir été le meilleur maître de stage que j'aurais pu espérer.

Je remercie mes parents, Françoise et Laurent, qui m'ont toujours soutenu et sont aujourd'hui avec moi en pensée.

Je tiens également à remercier Nadège, dont l'amitié fut sans failles tout au long de mes études, et perdure encore au moment où nos vies professionnelles nous séparent.

Je remercie mes amis, Valentin, Laurent, Florian, Constance, Anne-Laure, Laure, et bien d'autres. Mes camarades de promotion, qui m'ont toujours fait confiance pour les représenter et parler en leurs noms.

Mes remerciements vont également à tous ceux qui ont partagé avec moi des aventures associatives, ainsi qu'aux enseignants qui ont su m'accorder une écoute bienveillante.

Je remercie mon titulaire actuel, Stéphane, et mes collègues, Amélie et Cécile. Merci de m'avoir accepté dans ce qui ressemble plus souvent à une famille qu'à une pharmacie.

Enfin je dédie cette thèse à Madame Martine Fournon. Je n'ai pas eu la chance de bien la connaître, mais sa gentillesse et la confiance qu'elle m'a accordée pour la gestion de sa pharmacie m'ont marqué à jamais.

Directrice : Pr Véronique MAUPOIL

Directeur Adjoint : M. Hervé MARCHAIS

Assesseurs : Pr Daniel ANTIER, M. Matthieu JUSTE,

Pr Karine MAHEO, Mme Audrey OUDIN

ENSEIGNANTS

17 PROFESSEURS

ALLOUCHI	Hassan	CHIMIE PHYSIQUE
ANTIER	Daniel	PHARMACIE CLINIQUE
BRAND	Denys	MICROBIOLOGIE-IMMUNOLOGIE- BIOEPIDEMIOLOGIE
CHEVALIER	Stéphane	BIOCHIMIE GENERALE & BIOTHERAPIE
CHOURPA	Igor	CHIMIE ANALYTIQUE & HYDROLOGIE
CLASTRE	Marc	BIOLOGIE CELLULAIRE & BIOCHIMIE VEGETALE
DIMIER-POISSON	Isabelle	IMMUNOLOGIE PARASITAIRE
EMOND	Patrick	BIOPHYSIQUE & MATHEMATIQUES
ENGUEHARD- GUEIFFIER	Cécile	PHARMACOGNOSIE
GIRAUDEAU	Bruno	BIOPHYSIQUE & MATHEMATIQUES
LANOTTE	Philippe	MICROBIOLOGIE-IMMUNOLOGIE- BIOEPIDEMIOLOGIE
MAHEO	Karine	PHYSIOLOGIE
MAUPOIL-DAVID	Véronique	PHARMACOLOGIE
POUPLARD	Claire	HEMATOLOGIE
THIBAUT	Gilles	MICROBIOLOGIE-IMMUNOLOGIE- BIOEPIDEMIOLOGIE
VIAUD-MASSUARD	Marie-Claude	CHIMIE ORGANIQUE

2 PROFESSEURS EMERITES

AGAFONOV	Viatcheslav	CHIMIE PHYSIQUE
GUILLOTEAU	Denis	BIOPHYSIQUE & MATHEMATIQUES
BARIN	Francis	MICROBIOLOGIE-IMMUNOLOGIE- BIOEPIDEMIOLOGIE

38 MAITRES DE CONFERENCES

ALLARD-VANNIER	Emilie	PHARMACIE GALENIQUE
ARLICOT	Nicolas	BIOPHYSIQUE & MATHEMATIQUES
AUBREY	Nicolas	BIOCHIMIE GENERALE & BIOTHERAPIE
BAKRI	Françoise	HYGIENE SANTE PUBLIQUE & TOXICOLOGIE
BESSON	Pierre	PHYSIOLOGIE
BONNIER	Franck	CHIMIE ANALYTIQUE & HYDROLOGIE
BOUDESOCQUE- DELAYE	Leslie	PHARMACOGNOSIE
BOUVIN-PLEY	Mélanie	MICROBIOLOGIE-IMMUNOLOGIE- BIOEPIDEMIOLOGIE
BRAIBANT	Martine	MICROBIOLOGIE-IMMUNOLOGIE- BIOEPIDEMIOLOGIE
BREDELOUX	Pierre	PHARMACOLOGIE
DAVID	Stéphanie	PHARMACIE GALENIQUE
DEBIERRE- GROCKIEGO	Françoise	IMMUNOLOGIE PARASITAIRE
DELAYE	Pierre- Olivier	CHIMIE THERAPEUTIQUE
DENEVAULT	Caroline	CHIMIE THERAPEUTIQUE
DOUZIECH-EYROLLES	Laurence	AFFAIRE REGLEMENTAIRE ET MANAGEMENT DE LA QUALITE

DUMAS	Jean-François	BIOCHIMIE GENERALE ET BIOTHERAPIE
GERMON	Stéphanie	IMMUNOLOGIE PARASITAIRE
GLEVAREC	Gaëlle	BIOLOGIE CELLULAIRE & BIOCHIMIE VEGETALE
HERVE-AUBERT	Katel	CHIMIE ANALYTIQUE & HYDROLOGIE
JUSTE	Matthieu	IMMUNOLOGIE PARASITAIRE
LAJOIE	Laurie	MICROBIOLOGIE-IMMUNOLOGIE- BIOEPIDEMIOLOGIE
LANOUE	Arnaud	BIOLOGIE CELLULAIRE & BIOCHIMIE VEGETALE
MARC	Jillian	BIOMOLECULES ET BIOTECHNOLOGIES VEGETALES
MARCHAIS	Hervé	PHARMACIE GALENIQUE
MAVEL	Sylvie	CHIMIE THERAPEUTIQUE
MUNNIER	Emilie	PHARMACIE GALENIQUE
OMBETTA-GOKA	Jean-Edouard	CHIMIE ORGANIQUE
LOUDIN	Audrey	BIOLOGIE CELLULAIRE & BIOCHIMIE VEGETALE
PASQUALIN	Côme	PHARMACOLOGIE
PRIE	Gildas	CHIMIE ORGANIQUE
RESPAUD	Renaud	CHIMIE ANALYTIQUE & HYDROLOGIE
SOUCE	Martin	CHIMIE ANALYTIQUE & HYDROLOGIE
TAUBER	Clovis	BIOPHYSIQUE & MATHEMATIQUES
VELGE-ROUSSEL	Florence	IMMUNOLOGIE PARASITAIRE
VERCOUILLIE	Johnny	BIOPHYSIQUE & MATHEMATIQUES
VERGOTE	Jackie	AFFAIRE REGLEMENTAIRE ET MANAGEMENT DE LA QUALITE

VIERRON **Emilie** BIOPHYSIQUE & MATHEMATIQUES

ZHANG **Bei-Li** PHARMACOLOGIE

1 CONTRAT D'ENSEIGNEMENT

VANIER **Antoine** BIOPHYSIQUES & MATHEMATIQUES

1 DIRECTEUR DE RECHERCHE

CHALON **Sylvie** INSERM

2 CHARGÉS DE RECHERCHE

MEVELEC **Marie-Noëlle** INRA

MOIRE **Nathalie** INRA

1 PRAG

WALTERS-GALOPIN **Susan** ANGLAIS

1 PAST

JOYEUX **Vincent** FILIERE PHARMACIE

3 AHU

FOUCAULT **Amélie** HEMATOLOGIE

**FOUCAULT-
FRUCHARD** **Laura** PHARMACIE CLINIQUE

MARLET **Julien** MICROBIOLOGIE-IMMUNOLOGIE-
BIOEPIDEMIOLOGIE

Table des matières

Le(s) Directeur(s) de Thèse :	Erreur ! Signet non défini.
I- Introduction	10
II- Déserts médicaux : état des lieux en France et en Amérique du nord, besoins liés aux déserts médicaux.....	13
1. Les déserts médicaux en France	13
1.1. Etudier les déserts médicaux	13
1.2. Les besoins liés aux déserts médicaux en France	18
2. Comparaison du système de santé français et des systèmes de santé américain et canadien.....	19
2.1. Le système de santé français.....	20
2.2. Le système de santé américain.....	20
2.3. Le système de santé canadien	22
2.4. Synthèse.....	23
3. La désertification médicale à travers le monde	24
3.1. Les déserts médicaux aux Etats-Unis.....	24
3.2. Les déserts médicaux au Canada.....	26
4. Conclusion sur les déserts médicaux.....	26
III- De nouveaux outils de santé issus de nouvelles technologies connectées.....	28
1. Les Télémédecines.....	28
1.1. La définition de la télémédecine	28
1.2. Les grands domaines de la e-santé.....	28
1.3. Un peu d'Histoire de la télémédecine.....	35
1.4. Développement récent de la télémédecine clinique, aux Etats-Unis et en France	38
1.5. Assurance qualité de la télémédecine	54
1.6. Des télémédecines innovantes : la réalité augmentée	55
1.7. La télémédecine peut compléter la médecine classique et remplacer une consultation physique : études cliniques et résultats.....	63
1.8. Télémédecine synchrone et asynchrone.....	68
1.9. Enjeux économiques de la télémédecine.....	69
1.10. Enjeux écologiques de la télémédecine	70
1.11. Synthèse : diagramme d'un parcours médical où l'on pratique la télémédecine	70
1.12. La télémédecine est-elle la solution aux déserts médicaux ?	71

2. Le suivi du patient diabétique	74
2.1. Enjeux de santé publique	74
2.2. Le diabète connecté	76
2.3. Résultats en termes de soin et de qualité de vie	104
2.4. Conclusion et apports pour les déserts médicaux.....	105
3. La cardiologie connectée.....	108
3.1. Pourquoi la cardiologie connectée est-elle l'enjeu primordial de la e-santé ?..	108
3.2. Technologies et objectifs en cardiologie connectée.....	108
3.3. Des innovations en cardiologie connectée.....	114
3.4. Présentation de produits et constructeurs phares en cardiologie connectée...	114
3.5. Conclusion et apport pour les déserts médicaux.....	116
4. D'autres axes d'innovation technologique en santé.....	119
4.1. La pneumologie connectée	119
4.2. La psychiatrie connectée et la gestion de la douleur	120
4.3. Les assistants connectés	121
4.4. Un vécu médical transformé.....	121
IV. La pénétration des nouvelles technologies : discussion sur les raisons de l'échec de l'e-santé en France.....	123
1. Ethique de la e-santé et des données qu'elle produit.....	123
1.1. Ethique de la e-santé.....	123
1.2. La certification et la qualification des produits de e-santé.....	125
2. Adopter les nouvelles technologies connectées de la santé	126
2.1. Le taux de pénétration d'un marché	126
2.2. Quelques facteurs reconnus influençant la pénétration technologique de produits de e-santé	127
2.3. La pénétration technologique.....	128
3. La e-santé ne s'est pas encore imposée en France.....	132
3.1. Modérer l'enthousiasme entourant la e-santé	132
3.2. Un échec pluridimensionnel	133
3.3. Les évolutions qui pourrait être à adopter pour réussir le tournant de la e-santé	134
3.4. Les nouvelles technologies connectées de la santé ne sont pas la solution aux problématiques des déserts médicaux, pour le moment.....	135
Bibliographie.....	136

I- Introduction

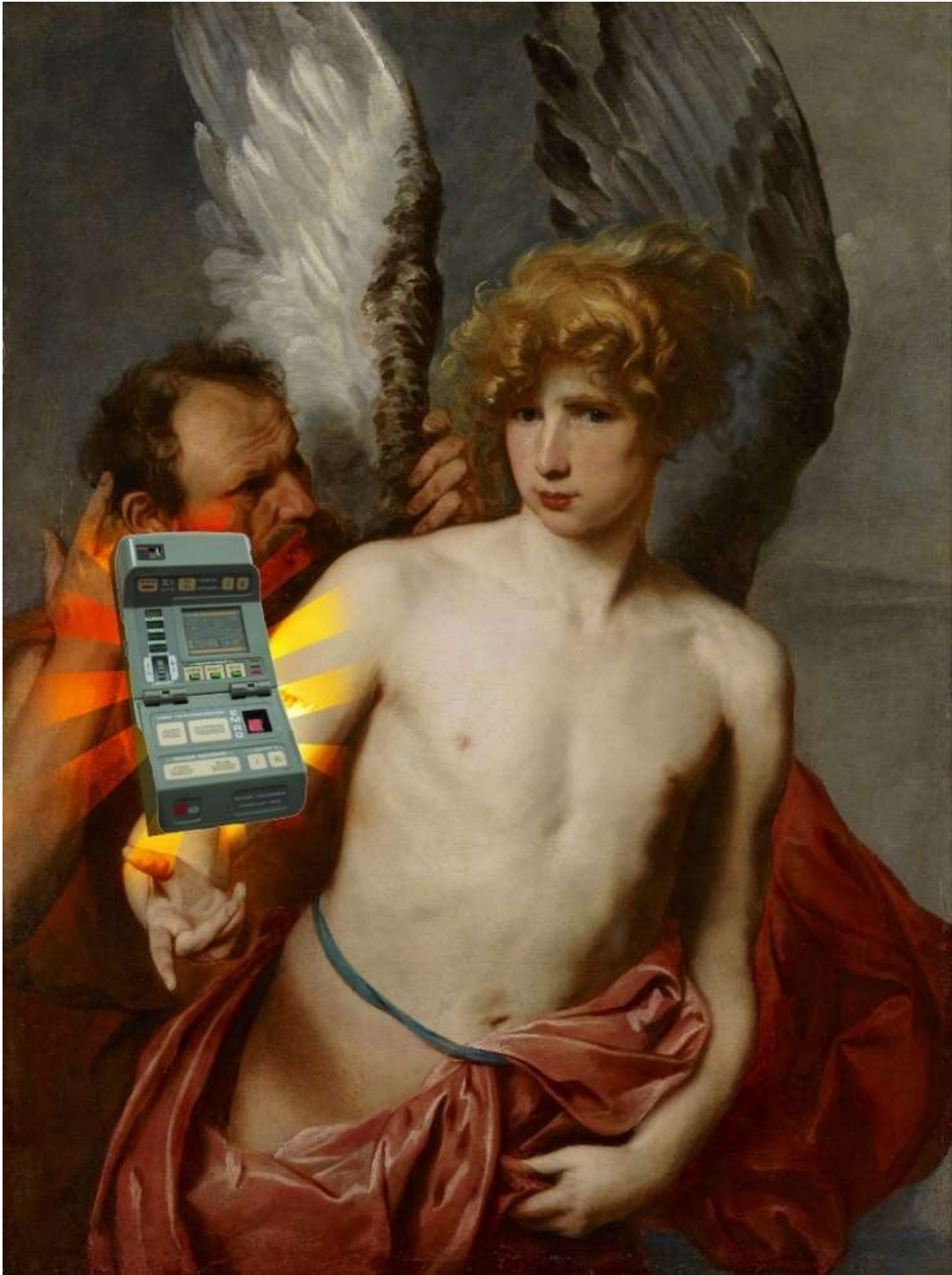


Figure 1 :

Antoine van Dyck, Dédale et Icare, 1620

Toronto, Art Gallery of Ontario.

Savez-vous ce qu'est un tricordeur ? C'est un appareil qui permet, par la simple pression d'un bouton, et après passage sur une personne, à la manière d'un scanner sur un achat dans un supermarché, de connaître toutes les variables biologiques de cet individu, et même de déceler la majorité des maladies connues. Portable, sans fil, son utilisation est rapide, simple, ergonomique.

Le tricordeur est un objet issu du monde de Star Trek®, œuvre contemporaine de science-fiction dont l'épisode pilote fut diffusé en 1965.

*En 2017, soit un peu plus de cinquante ans plus tard, le **Qualcomm Tricorder Xprize** arrive à terme. Projet débuté en 2013, cette « compétition » technologique proposait un prix -dix millions de dollars- aux entreprises, startups et équipes de recherche, dont le crédo est le développement d'outils de diagnostic portables, miniaturisés, faciles à utiliser... L'objectif était de développer un tricordeur.*

Et ce fut un succès [1], une entreprise est bien parvenue à développer ledit produit.

*Comme Icare (**Figure 1**) et son souhait de voler, qui était une légende, un mythe, puis avec l'invention de l'aviation, et aujourd'hui les drones, le wingsuit, le Flyboard®... : ce qui semblait être impossible, ou tout du moins relever de la science-fiction la plus fantasque, il n'y a que quelques décennies, quelques siècles, est aujourd'hui réalité.*

Pourquoi prendre cet exemple pour introduire cette thèse ? Il est bien entendu en dehors des réalités actuelles des dispositifs médicaux en France, tant en termes de coût financier, qu'en termes d'intégration et d'utilisation. Néanmoins, il est le parfait exemple d'une évolution globale, indéniable, de la prise en charge médicale des patients dans le monde.

La technologie est partout. « L'*Intelligence of Things* », ou IoT, est en perpétuel développement et les investissements colossaux dans ce domaine en sont la preuve¹.

En France, le médecin généraliste, avec son indémodable stéthoscope, reste la norme. Mais aux États-Unis essentiellement, et dans les pays membres du Commonwealth (*Royaume-Uni, Canada, Australie, notamment*), le développement des nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTICs) au sein de la santé est en plein essor.

La France a toujours su rester à la pointe de la médecine, et il semble donc probable que ces technologies vont être importées, implantées, et exploitées dans les mois et années qui viennent. À terme, les balbutiements de certaines entreprises et start-up françaises, pourraient également les amener à être compétitives dans ces domaines.

Un des enjeux majeurs auquel ces nouvelles technologies sont appelées à répondre est la problématique des déserts médicaux. Ainsi, on peut se demander :

¹ En 2017, 11,5 milliards de dollars étaient investis dans les technologies digitales de la santé, soit une augmentation de 28% par rapport à 2016 (8,2 milliards de dollars).

Quelles sont les nouvelles technologies connectées de la santé ?

Dans quelle mesure ces dernières peuvent-elles répondre aux besoins des déserts médicaux ?

II- Déserts médicaux : état des lieux en France et en Amérique du nord, besoins liés aux déserts médicaux

1. Les déserts médicaux en France

1.1. Etudier les déserts médicaux

1.1.1. *L'accessibilité potentielle localisée*

La direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques (DREES) a étudié les déserts médicaux [2]. Elle emploie un indicateur prenant en compte à la fois la **distance** qui sépare les patients des professionnels de santé (*répartis en quatre catégories : les services d'urgences, les médecins généralistes, les médecins spécialistes et les pharmacies*), mais aussi leur **disponibilité**.

Cet indicateur est l'**APL : l'Accessibilité Potentielle Localisée**. Il est paramétrable : la DREES a pris comme distance maximale dix minutes de route.

L'aspect économique de la difficulté d'accès aux soins par les patients n'a pas été pris en compte.

1.1.2. *Evolution de la démographie médicale française*

En introduction, la DREES donne des éléments de contexte de la démographie médicale française :

- ✓ Le nombre de médecins généralistes libéraux **diminue**.
- ✓ Le nombre de médecins spécialistes libéraux **diminue fortement**.
- ✓ En ne prenant compte que des contraintes spatiales :
 - **84%** de la population vit dans une commune où exerce un médecin généraliste.
 - **98%** de la population accède à un médecin généraliste en moins de dix minutes.
 - Le rapport interdécile (**Tableau 1**) est d'environ 3 pour les médecins généralistes, c'est-à-dire le même que pour les pharmacies, dont l'implantation est régulée ; ce rapport interdécile explose pour les spécialistes, allant de 8,3 à 19,4 : il existe donc bien une disparité importante de répartition des spécialistes sur le territoire. Mais peut-on pour autant parler de déserts médicaux ?

- ✓ Le développement de l'exercice de groupe (ex : *les maisons médicales pour les généralistes*) et l'augmentation du nombre de médecins remplaçants *pourrait* conduire à une amplification des disparités dans les années à venir.
- ✓ Aucune modification de la législation concernant l'implantation des médecins, et la réglementation de celle-ci, n'est prévue.

Globalement : le constat de la DREES suggère que les disparités d'implantation des médecins généralistes et spécialistes sont vouées à s'accroître dans les décennies à venir.

	Médecins généralistes	Pharmacies ²	Gynécologues	Ophtalmologues	Pédiatres	Psychiatres
Rapport interdécile ¹	2,8	2,8	8,3	6,1	13,8	19,4
Rapport interquartile ¹	1,7	1,5	2,9	2,5	3,8	4,5

1. Le rapport interdécile est le rapport entre le seuil qui délimite les 10 % des habitants qui disposent de l'accessibilité potentielle localisée la plus élevée et le seuil qui délimite les 10 % pour qui elle est la plus faible. De même, le rapport interquartile est le rapport entre le seuil qui délimite les 25 % des habitants qui disposent de l'accessibilité potentielle localisée la plus élevée et le seuil qui délimite les 25 % pour qui elle est la plus faible.

2. Pour les pharmacies, on ne prend pas en compte le nombre de pharmaciens travaillant dans une pharmacie donnée.

Note > Les calculs sont effectués en pondérant chaque commune par sa population, ce qui permet de raisonner en termes de population plutôt qu'en nombre de communes.

Champ > Professionnels de santé libéraux (hors médecins à exercice particulier pour les généralistes), France entière hors Mayotte.

Sources > SNIIRAM 2013, CNAMTS, populations municipales 2011, INSEE.

Tableau 1 : Rapports interdéciles des médecins généralistes et spécialistes, et des pharmacies. Le rapport interdécile est le rapport entre le seuil qui délimite les 10% des habitants qui disposent de l'accessibilité potentielle localisée (APL) la plus élevée et le seuil qui délimite les 10% pour qui elle est la plus faible. [2]

1.1.3. La définition des déserts médicaux

Les déserts médicaux en France sont une problématique connue, et étudiée.

La DREES propose plusieurs types de définition des déserts médicaux :

« [...] on peut envisager plusieurs définitions [...] du « désert médical ». [...] La situation de « désert médical » que serait le fait d'avoir un très faible accès aux médecins généralistes, de se trouver très éloigné des urgences et de n'avoir aucune pharmacie à proximité, qui correspondrait à un « **premier recours primordial** », se distingue d'une situation de « désert médical » ressenti au quotidien par l'**absence ou la très grande difficulté d'accès à plusieurs professions de santé consultées régulièrement** (les spécialistes). [...] Un troisième type de désert médical pourrait encore être proposé, concernant **le second recours** (cardiologie, rhumatologie, pneumologie, diabétologie, cancérologie, neurologie, etc). »

On peut alors synthétiser et proposer trois définitions possibles et cumulables des déserts médicaux :

- I. **Le désert médical par absence de premier recours** : accès difficile voire impossible aux urgences, à la médecine générale en urgence, à la pharmacie. Ces déserts médicaux touchent bien évidemment les zones rurales, les zones les plus reculées (zones montagneuses), la « diagonale du vide » : large bande du territoire français allant de la Meuse aux Landes, où les densités de population sont relativement faibles par rapport au reste de la France.
- II. **Le désert médical par difficulté d'accès aux spécialités et professionnels de santé les plus courants** (médecins généralistes, infirmières, kinésithérapeutes) : le rapport de la DREES montre que cette difficulté d'accès ne concerne qu'une petite proportion des Français.
- III. **Le désert médical par difficulté d'accès au second recours** : les spécialités cliniques comme la cardiologie, la diabétologie, la pneumologie... C'est sur ces soins, suivis et diagnostics de haute qualité que la disparité d'implantation des spécialistes a le plus de conséquences : auprès des personnes âgées polypathologiques et polymédiquées habitant les zones rurales ou périphériques.

1.1.4. Résultats de l'étude, considérant l'accessibilité potentielle localisée comme indicateur.

Au niveau national, l'APL est en moyenne de 4,11 consultations par an et par habitant. C'est-à-dire qu'un français aura en moyenne accès à 4,11 consultations par an. En terme de désertification, on retrouve **18,4% de la population résidant dans une zone dont l'APL est inférieure à 3 consultations/an/hab**. Ces zones sont situées en milieu rural et semi-rural pour la majorité, avec néanmoins un cinquième de la population sous dotée ($APL < 2,5$) résidant en Ile-de-France, preuve que le phénomène de désertification médicale n'épargne pas forcément les métropoles.

Les **populations isolées**, vivant à plus de 30 minutes des services d'urgences (SU, SMUR), représentent **6%** de la population française².

L'accessibilité des pharmacies est très bonne. Le maillage du territoire fonctionne, avec seulement **2,5% de la population résidant à plus de 10 min en voiture d'une pharmacie**.

1.1.5. Le cumul des difficultés d'accès

0,5% de la population cumule les trois difficultés d'accès : il s'agit cas de *no-man's-lands* médicaux où les populations sont très vulnérables. Les zones concernées sont des territoires ruraux et montagneux. « Seulement » 90 000 personnes vivent à distance de tout service de soins d'urgence (hélicoptères et médecins correspondants du Samu) : le maillage pour les soins d'urgences vitales est donc considéré comme satisfaisant.

². En prenant compte Helismur et les hélicoptères de la Sécurité civile ainsi que les médecins correspondants du Samu (MCS), 1,6% de la population vivant à plus de 30 min de ces modes d'accès aux soins urgents. Ici plus que dans le cas des médecins généralistes, la quasi-majorité des zones où l'accès aux soins d'urgence est difficile sont les territoires d'Outre-mer, et la Corse.

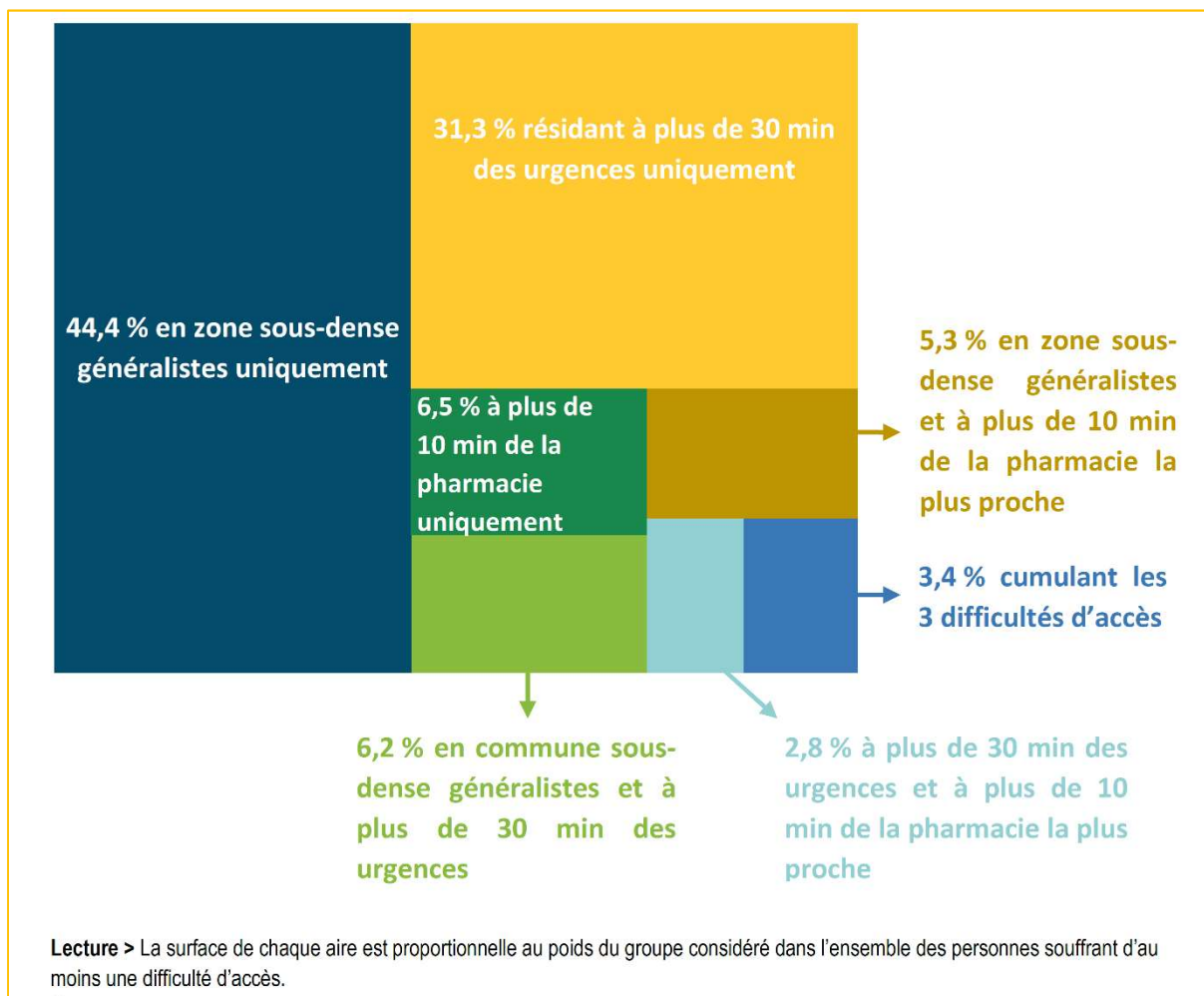


Figure 2 : Répartition des habitants résidant dans une commune avec au moins une difficulté d'accès, selon les difficultés qu'ils cumulent. [2]

Sur les 13,4% de la population française connaissant au moins une difficulté, d'après la DREES, c'est la difficulté d'accès à une pharmacie qui est la plus critique : fréquemment couplée à une ou plusieurs autres difficultés d'accès, c'est le signe, dans les zones rurales, d'une désertification et d'un éloignement de tous les types de soins.

Par contre, la difficulté d'accès en zone péri-urbaine est souvent isolée et ne signe donc pas une difficulté réelle d'accès aux soins.

1.1.6. Conclusions de la DREES et limites du diagnostic de la désertification médicale

La DREES conclut sur le fait que les inégalités d'accès aux médecins généralistes sont pour le moment d'ampleur limitée, avec 98% de la population résidant à moins de dix minutes de route d'un médecin généraliste.

De même, les inégalités en termes d'accès aux spécialistes seraient également faibles, avec 75% de la population résidant à moins de vingt minutes d'un spécialiste, quelle que soit la spécialité.

Néanmoins le contexte actuel des installations et les évolutions à venir tendent à montrer une **amplification du phénomène de désertification médicale**. De plus, mesurer la difficulté d'accès est compliqué et souvent enclin à l'apparition de biais. L'étude ne comporte par exemple aucune mention concernant les personnes n'étant pas véhiculées ; ou encore de l'obligation d'avoir un médecin traitant, qui avec le refus de prendre de nouveaux patients par certains cabinets médicaux, engendre des difficultés d'accès aux soins supplémentaires.

Le diagnostic des déserts médicaux n'est donc pas facile à faire ; les nombreux paramètres, les caractéristiques très différentes entre les territoires et les types de déserts médicaux font qu'il **est presque impossible de réaliser un constat unique des déserts médicaux en France**.

1.2. Les besoins liés aux déserts médicaux en France

1.2.1. Les besoins liés aux déserts médicaux par absence de premier recours

Ce type de désertification médicale est relativement rare en France. Des réponses pourraient être apportées, notamment par :

- ✓ Une amélioration de la signalisation des urgences par les usagers auprès des services d'urgence
- ✓ Une amélioration de la formation de la population générale aux soins d'urgences
- ✓ Une mise en contact plus rapide et plus facile avec un professionnel de santé, un médecin, dans le cadre d'une urgence, où que ce soit en France
- ✓ Une utilisation plus poussée du maillage des pharmacies en France, pour les « petites urgences »
- ✓ Une détection en amont des futures urgences : maladies cardiaques, crises d'asthme...

1.2.2. Les besoins liés aux déserts médicaux par difficulté d'accès aux spécialités et professionnels de santé les plus courants (médecins généralistes, infirmières, kinésithérapeutes)

Pour répondre idéalement à cette désertification médicale il faudrait plus de médecins et de personnels qualifiés répartis sur le territoire et dans les zones sous-dotées, mais cela passera également par :

- ✓ Permettre une consultation médicale à distance, optimale et pertinente
- ✓ Mettre en place des aides autonomes, voire dématérialisées, aux infirmières et aides-soignantes
- ✓ Faciliter et optimiser le suivi des patients non malades chroniques
- ✓ Faciliter les diagnostics de maladies chroniques ; faciliter l'auto-diagnostic
- ✓ Globalement, dématérialiser et optimiser les soins au maximum, dans l'objectif de concentrer les forces sur le soin et non sur la gestion administrative de ces derniers

1.2.3. Les besoins liés aux déserts médicaux par difficulté d'accès au second recours

C'est, pour l'instant du moins, le « cœur de métier » des technologies connectées dans la santé. Paradoxalement, les besoins de ces déserts médicaux ne sont pas très nombreux :

- ✓ Permettre le suivi à distance de maladies ou conditions chroniques
- ✓ Diagnostiquer et prévenir les détériorations de la maladie d'un patient chronique
- ✓ Consultation à distance : seule ou assistée

Dans le cadre de ces déserts médicaux, il est nécessaire de consolider et réduire l'intervalle de temps entre les consultations auprès du spécialiste, cet intervalle étant plus ou moins long fonction de la désertification médicale de la zone.

2. Comparaison du système de santé français et des systèmes de santé américain et canadien

Afin d'appréhender correctement la désertification médicale aux Etats-Unis et au Canada, puis de s'inspirer de leurs gestions de ces derniers à l'aide de nouvelles technologies connectées de la santé, il est nécessaire de présenter ces systèmes de santé.

Les systèmes de protections sociales et notamment d'assurance maladie aux Etats-Unis et en France sont différents. Le système de santé canadien, est quant à lui à la croisée entre le système français, l'assurance maladie universelle, et le système américain libéral.

2.1. Le système de santé français

Le système de santé français repose essentiellement sur des organismes publics et rattachés à l'Etat. La formation des professionnels de santé est publique et le nombre de médecins par habitant est dans la moyenne haute des pays de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) : on compte 310 médecins pour 100 000 habitants [3].

La sécurité sociale couvre plusieurs situations [4] : maladie, maternité, invalidité et décès ; accidents de travail et maladies professionnelles ; famille et enfin vieillesse. 77,8% des dépenses de santé en France sont prises en charge.

L'assuré se verra pris en charge en fonction de son activité professionnelle : régime général, régimes spéciaux (fonctionnaires, SNCF...), régime des indépendants (commun au régime général pour la branche maladie) et régime agricole.

Ces caisses d'assurance maladie prennent en charge une majeure partie des soins, le restant à charge étant payé soit par l'utilisateur soit par une mutuelle qu'il aurait contractée. En sachant qu'en France il existe la complémentaire santé solidaire (CSS) pour les personnes sous les minimas sociaux, et il est également obligatoire pour toute entreprise de fournir une mutuelle collective d'entreprise à ses salariés [5].

2.2. Le système de santé américain

Le système de santé américain ressemble au système français. Les médecins sont formés dans les universités, obtiennent leur *Doctor of Medicine* (M.D.) [6] après en moyenne huit à dix ans d'études.

Près de 20 000 médecins sortent chaque année des universités américaines [7], et il y a à peu près un million de médecins (allopathes actifs et ostéopathes) aux États-Unis, pour 323 millions d'habitants soit une moyenne nationale de 295 médecins pour 100 000 habitants en 2015.

En revanche, la couverture sociale, et plus particulièrement des soins aux États-Unis, diffère de la nôtre : l'État ne prend en charge « que » 64% des dépenses de santé.

Les États-Unis sont le pays qui dépense le plus dans le domaine de la santé, avec près de 18% de leur PIB [8]. Dans un classement publié en 1998 [9]–[11], les États-Unis arrivaient en 12^e place, sur treize pays, pour la qualité des soins dispensés. Une étude plus récente du Lancet plaçait les États-Unis à la 29^e position [12].

S'ajoutent à ce système de santé très onéreux, une quantité importante d'erreurs médicales, des erreurs de prescriptions... etc, entraînant entre 100 000 et 450 000 morts par an selon les estimations [13], [14].

Globalement, aux États-Unis, il n'y a pas de couverture maladie universelle. Hormis deux programmes d'aides publiques : Medicaid³ et Medicare⁴, et l'obligation de souscrire à une assurance santé minimale (« Obamacare », qui aide financièrement les plus démunis à souscrire une assurance santé), toute l'assurance maladie est privée. A noter que l'Obamacare est la cible de la gouvernance Trump⁵ et donc l'idée d'une couverture maladie universelle aux États-Unis semble inconcevable, d'autant que son coût ne pourrait pas être subventionner en l'état actuel de l'économie américaine.

Ainsi un citoyen américain est soit couvert par l'assurance santé de l'entreprise qui l'emploie, soit couvert par une assurance santé personnelle [15], [16]. Les frais pris en charge, complètement ou en partie, par les assurances, sont très variables.

Une dernière particularité propre au système américain est le principe de « *payer – provider* » [17] :

- Le ***payer***, c'est celui qui paie. Il s'agit donc des assurances privées américaines, mutuelles prenant en charge tout ou partie des frais engendrés par les soins.
- Le ***provider***, c'est en général le médecin, celui qui fournit les soins. Cela peut également être la clinique, la pharmacie... Les hôpitaux américains sont pour la plupart publiques, mais n'échappent pas forcément au système *payer – provider*.

Pour que le système fonctionne, il existe alors des contrats entre les *payer* et les *provider*, qui définiront les tarifs pour les soins, les taux de remboursements... Il existe des contrats privilégiés : un *payer* sera parfois propriétaire ou associé à une clinique : il enverra en conséquence ses patients vers cette clinique.

Ce système a comme atout de libéraliser les soins, il donne lieu à une concurrence entre médecins et cliniques (*provider*) pour fournir les meilleurs soins possibles avec un coût le plus faible possible. Par contre, ce système libéral a également comme inconvénient d'être ~~coûteux~~ pour le patient et pour l'Etat, le coût des soins aux États-Unis étant comparativement bien plus élevé qu'ailleurs. Il cloisonne également les soins en différents niveaux, fonctions *in fine* de la capacité économique de l'individu. Un ouvrier ayant une couverture minimale fournie par son entreprise ne bénéficiera pas de la même couverture, et donc du même niveau de soin, qu'un cadre bénéficiant d'une couverture « haut de gamme ». Enfin, il retire partiellement la liberté de choisir ses médecins au patient.

Concernant la pharmacie, le prix des médicaments et dispositifs médicaux est libre et extrêmement variable d'une localité à une autre. Concerné également par le système *payer – provider*, le médicament bénéficie de tous les aspects marketing que l'on pourrait retrouver, en France, sur un bien de consommation classique : bons de réductions, cartes de fidélité, publicités. Néanmoins la qualité et la sécurité des médicaments et dispositifs

³ Une assistance médicale à destination des familles les plus pauvres.

⁴ Un programme fédéral accessible aux personnes retraitées de plus de 65 ans ou gravement handicapées.

⁵ L'Obamacare pourrait être amené à disparaître dans les mois à venir et donc, peut-être, aboutir à une situation sanitaire très inquiétante.

médicaux est assuré par une autorisation de mise sur le marché et un contrôle strict assuré par la *Food and Drug Administration* (FDA) américaine.

2.3. Le système de santé canadien

Le système de santé canadien ressemble au système de santé français, même s'il possède des particularités qui lui sont propres. Il y a un système de couverture universelle [18], avec une partie des frais médicaux provisionnés par des taxes et une autre par des assurances privées. Le montant du reste à charge, des taxes et des assurances est variable selon les individus **mais aussi en fonction de l'État dans lequel l'on réside**. Les règles de remboursement et de prise en charge sont variable d'un État fédéral à l'autre. Seuls les soins hospitaliers sont réglementés et pris en charge par l'État canadien[19].

Globalement c'est un système de couverture universelle mais qui ne prend pas en charge tous les soins [20] et la couverture universelle ne s'applique que pour les citoyens résident au Canada. Étrangers en séjour court ou long n'y ont pas droit.

2.4. Synthèse

Est résumé la comparaison des différents systèmes de santé français, américain et canadien dans le **Tableau 2**.

<i>Pays :</i>	France	États-Unis	Canada
<i>Fonctionnement général</i>	Assurance santé universelle : s'applique à tous les citoyens français et résidant du territoire + Mutuelles prenant le reste à charge éventuel <i>Personnes en affections de longue durée (ALD) et personnes vivant sous les minimas sociaux (CMU) prisent en charge intégralement</i>	Assurances santé privées + programmes d'aides aux plus démunis	Assurance santé universelle + assurances privées
<i>Financement des soins</i>	Cotisations sociales sur le revenu + Mutuelles personnelles ou d'entreprises payantes	Impôts finançant le système de santé public + Assurance privée souscrite personnellement ou par les employeurs	Cotisations sociales sur le revenu + Mutuelles personnelles ou d'entreprises payantes
<i>Taux de remboursement des soins</i>	Définis par la loi + Prix des actes médicaux et médicaments fixes, définis par arrêtés et identiques partout sur le territoire (<i>hors DROM</i>) Libre choix du patient pour son médecin et son pharmacien	Taux variables selon l'assurance souscrite Prix libres pour les médicaments et les actes médicaux Système de payer-provider orientant le patient en fonction de son assurance	Définis par la loi + Prix des actes médicaux et médicaments fixes, variables selon l'Etat canadien de résidence

Tableau 2 : Comparaison des systèmes d'assurance maladie français, américain et canadien

3. La désertification médicale à travers le monde

3.1. Les déserts médicaux aux Etats-Unis

La problématique des déserts médicaux aux États-Unis rejoint, comme en France et partout dans le monde, celle de l'exode rural : les flux massifs d'individus des petites villes et villages vers les grandes métropoles. « Rural America is a forgotten America » [21].

Les instances américaines ont donc désigné des indicateurs pour quantifier et localiser les déserts médicaux. Celui utilisé actuellement est le HPSA pour *Health Professional Shortage Area* [22]–[25]. Cet indicateur est un score (Figure 3), sur 25 points, 25 correspondant à la zone la moins bien dotée. Le HPSA est disponible pour les soins de premiers recours (*Primary Care*), mais également les soins dentaires et les soins mentaux.



Figure 3 : Calcul du HPSA pour les premiers recours. [24]

La Figure 4 présente la carte des HPSA de soins de premiers recours.

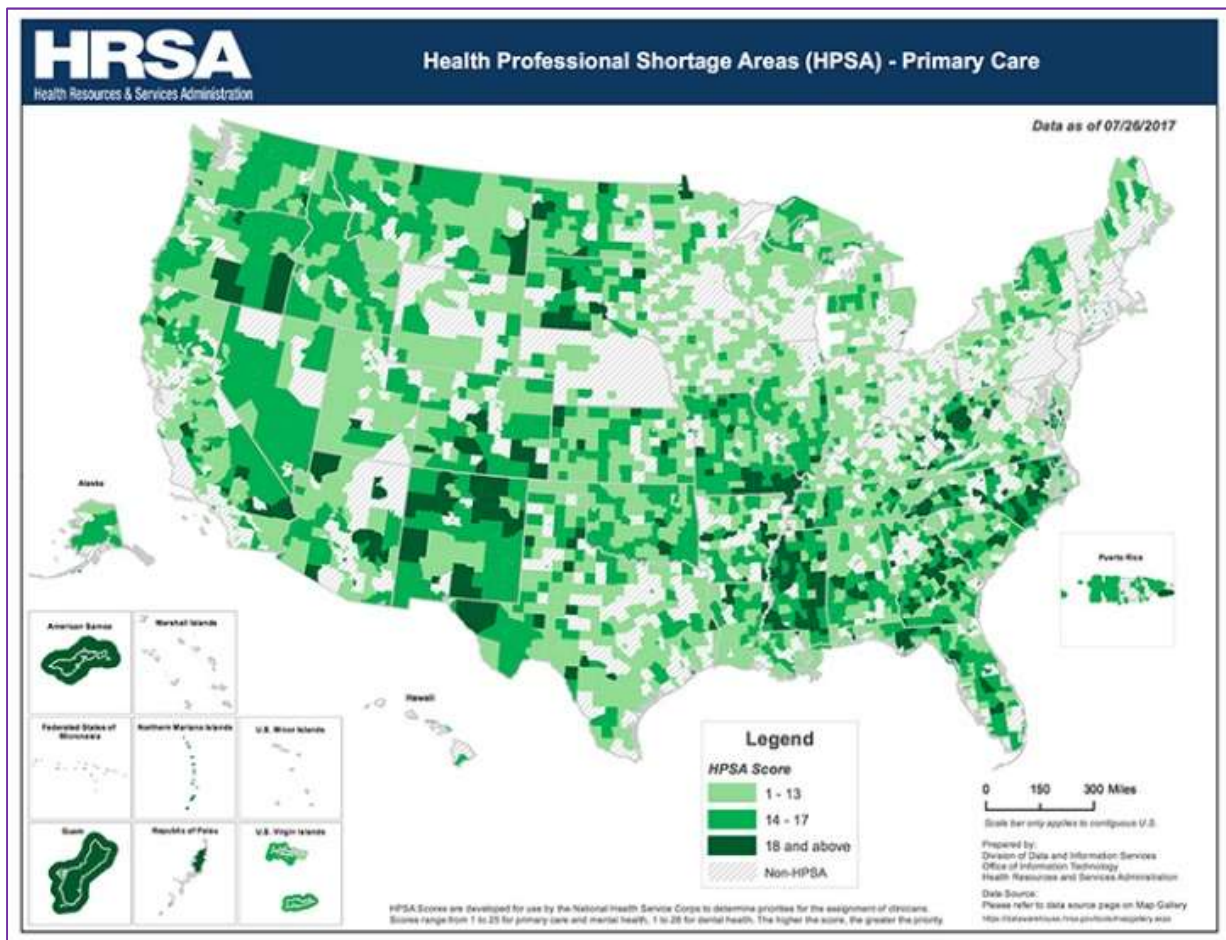


Figure 4 : Carte des déserts médicaux aux États-Unis. Plus la zone est verte foncée plus le HPSA est élevé et donc la zone souffre de désertification médicale. A noter que la carte présentée ici n'est plus disponible sur le site de la HRSA car cette dernière l'a modernisé (les cartes sont à présent interactives, à la manière de Géoportail en France).

On remarque que de larges territoires américains (Arkansas, Idaho, Texas...), plutôt déserts en termes d'habitants, sont propices à la désertification médicale.

Les déserts médicaux sont donc **bien mieux étudiés aux Etats-Unis** qu'en France, et leur gestion est très bien organisée : chaque ville mesure ses scores en fonction de remontées statistiques de terrain ; une fois qu'une zone souffre d'un score trop bas elle se voit alors attribué un montant provenant d'un fond gouvernemental ou étatique de lutte contre les déserts médicaux. Il existe également une multitude d'associations, de programmes et même d'entreprises spécialisés dans la lutte contre l'isolement médical.

La désertification médicale n'est cependant qu'une des difficultés d'accès aux soins dont souffre les américains, la plupart étant d'ordre économique ou spécifique à certaines communautés (indiens natifs, communauté Amish...).

3.2. Les déserts médicaux au Canada

Le Canada est le deuxième pays le plus vaste au monde, mais ne compte que 36 millions d'habitants. Dans certaines zones rurales très étendues, l'accès à un médecin généraliste est très complexe. On observe au Canada, une désertification médicale relativement *classique*, avec deux traits majeurs :

- ✓ Une désertification médicale rurale assez forte, avec des difficultés d'accès aux soins dans les zones en dehors des couronnes des métropoles
- ✓ Une désertification médicale par un manque de médecins généralistes notamment : trouver un médecin de famille au Canada relève du parcours du combattant [26], avec pour conséquence que le Canada accueille beaucoup de médecins étrangers dans l'objectif de réduire ces *healthcare rural shortage* [27]. Concrètement, trop peu de médecins généralistes sont formés chaque année, et la plupart, qui étaient déjà des urbains, ne vont pas s'installer en campagne.

4. Conclusion sur les déserts médicaux

La désertification médicale est une problématique qui se retrouve en France, aux Etats-Unis et au Canada. L'exode rural est la première cause de la désertification médicale touchant ces pays. La concentration des populations dans les métropoles, et la raréfaction des habitants dans les zones rurales, entraînent une désertification médicale des zones rurales. Ce phénomène étant amplifié par le vieillissement des populations rurales et donc la diminution du nombre d'actifs, dont les personnels médicaux, dans ces dites zones. Ce phénomène est alors modulé en fonction de la nature du territoire, ou plus précisément de son étendue. Une zone rurale aux États-Unis est bien plus grande, en moyenne, qu'une zone rurale en France.

On peut donc avancer que plus un pays, au système de santé performant, est étendu, plus il subit la désertification médicale causée par l'exode rural.

Il existe d'autres causes de désertification médicale, comme la diminution de l'exercice libéral des médecins en France au profit d'un exercice de groupe ou hospitalier, ainsi que la féminisation de la profession : il est démontré que les femmes médecins travaillent un volume horaire plus faible que leur confrères masculins et sont moins enclines à s'installer en campagne [28]. Mais ces causes restent anecdotiques comparées au phénomène de l'exode rural.

Les besoins liés aux déserts médicaux sont les mêmes dans ces 3 pays, et il s'agit d'y remédier. L'étude de la gestion des déserts médicaux aux Etats-Unis nous apprend qu'il est essentiel de recenser les zones où les besoins sont les plus urgents pour optimiser leur prise en compte, de plus c'est aux Etats-Unis que les premières technologies connectées de la santé furent employées, au cours du XXe siècle, pour répondre à ces besoins [29].

C'est donc en nous inspirant de ce qui se fait sur le continent nord-américain que nous allons tâcher de savoir si les technologies connectées de la santé peuvent répondre aux besoins en lien avec les déserts médicaux.

III- De nouveaux outils de santé issus de nouvelles technologies connectées

1. Les Télémédecines

1.1. La définition de la télémédecine

Comme celle de « désert médical », la définition de la « télémédecine » est complexe à établir. La définition donnée est souvent large, floue et varie dans son contenu d'une instance à une autre.

Le Larousse définit la télémédecine ainsi : *Partie de la médecine qui utilise la transmission par télécommunication d'informations médicales (images, enregistrements, etc.), en vue d'obtenir à distance un diagnostic, un avis spécialisé, une surveillance continue d'un malade, une décision thérapeutique.*

L'Organisation Mondiale de la Santé définit la télémédecine comme « *la pratique de la médecine au moyen de techniques interactives de communication des données (audiovisuelles notamment) ; cela comprend la fourniture de soins médicaux, la consultation, le diagnostic et le traitement, ainsi que la formation et le transfert de données médicales.* »

Et enfin, la définition législative en France (article L-6316-1 du Code de la Santé Publique) est : « *La télémédecine est une forme de pratique médicale à distance utilisant les technologies de l'information et de la communication. Elle met en rapport un professionnel médical avec un ou plusieurs professionnels de santé, entre eux ou avec le patient et, le cas échéant, d'autres professionnels apportant leurs soins au patient.*

Elle permet d'établir un diagnostic, d'assurer, pour un patient à risque, un suivi à visée préventive ou un suivi post-thérapeutique, de requérir un avis spécialisé, de préparer une décision thérapeutique, de prescrire des produits, de prescrire ou de réaliser des prestations ou des actes, ou d'effectuer une surveillance de l'état des patients. »

Ainsi la télémédecine peut se référer à plusieurs concepts, il est donc essentiel d'explicitier l'ensemble des domaines de la e-santé.

1.2. Les grands domaines de la e-santé

En se référant à plusieurs ouvrages [30] [31] [32] [33], nous allons schématiser un classement de l'ensemble des champs d'application de la e-santé.

On notera que selon les ouvrages les traductions françaises de *e-health* (traduit « e-santé ») et de *telehealth* (traduit « télésanté ») voient leur sens soumis à l'appréciation de l'auteur. La télémédecine « informative » dispose également de différentes définitions en fonction de l'auteur. Le classement qui suit permet, au sens de l'auteur de cette thèse, de simplifier l'organigramme des domaines de l'e-santé.

1.2.1. La e-santé

Point de départ, la **e-santé** – *e-health en anglais* – est le terme englobant l'ensemble des nouvelles technologies et les nouveaux concepts en émergeant dans le domaine de la santé. C'est **l'utilisation des Technologies de l'Information et de la Communication dans les domaines de la santé au sens large**, au sens de la définition de l'OMS c'est-à-dire pas seulement dans une visée curative.

1.2.2. La télésanté

La **télésanté** (*telehealth en anglais*) est en quelque sorte le terme englobant **les nouvelles méthodes et concepts amenés par les nouvelles technologies dans le domaine de la santé**. C'est également le terme désignant toute forme d'exercice de la médecine, et même globalement toute action en vue de promulguer la santé, à distance à l'aide de technologies numériques.

On peut se référer au livre de Pierre Simon, intitulé *Télémédecine : Enjeux et pratiques* [30], pour différencier la télémédecine clinique et la télésanté. La télémédecine induit un acte médical de diagnostic et/ou de consultation par un professionnel de santé. Toute information donnée par des outils numériques constitue de la télésanté, et la télémédecine emploie donc la télésanté comme vecteur d'information.

A noter que *telehealth* est souvent transcrit de manière légèrement différente. Par exemple l'OMS, le définit comme la création, le partage et la diffusion d'informations en vue de promulguer la santé. Ils estiment que leurs actions relèvent du domaine de la télésanté.

La télésanté n'est donc pas l'application d'une action à proprement parlé mais plus un terme englobant toutes les pratiques de transmissions d'informations ayant pour objet la santé des individus.

1.2.2.1. *La télé médecine clinique*

La **télé médecine clinique**, appelée également télé médecine médicale, est la télé médecine au sens large, c'est-à-dire qu'elle comprend un patient physique, réel, qui va passer par une consultation, des examens (parfois en direct, parfois la cinétique est plus longue, dans le cas des réunions de concertation pluridisciplinaire –RCP- par exemple), avec une analyse par un ou plusieurs médecins physiques.

Au sein de la télé médecine clinique on trouvera quatre pratiques majeures et quelques pratiques mineures.

1.2.2.1.1. *La télé consultation*

La télé consultation consiste en une consultation médicale, à distance, réalisable à l'aide de nouvelles technologies (internet, visioconférence, capteurs connectés...). La télé consultation peut induire, ou non, un diagnostic, on parle alors de **télé diagnostic**, et peut amener à une adaptation des traitements voire de nouvelles prescriptions (**télé prescription**). La **télé consultation** est la modalité la plus généralement admise du terme « télé médecine ».

1.2.2.1.2. *La télé prescription*

La **télé prescription** est un sous-domaine, c'est l'établissement d'une prescription à distance par un médecin. Elle peut suivre une télé consultation

1.2.2.1.3. *La télé assistance*

La **télé assistance**, c'est l'assistance en temps réel de médecins entre eux, ou de médecins envers un patient expert. Il coexiste plusieurs formes de télé assistance :

- D'un médecin à un autre médecin : très exploitée en chirurgie, cette télé assistance consiste en un échange en temps réel entre les deux praticiens, et peut même conduire à une assistance « physique » directement à l'aide d'un robot contrôlé par le médecin télé assistant. La télé assistance est également très utilisée dans les armées, pour les médecins militaires sur le terrain voire directement auprès de soldats formés. Les domaines militaires et aérospatiaux (la télé assistance médicale des astronautes fut pionnière) sont des vecteurs de développement important des nouvelles technologies de la santé.
- D'un médecin vers un patient expert, qui appellera pour de l'aide (ex : crise d'épilepsie). Un patient expert étant un patient connaissant très bien sa maladie. De rares situations d'assistances à des patients non experts peuvent être assimilées à de la télé assistance : le cas des suites d'autotests à des maladies infectieuses (*SIDA info service, numéro à appeler en cas d'autotest VIH positif, est considéré comme de la télé assistance*).

1.2.2.1.4. *La téléexpertise*

La **téléexpertise** désigne l'expertise médicale, à distance, d'un cas clinique par un ou plusieurs médecins.

La téléexpertise recouvre un domaine très large, et déjà bien implanté dans les soins hospitaliers, même en France. Des médecins échangent des informations et se concertent afin de donner un avis médical, sur le diagnostic ou la prise en charge d'un patient. La cinétique est longue, il ne s'agit pas d'un diagnostic en temps réel.

- La majorité des téléexpertises effectuées le sont entre deux établissements, dont l'un est considéré établissement de référence dans un domaine particulier.
- Cependant la téléexpertise peut également intervenir entre services au sein d'un même établissement.
- Enfin, on peut avoir de la téléexpertise de soin primaire entre un médecin généraliste qui va envoyer des informations à un confrère médecin spécialiste, un pharmacien, pour expertise dans un domaine.

Parmi les spécialités qui ont le plus recours à la téléexpertise, on peut citer : l'imagerie et notamment la radiologie, le téléAVC (analyse de scanner neurologique en cours ou post-AVC), la dermatologie, et enfin la dialyse (suivi de la dialyse par des médecins spécialistes hors de l'établissement de dialyse).

1.2.2.1.5. *La télésurveillance*

La **télésurveillance**, aussi appelé télémonitoring, télésuivi, ou télémédecine informative, est le domaine du recueil à distance de paramètres biologiques (ex : la glycémie) et physiques (ex : la tension artérielle, un ECG), à des fins médicales et de prise en charge.

En France, elle concerne essentiellement les dialyses, les grossesses et l'observance des utilisateurs d'appareils contre l'apnée du sommeil. Néanmoins, dans un futur proche, les avancées technologiques pourraient permettre de surveiller –ou rendre surveillable– à distance l'ensemble de nos paramètres biologiques.

1.2.2.1.6. *La télégériatrie*

La télégériatrie est un domaine relativement vaste et en futur essor : de la simple téléconsultation ayant lieu dans un EHPAD ou un foyer logement, auprès d'une population gériatrique, à une démarche plus globale de télésuivi de la population gériatrique (détection des chutes, des troubles de la déglutition, des symptômes de démence...).

1.2.2.2. *La télémédecine sociale*

La télémédecine sociale, ou **telecare**, concerne des domaines comme le maintien à domicile (MAD), les aides aux personnes âgées ou ayant besoin d'une aide (sans forcément

souffrir d'une pathologie particulière). Contrairement à la télémédecine clinique elle ne concerne pas des pathologies mais plus l'accompagnement social, au domicile, de personnes.

1.2.3. Les outils supports et les technologies

Les **outils supports et les technologies** sont l'ensemble des outils utilisés dans la e-santé. Ils comprennent des éléments de base, comme internet ou les bases de données, et des concepts propres à la e-santé.

1.2.3.1. La télématique

La **télématique** recouvre le transfert et le stockage d'informations de toutes sortes. Le travail collaboratif assisté par ordinateur (TCAO) est un ensemble de concepts pour réfléchir le travail coopératif qu'est la télémédecine.

1.2.3.2. La p-santé

La **p-santé** est une médecine personnalisée (d'où le « *p* » de « *p-santé* »), visant à réaliser, une médecine spécifiquement conçu pour chaque patient et pathologie, notamment au niveau médicamenteux.

1.2.3.3. La robotique

La **robotique** est indispensable dans certains domaines de la téléassistance, notamment la chirurgie téléassistée. L'intelligence artificielle (IA), le *deep learning*, le *big data*... etc., sont autant de nouvelles technologies qui viennent assister le professionnel de santé dans sa pratique, et non pas le suppléer, comme cela est souvent craint.

1.2.3.4. La m-santé

La **m-santé** désigne un vecteur d'informations de santé. Elle est constituée des objets connectés et des applications pour smartphone, c'est un domaine en pleine expansion. Le « *m* » de m-santé provient du mot anglais « *mobile* ».

1.2.3.5. Les jeux sérieux

Les **jeux sérieux** sont des jeux (souvent des jeux-vidéos) à visée pédagogique, voire à visée médicale.

1.2.4. Les services commerciaux de la santé

Les **services commerciaux de la santé** sont des domaines qui n'entrent pas dans celui de la télésanté (du moins selon la définition que nous avons choisie), qui ont souvent un objectif commercial et qui ne consiste pas en un acte médical. Certains sont totalement orientés pour les patients (domotique, m-santé, téléservices), d'autres sont orientés patients

et professionnels de santé (informations et formations médicales). La m-santé et le *quantified self*⁶ sont des domaines en pleine expansion.

Beaucoup d'éléments des services commerciaux servent à l'autonomie des personnes à leur domicile, dans l'objectif, bien souvent, d'éviter une hospitalisation ou une institutionnalisation.

1.2.5. Synthèse des domaines de la e-santé

Les domaines de la e-santé sont imbriqués les uns aux autres comme on peut le synthétiser en Figure 5.

⁶ Le *quantified self* (mesure de soi en français) ou *personal analytics* est un mouvement qui regroupe les outils, les principes et les méthodes permettant à chacun de mesurer ses données personnelles, de les analyser et de les partager.

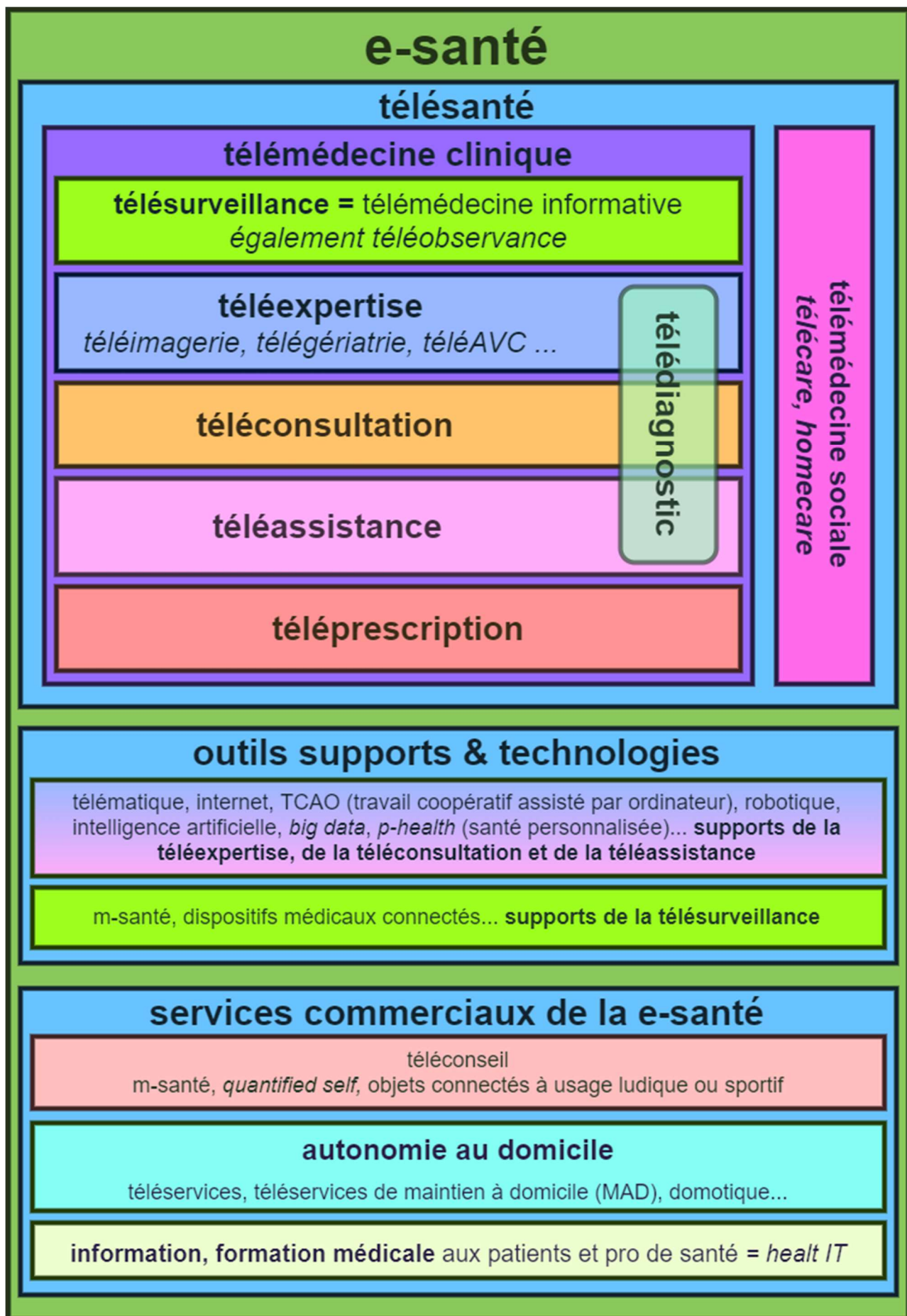


Figure 5 : synthèse des domaines de la e-santé

1.3. Un peu d'Histoire de la télé médecine

Dès 1920, une solution de téléassistance médicale pour les navires de commerce transatlantiques est développée aux États-Unis. En 1950, le radiologue Gershon-Cohen (**Figure 6**) développe une technique de diagnostic radiologique à partir de copies transmises par ondes radio ou par téléphone.

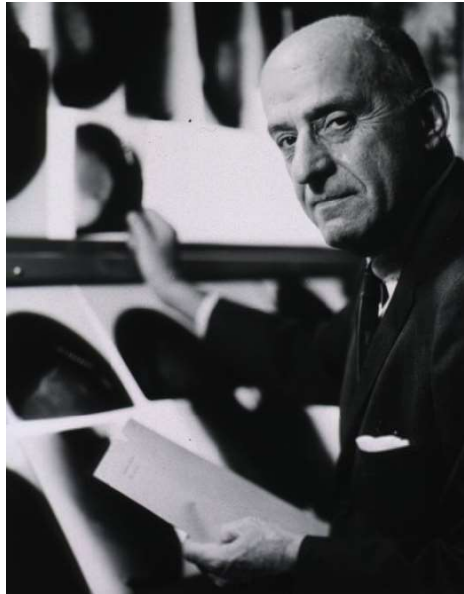


Figure 6 : Jacob Gershon-Cohen, 1989 [34]

Dans les années 1960, la télé médecine fut expérimentée pour la première fois aux États-Unis, avec de la téléconsultation réalisée par le *Nebraska Psychiatric Institute*. Le premier congrès de télé médecine eu lieu en 1973 dans le Michigan. Durant les années 1970, les projets se multiplièrent mais se heurtèrent aux limitations technologiques de l'époque (on utilisait alors essentiellement le téléphone et des techniques de visioconférence de basses qualités). De plus, il n'y avait pas de modèle économique défini. A travers le monde, des initiatives individuelles germèrent pour répondre à des besoins bien spécifiques, toujours en lien avec des populations isolées [35].

Durant les années 1980, l'armée américaine et la NASA (**Figure 7**) [36] expérimenta et développa les bases de la télé médecine actuelle. De même, des applications civiles se développèrent de plus en plus pour joindre des populations isolées : Amérindiens, scientifiques dans des bases reculées (Antarctique) ou encore les employés de stations pétrolières off-shore de la Mer du Nord. Le deuxième pays pionnier en télé médecine, le Canada, commença à développer des programmes de télé médecine afin d'améliorer l'accès aux soins sur son immense territoire. De nombreux réseaux de téléconsultations, dans des spécialités diverses (obstétrique, pédiatrie, cardiologie...) permettront un accès aux soins aux Inuits, dans le Grand Nord.



Figure 7 : La « mallette » de télémedecine de la NASA (*premier modèle à gauche [37], un modèle des années 1990 à droite [38]*), premier véritable outil « tout-en-un », *all-in-one*, permettant de réaliser des consultations à grande distance. On remarquera le souci de compacité de la mallette, car la NASA développe ses outils afin qu'ils puissent être utilisés par l'armée américaine.

Les années 1990 verront une augmentation croissante des utilisations de la télémedecine. On passera de cinq programmes de télémedecine en 1990, aux États-Unis, à plus de 110 en 1995 ! L'accès à des technologies de communication plus efficaces (internet) va permettre un essor de ces technologies même en Europe. C'est effectivement la Norvège qui fut la nation européenne pionnière, avec, dès 1987, la création d'un centre de recherche en télémedecine (*NST : Nasjonalt senter for Samhandling og Telemedecine*), reconnu par l'OMS. Plusieurs projets virent le jour au sein du NST, la plupart pour permettre un accès aux soins dans le Grand Nord à des populations très isolées. Ils se montrèrent également pionniers dans le domaine de la télé dialyse. La Norvège fut le premier pays européen à pratiquer la télédermatologie à grande ampleur et à analyser les gains économiques de cette pratique.

A partir des années 2000, la télémedecine atteint sa « maturité »[32], profitant de modèles économiques et d'infrastructures plus importantes, essentiellement dans les grands hôpitaux, les armées et les sociétés dont les employés se retrouvent dans des zones isolées (compagnies pétrolières, sociétés de transport maritime ... etc.).

En France, le plan « e-santé 2000 », doté d'un financement de 25 millions d'euros fut lancé en 2000. Il aura été un échec, notamment à cause d'un défaut de participation des professionnels de santé et du modèle très clinique de la médecine en France. L'absence de cadre de remboursement fut également un facteur empêchant le développement de la e-santé à cette époque [33].

La télémedecine institutionnalisée débuta aux États-Unis et au Canada comme solution aux longues distances qui séparent les patients de leurs médecins. Le développement précoce de la télémedecine à grande ampleur en Norvège fut également dû aux besoins de transmettre des informations sur de longues distances et de réaliser des

économies de coûts quant à la surveillance de paramètres pouvant être monitorés à distance au lieu de nécessiter le déplacement, souvent très coûteux, d'un médecin.

En France, les premiers essais de télémédecine (*en dehors des utilisations maritimes ou militaires*) furent entrepris plus par intérêt technologique que pour répondre à un réel besoin. Aujourd'hui lancée, la télémédecine répond-elle à de nouveaux besoins ?

1.4. Développement récent de la télémédecine clinique, aux Etats-Unis et en France

La télémédecine clinique a connu un essor très médiatisé durant les dernières années en France. Ce regain d'intérêt pour une pratique jusqu'alors marginale fait suite à une véritable institutionnalisation de la télémédecine aux Etats-Unis.

1.4.1. L'institutionnalisation de la télémédecine aux Etats-Unis

1.4.1.1. Une utilisation de la télémédecine en forte augmentation à partir des années 2000

Pour comprendre l'arrivée du remboursement des actes de télémédecine en France, il faut revenir à l'essor qu'a connu la télémédecine aux Etats-Unis il y a une vingtaine d'années. Exploitée à l'échelle institutionnelle dès les années 2000, le développement de moyens de communications de plus en plus performants et bon marché, ainsi que, vraisemblablement, l'arrivée de médecins plus jeunes et plus au fait des nouvelles technologies, a entraîné une explosion des téléconsultations durant les années 2010. En 2014, plus d'un million de téléconsultations étaient effectuées dans le pays [39]. Fin 2015, la télémédecine était entrée « *dans les mœurs* », même au sein de populations défavorisées [40].

Néanmoins, il y avait un frein majeur au développement de la télémédecine : l'absence de consensus des assureurs sur le remboursement.

La télémédecine ne pourrait être complètement intégrée au système de santé américain qu'une fois remboursée. L'instauration du remboursement de la télémédecine aux États-Unis coïncidera, à quelques mois près, avec la mise en place du remboursement en France.

1.4.1.2. 2017 : le remboursement de la télémédecine

La période charnière dans l'histoire contemporaine de la télémédecine est 2018. Que ce soit aux États-Unis, en Europe ou en France, les législations ont évolué : libéraliser la télémédecine, encourager son utilisation au maximum en facilitant notamment son remboursement.

Fin 2017, le National Quality Forum a publié un rapport sur les moyens de mesurer l'efficacité (tant en termes de soin qu'en termes économiques) de la télémédecine **Le CHRONIC Act est voté au sénat américain à l'unanimité** [41], [42]. **Cette loi permet le remboursement de la télémédecine pour les bénéficiaires de Medicaid.** Dans la foulée, presque l'ensemble des États américains a promulgué des lois en faveur du développement et du remboursement de la télémédecine [43].

À partir de 2018 la télémédecine est définitivement devenue une norme. Ce n'est plus une pratique « à part » (« *carve-out* ») [44], [45]. Le mouvement est général, les professionnels de santé, les cliniques et les hôpitaux (*provider*) ainsi que les organismes d'assurances (*payer*) mettent en place l'institutionnalisation de la télémédecine et plus globalement de la e-santé.

Le nombre de téléconsultations croît fortement et les prévisions pour les années à venir estiment qu'entre 60 et 80 millions de téléconsultations seront réalisées par an aux États-Unis (**Figure 8**).

Elle devient également incontournable dans la gestion des déserts médicaux. A titre d'exemple : Intermountain [437], une association spécialisée dans l'accès aux soins au sein des déserts médicaux, est composée de 24 hôpitaux, 2400 médecins dans 160 cliniques.

(Figure 1)

NUMBER OF TELEHEALTH VISITS IN THE U.S. FROM 2013 TO 2022 (IN MILLIONS)

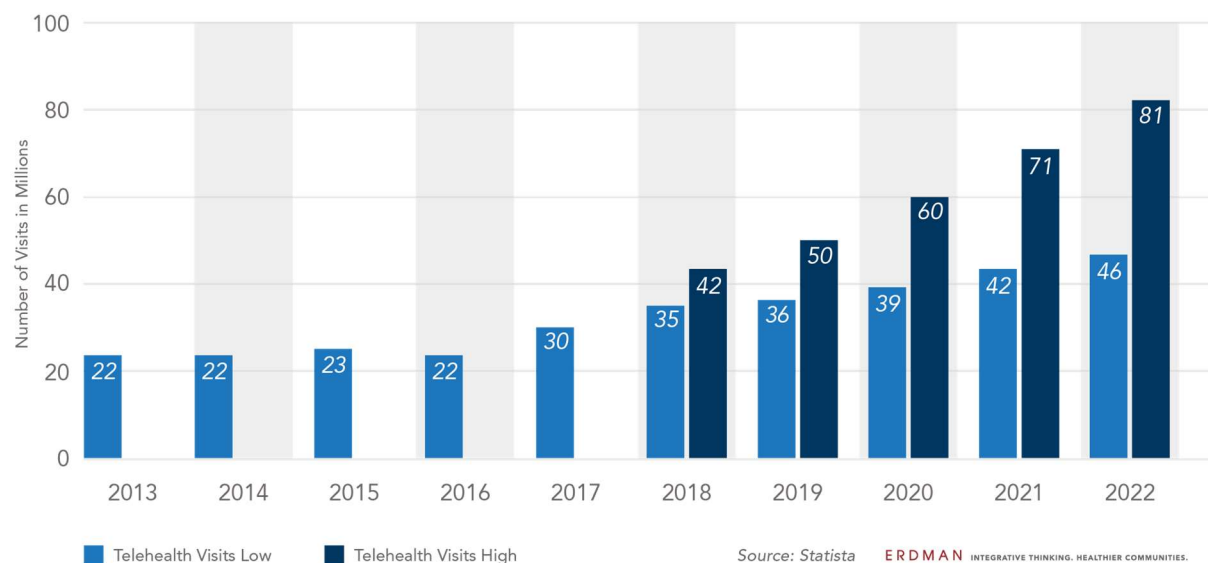


Figure 8 : Nombre de téléconsultations aux Etats-Unis, par an, et projections sur les années 2018-2022 par Statista [46].

1.4.2. La pratique de la télémédecine en France

1.4.2.1. Les premières initiatives

Jusqu'en 2018, la télémédecine et notamment la pratique des téléconsultations restait marginale et cantonnée à des projets de petites envergures, souvent subventionnés par les régions [47], [48], [49].

Au niveau associatif, il existe deux associations nationales portant sur la télémédecine et globalement la promotion de la e-santé. Le **Catel**, le Club des Acteurs de la TÉLésanté, également appelé Centre de Ressources et d'Expertise E-santé[50], et la **SFTelemed** [51] (Société Française de Télémédecine), anciennement appelée ANTEL (Association Nationale de Télémédecine), reconnue par l'Eurtelemed [52] (Recherche Européenne en Télémédecine). Cette dernière propose un DIU Télémédecine [53].

Ces associations/sociétés savantes (Catel, SFTelemed) se situent davantage en tant que rapporteurs de terrains, formateurs, créateurs d'évènements et lobbyistes, que de véritables fournisseurs de services de télémédecine. Le Catel fournit des recommandations (Livre Blanc), là où la SFTelemed produit plutôt des formations. Ils ne fournissent aucune solution matérielle ou logicielle.

Les initiatives qui apparurent en France avant 2018 ont vu le jour grâce aux Investissements d'Avenir (appel à projets E-santé 1 et E-santé 2). On peut citer par exemple

SYMPAD [54][55], un « tableau de bord » permettant de surveiller les paramètres biologiques de patients. Le concept, primé [56] et produit par Médecindirect [57] est aujourd'hui complètement abandonné. Il avait bénéficié d'un peu plus d'un million et demi d'euros d'investissement publics.

Il y a également le lauréat E-santé 2, Télémédinov [58] de Michel Rioli (*personnalité connue pour son rapport « Le Pharmacien d'Officine dans le Parcours de Soins »* [59]). Il s'agit de l'installation d'une infrastructure de téléconsultation au sein d'une pharmacie en Vendée (*celle de la compagne de M. Rioli*) et dans des EHPAD situés autour [60][61].

Concrètement, avant 2018, l'usage de la télémédecine en ville restait extrêmement rare.

Au niveau hospitalier, le constat était similaire. La plupart des grands centres hospitaliers ont montré un intérêt pour la télémédecine, mais hormis des initiatives individuelles peu de services ont réellement mis en place une routine de téléconsultation, télémonitoring ou téléassistance. Des investissements dans la modernisation des structures informatiques des hôpitaux ont été fait [62] et des programmes ont été mis en place, comme ETAPES (*Expérimentations de Télémédecine pour l'Amélioration des Parcours En Santé*) [63], programme reconduit pour 5 ans en 2018 (*malgré des résultats très moyens, seuls 25% des fonds alloués utilisés*)

Au 31 août 2017, sur l'année seulement 299 actes de téléconsultation et 156 actes de télé-expertise ont été pris en charge par l'assurance maladie [64] (*la télé-expertise pouvant bénéficier de prise en charge dans le cadre hospitalier*). L'organisation de la télémédecine en France était alors **fragmentée**, constituée d'initiatives individuelles, et manquait de liens entre ses acteurs.

Par ailleurs le rapport réalisé par la Cour des Comptes en 2017 soutenait ce constat : **« Les initiatives du ministère de la santé se sont succédées sans ligne directrice claire ni continuité, sinon leur caractère expérimental et leur défaut d'évaluation. »** [65].

Avec l'instauration du remboursement de toutes les téléconsultations et d'une trame législative encadrant la télémédecine, et la volonté sous la présidence d'Emmanuel Macron de promulguer la e-santé, a-t-on observé un essor de la pratique de la télémédecine semblable à celui des Etats-Unis ?

1.4.2.2. 2018 : le remboursement de la télémédecine

Le 1^{er} août 2018 est paru l'arrêté portant l'approbation de l'avenant n°6 à la convention nationale organisant les rapports entre les médecins libéraux et l'assurance maladie signée le 25 août 2016. Ainsi la télémédecine, et plus précisément la téléconsultation est à présent remboursée intégralement par la sécurité sociale.

1.4.2.3. La place de la télémédecine dans le droit français

Le droit français comprend tous les éléments nécessaires à un encadrement complet de la télémédecine (téléconsultations, mais également téléassistance, téléexpertise, télémonitoring...). Dans le **Tableau 5** se trouvent tous les textes référencés encadrant le remboursement et le droit de la télémédecine.

	Référence du texte :	Synthèse du texte :
Définition de la télémédecine	Article L6316-1 du Code de la Santé Publique [66] ajouté par la Loi HPST (« Hôpital Patient Santé Territoire ») du 22 juillet 2009 [67]	<p>Définit la télémédecine au niveau de la législation française :</p> <p><i>« La télémédecine est une forme de pratique médicale à distance utilisant les technologies de l'information et de la communication. Elle met en rapport un professionnel médical avec un ou plusieurs professionnels de santé, entre eux ou avec le patient et, le cas échéant, d'autres professionnels apportant leurs soins au patient. »</i></p> <p><i>Elle permet d'établir un diagnostic, d'assurer, pour un patient à risque, un suivi à visée préventive ou un suivi post-thérapeutique, de requérir un avis spécialisé, de préparer une décision thérapeutique, de prescrire des produits, de prescrire ou de réaliser des prestations ou des actes, ou d'effectuer une surveillance de l'état des patients. »</i></p>
Gestion, règles et sécurité des données de santé	Loi « Kouchner » du 4 mars 2002 [68], notamment art. L.1111-7, L.1111-9 et L.1111.10 [69]	<p>Loi ajoutant au CSP des éléments quant à la gestion des données de santé et aux droits des usagers : <i>« Toute personne a accès à l'ensemble des informations concernant sa santé détenues par des professionnels et établissements de santé [...] ».</i></p> <p>L'agrément mentionné à l'article L.1111.10 est donné à l'hébergeur de données après accord de la CNIL et du comité d'agrément (L.1111.11).</p>
	Loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés [70]	La loi « Informatique et Libertés » a été abrogée partiellement par le Décret n° 2019-536 du 29 mai 2019 [71], qui vise à harmoniser la législation française avec la législation européenne et le RGPD .
	Loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés, <u>avec la nouvelle rédaction du 1^e juin 2019</u> [72]	Loi régissant les règles de la gestion des données personnelles, en France. Fonctionne à présent à la manière du RGPD avec une classification fonction de la nature des traitements considérés.
	<p>Règlement (UE) 2016/679 du Parlement européen et du Conseil du 27 avril 2016, relatif à la protection des personnes physiques à l'égard du traitement des données à caractère personnel et à la libre circulation de ces données, et abrogeant la directive 95/46/CE (règlement général sur la protection des données) [73]</p> <p>Le RGPD, base juridique européenne à la gestion et à la protection des données personnelles (dont les données de santé, considérées comme données sensibles). Le RGPD est appliqué et respecté par de nombreuses multinationales (ex : GAFAM) afin de simplifier leur gestion des données et améliorer leur éthique.</p>	

	Article L1110-4 du Code de la Santé Publique [74]	Article du CSP précisant les règles quant aux données personnelles et définit le secret professionnel. « <i>Toute personne [...] a droit au respect de sa vie privée et du secret des informations la concernant.</i> » Il y est également précisé les modalités de partage possible et donc de « transgression » du secret professionnel.
La gestion des données en santé est en pleine mutation, comme il est possible de le lire dans le livre « <i>La révolution du pilotage des données de santé</i> » [75].		
Mise en place de la téléconsultation	LOI n° 2017-1836 du 30 décembre 2017 de financement de la sécurité sociale pour 2018 - Article 54 [76]	Définit des modalités de mise en place de la téléconsultation et de la télésurveillance, ouvre à l'expérimentation de leurs remboursements et de leurs mises en place. Ajoute à la convention du pharmacien « <i>Les modalités de participation des pharmaciens à l'activité de télémedecine [...]</i> ».
	Décret n° 2010-1229 du 19 octobre 2010 relatif à la télémedecine [77]	Ajoute au CSP : le détail des activités de télémedecine, leurs conditions de mise en œuvre et leur organisation.
	Décret n° 2018-788 du 13 septembre 2018 relatif aux modalités de mise en œuvre des activités de télémedecine [78]	Simplifie les modalités de remboursement de l'acte de téléconsultation.
	Arrêté du 1er août 2018 portant approbation de l'avenant n° 6 [79] à la convention nationale [80], [81] organisant les rapports entre les médecins libéraux et l'assurance maladie signée le 25 août 2016 [82]	Arrêté mettant en application l'avenant n°6 de la convention médecin, instaurant ainsi définitivement les modalités des activités de téléconsultation, leur organisation et leur remboursement. <i>Lettre réseau correspondante : LR-DDGOS-73-2018</i> [83]
	Page informative mise à disposition du Ministère auprès des médecins, contenant toutes les informations essentielles à la mise en place -dans les règles définies par la convention- de la téléconsultation [84].	
	Fiche Mémo-Qualité et sécurité des actes de téléconsultation et de téléexpertise [85]	Fiche mémo permettant d'identifier les patients éligibles à un acte de téléconsultation.

Qualité et sécurité des actes de téléconsultation et de téléexpertise - Guide de bonnes pratiques [86]	Guide édité par la HAS sur les bonnes pratiques de téléconsultation et de téléexpertise.
Arrêté du 2 septembre 2019 portant approbation de l'avenant n° 15 à la convention nationale du 4 mai 2012, organisant les rapports entre les pharmaciens titulaires d'officine et l'assurance maladie [87] : L'avenant n°15 de la convention pharmacien définit les modalités de téléconsultation au sein des officines, les forfaits d'installation de l'équipement nécessaire et la rémunération du pharmacien pour ces services de téléconsultation.	
Arrêté du 11 octobre 2018 portant cahier des charges des expérimentations relatives à la prise en charge par télésurveillance mises en œuvre sur le fondement de l'article 54 de la loi n° 2017-1836 de financement de la sécurité sociale pour 2018 [88]	

Tableau 5 : Textes de loi encadrant la télémédecine en France

1.4.2.4. Modalités d'accès au remboursement de la télémédecine

Nous retrouvons ici l'essentiel de l'avenant 6 :

« [...] *L'ensemble des patients peut bénéficier de téléconsultations.*

Principe :

Les téléconsultations s'inscrivent dans le respect du parcours de soins coordonné, tel que défini dans la présente convention.

Ainsi, pour pouvoir ouvrir droit à la facturation à l'Assurance maladie, les patients bénéficiant d'une téléconsultation doivent être :

- *Orientés initialement par leur médecin traitant, [...], quand la téléconsultation n'est pas réalisée avec ce dernier ;*
- *Connus du médecin téléconsultant, c'est-à-dire ayant bénéficié au moins d'une consultation avec lui en présentiel dans les douze mois précédents, avant toute facturation de téléconsultation, afin que celui-ci puisse disposer des informations nécessaires à la réalisation d'un suivi médical de qualité.*

Dans le cadre du suivi régulier des patients, le recours à la téléconsultation s'effectue en alternance avec des consultations dites « en présentiel » [...].

Exceptions :

Les exceptions au parcours de soins [...] s'appliquent aux téléconsultations :

- *Patients âgés de moins de 16 ans ;*
- *Accès direct spécifique pour certaines spécialités (gynécologie, ophtalmologie, stomatologie, chirurgie orale ou en chirurgie maxillo-faciale, psychiatrie ou neuropsychiatrie et pédiatrie).*

En outre, l'exigence de respect du parcours de soins coordonné ne s'applique pas aux patients, dès lors qu'ils sont dans l'une ou l'autre des situations suivantes :

- *Ne disposent pas de médecin traitant désigné ;*
- *Ou dont le médecin traitant n'est pas disponible dans le délai compatible avec leur état de santé.*

Dans ces deux dernières situations, le médecin téléconsultant de premier recours n'a pas nécessairement à être connu du patient (exception au principe de connaissance préalable du patient par le médecin téléconsultant défini dans le présent article). Le recours aux téléconsultations est assuré dans le cadre d'une organisation territoriale dans les conditions définies à l'article 28.6.1.2. » [79]

Conditions de réalisation :

*La téléconsultation est obligatoirement réalisée par **vidéotransmission**, et dans des conditions d'équipement, d'accompagnement et d'organisation adaptées aux situations cliniques des patients permettant de garantir la réalisation d'une consultation de qualité [...] :*

- *Dans des lieux permettant la **confidentialité des échanges entre le patient et le médecin consultant** ;*
- *Dans des conditions permettant de **garantir la sécurisation des données transmises** (confidentialité, protection des données personnelles, etc.) [...] dans les conditions respectueuses des référentiels de sécurité et d'interopérabilité concernant la transmission et les échanges de données.*

Les médecins [...] peuvent se référer utilement aux différents référentiels [...] (Confère la Fiche Mémo [85] et le Guide de Bonnes Pratiques de la HAS [86])

Compte-rendu :

*L'acte de téléconsultation doit faire l'objet d'un **compte rendu** établi par le médecin téléconsultant, que celui-ci archive dans son propre dossier patient [...] et **doit être transmis au médecin traitant et au médecin ayant sollicité l'acte.***

*Un compte rendu doit être, le cas échéant, **intégré par le médecin assurant la téléconsultation, quand il n'est pas le médecin traitant du patient, dans le dossier médical partagé (DMP) du patient lorsqu'il est ouvert.** [79]*

Le texte bénéficie de points consolidant la qualité des soins, et de points qui au contraire semblent être la porte ouverte aux abus, comme cela a très vite été dénoncé par les médecins généralistes [89].

Une téléconsultation « classique » d'après le texte se déroule dans un cadre optimal : respect du parcours de soin, téléconsultation avec son médecin traitant, obligation d'employer des dispositifs médicaux connectés permettant un examen clinique complet, puis la génération d'un compte rendu qui sera sauvegardé dans le Dossier Médicale Partagé du patient. Tout cela dans un respect optimal de la RGPD et en utilisant des protocoles de communication sécurisé.

Or, la loi n'est pas aussi restrictive et ouvre la voie à une pratique de la téléconsultation bien plus libérale : *« Exception [...] : Ou dont le médecin traitant n'est pas disponible dans le délai compatible avec leur état de santé. »*

À partir de cette phrase il est désormais possible de rembourser n'importe quelle téléconsultation, à partir du moment où *« il est estimé que le médecin traitant n'était pas disponible »*.

De plus d'autres détails érodent et affaiblissent la loi : il n'est fait mention que de préconisation en terme de sécurité et de confidentialité. De même les dispositifs médicaux connectés de mesures ne sont que recommandés, non obligatoires, pour réaliser l'examen clinique. Une simple conversion en visioconférence suffit. Enfin, si le patient ne dispose pas de dossier médical partagé (DMP) (*ou on imagine si un quelconque soucis technique l'empêche*) alors le médecin téléconsultant n'a pas à produire de compte-rendu.

En conclusion : la téléconsultation est remboursée en France, et les prérequis à ce remboursement sont très faibles.

1.4.2.5. Les entreprises proposant des téléconsultations

De multiples acteurs privés se sont lancés sur le marché de la téléconsultation en France. De par leur aspect éphémère pour la plupart, nous ne mentionnerons que les acteurs majeurs du secteur.

- **Doctolib** : entreprise à succès de la prise de rendez-vous médicaux en ligne, leader en Europe et dans le monde dans le domaine [90] et investisseur de premier plan dans la e-santé, il s'agit de l'acteur majeur en terme de téléconsultation [91], avec 80% de part de marché sur la téléconsultation conventionnée (c'est-à-dire remboursée) sur l'année 2019. Elle est également implantée dans de nombreux centres hospitaliers français et profite du soutien indéfectible de la Banque Publique d'Investissement France (BPI France).
- **Qare** [92] : très médiatisé et controversé, le service Qare est vivement critiqué par l'Ordre des médecins [89], [93]. Pour le moment la grande majorité des téléconsultations effectuées par ce service sont non-conventionnées.
- **LeahCare** [94] : similaire à Qare, propose de la téléconsultation par smartphone, mais semble respecter le parcours de soin conformément à la convention.
- Des solutions *« hors convention »*, donc totalement non remboursées, existent depuis un certain temps et continuent d'apparaître : Urgence Docteurs [95], [96], Hellocare [97]...

Outre les solutions privées, la plupart des centres hospitaliers présente un ou plusieurs services de téléconsultation, et également de téléexpertise. Le CHRU de Tours, par exemple, affirme son rôle de pôle de compétence sur la région Centre-Val-de-Loire et

l'inter-région Grand Ouest en proposant plusieurs services de téléconsultations et de téléexpertises [98]. Néanmoins, il n'est pas question d'un emploi fréquent et routinier de la télé médecine.

1.4.2.6. La téléconsultation en pharmacie : une opportunité à saisir pour la profession ?

Les expériences de télé médecine en pharmacie ont débuté dans les années 2010 avec quelques projets isolés, et encore aujourd'hui les pharmacies proposant de la téléconsultation restent rares. Il s'agit systématiquement d'une initiative individuelle motivée par le pharmacien titulaire, souvent dans d'importantes pharmacies et pour répondre à des pathologies aiguës bénignes (rhume, cystite...) [99]. On peut citer quelques exemples :

- Télémédivox [58]
- netCare, Visiomed [100], H4D [101]: proposent des solutions de cabines de téléconsultation
- **Un projet unique de téléconsultation assistée par le pharmacien** [102] qui est très pertinent en terme de qualité du soin. De plus, en employant un réseau de médecin local, probablement une Communauté Professionnelle Territoriale de Santé (CPTS), cela consolide les liaisons interprofessionnelles et sécurise la prise en charge du patient.
- Pharmabest et son réseau de service de télé médecine pour le repérage des mélanomes et autres cancers cutanés [103]

Le cadre législatif fourni par l'avenant n°15 à la convention pharmacien fournit des aides financières à l'installation du matériel nécessaire. Néanmoins, on peut constater que les obligations concernant le matériel de téléconsultation ne sont absolument pas les mêmes entre la convention des médecins et celle des pharmaciens. Si les médecins ne disposent d'aucune obligation, les pharmaciens doivent intégrer une liste exhaustive de matériels médicaux, en plus d'un local confidentiel dédié, afin de bénéficier d'une aide forfaitaire de l'assurance maladie :

- **Equipe ment de vidéotransmission**
- **Stéthoscope connecté**
- **Otoscope connecté**
- **Oxymètre**
- **Tensiomètre**

Le forfait ne couvre pas les frais engendrés par l'aménagement d'un espace dédié.

En conclusion, il semble probable que la télé médecine et la téléconsultation en pharmacie reste marginale : l'installation de cabines de téléconsultations ne concerne que les pharmacies à fort chiffre d'affaire, ou étant commercialement agressives (groupement

Lafayette, casseurs de prix...). La pharmacie rurale pourra éventuellement y trouver une solution d'appoint pour sa patientèle mais en aucun cas il ne s'agit d'une réelle opportunité d'étendre les prérogatives la profession de pharmacien d'officine. Seule l'impulsion des groupements et des pouvoirs publics pourraient faire changer la donne, avec notamment les Communauté Professionnelle Territoriale de Santé (CPTS).

Pour proposer une solution aux problèmes liés aux déserts médicaux par la télémedecine en pharmacie, notamment rural, il faut une impulsion générale de la profession, des syndicats et de l'Ordre des Pharmaciens.

1.4.2.7. Un nombre d'actes remboursés en deçà des attentes

Il peut se dérouler aujourd'hui des téléconsultations conventionnelles, et donc remboursées, et des téléconsultations non conventionnelles non remboursées. Il est très difficile d'estimer le nombre de téléconsultations non remboursées.

Avec 60 000 téléconsultations remboursées sur l'année 2019 [104], c'est une mauvaise prévision de la nouvelle loi [105], dans la mesure où l'Assurance Maladie prévoyait 500 000 téléconsultations remboursées sur l'année 2019 (du 15 septembre 2018 au 15 septembre 2019) dans son Projet de Loi de Financement de la Sécurité Sociale (PLFSS) 2018 [106].

Une simple comparaison avec l'implantation de la télémedecine aux Etats-Unis démontre à quel point nous sommes loin d'une pratique régulière voire institutionnalisée de la téléconsultation (**Tableau 6**).

	France	Etats-Unis
Nombre de téléconsultation par an et par habitant (2019) :	0,0009	0,11
Part des téléconsultations sur l'ensemble des consultations médicales (2019) :	0,015%	17%

Tableau 6 : Tableau comparant le nombre de téléconsultation par an et par habitant entre la France et les Etats-Unis, sur l'année 2019.

1.4.2.8. Une médiatisation en dehors de la réalité ?

La télémedecine est attrayante, elle est également devenue un véritable enjeu politique en France. La médiatisation de la e-santé, avec de nombreux articles à propos de la télémedecine et de chaque projet combinant technologie et santé pourrait faire croire à une croissance importante de ce domaine. En réalité cela reste anecdotique en comparaison à la pratique quotidienne de la médecine qui reste inchangée. Le télésuivi et la télé-expertise se développent à leur rythme au sein des hôpitaux, facilitant les échanges et permettant de réaliser des économies non négligeables dans certains domaines, tel que la télédialyse.

Cependant le développement de ces nouvelles pratiques reste fragmenté. Le nombre de patients bénéficiant réellement de services de télémédecine est négligeable.

Un grand nombre de rapports ont également été produits sur le sujet par les gouvernements successifs [49], [107], [108], [65], [109], mais la majorité sont écrits au conditionnel « si la télémédecine se développe... ».

Quels sont les facteurs ayant empêché l'essor réel de la télémédecine en France ?

1.4.2.9. Un développement de la télémédecine en demi-teinte : facteurs d'opposition et difficultés rencontrées par les acteurs en France

Plusieurs éléments peuvent être présentés comme étant des freins au développement de la télémédecine en France.

1.4.2.9.1. *Une absence de nécessité du passage à la télé médecine ?*

« Vouloir faire de la technologie de la santé pour faire de la technologie de la santé, cela ne fonctionne pas », Dr Pierre Simon, spécialiste des questions de télé médecine et de droit de la santé [110]. Il est probable que les médecins français ne ressentent pas, pour le moment, un réel besoin d'embrasser la télé médecine en tant que nouvelle pratique. Néanmoins, si ce constat pouvait s'appliquer il y a vingtaine d'année lors de l'échec du plan e-santé 2000, il existe aujourd'hui beaucoup plus de raisons valables de développer la télé médecine en France.

1.4.2.9.2. *Une modernisation du système de santé encore récente*

L'informatisation du système de santé français est très récente, et les systèmes informatiques hospitaliers (SIH) sont encore aujourd'hui en plein développement au sein des hôpitaux français [111], [112]. En 2016, la Cour des Comptes dressait un bilan mitigé des politiques de santé et des investissements réalisés dans le domaine de l'informatisation des processus hospitaliers [113]. Elle pointait notamment une problématique récurrente : **l'absence d'interopérabilité entre les logiciels et l'absence d'harmonisation des ressources entre établissements**. Il existe plusieurs centaines de logiciels et autant d'éditeurs se partageant le marché des SIH français, ce qui représente en termes de dépenses le premier marché européen, et par conséquent le 3^e ou 4^e mondial, après les États-Unis, la Chine et le Canada. Il ressortait également du rapport un manque de moyens techniques des hôpitaux pour pallier aux adaptations dont ils ont besoin.

De même, en médecine de ville, les conventions de médecins généralistes comprennent de nombreuses aides à l'informatisation des cabinets médicaux, à la mise en place de la télétransmission, du DMP... Prouvant qu'une bonne partie des professionnels n'ont peu ou pas adhérer à l'informatisation de leur profession.

Enfin, les logiciels d'aide à la prescription actuellement utilisés, notamment dans les hôpitaux, sont régulièrement montré du doigt comme étant responsable d'un certain nombre d'erreurs [114], [115], [116].

Il est donc complexe d'imaginer l'implantation de la télé médecine et de la e-santé dans un environnement médical encore nouvellement informatisé, où les logiciels sont insuffisamment ergonomiques, entraînant la réticence des médecins à les utiliser.

1.4.2.9.3. *Un contexte sociale et économique difficile*

L'hôpital traverse une crise profonde comme le souligne le rapport de l'Académie de Médecine [117]. L'objectif aujourd'hui est d'améliorer la qualité d'accueil et des soins des patients et les conditions de travail des soignants, et de consolider la modernisation enclenchée ces dernières décennies.

Cette nécessaire hiérarchisation des objectifs est présente les propositions de l'Assurance Maladie pour le PLFSS 2019 [118] : « *Il apparaît désormais nécessaire d'aller au bout du déploiement des services socles, disponibles en France depuis un certain nombre d'années mais dont l'usage tarde à se développer largement.* ». Il s'agit de la messagerie sécurisée, du DMP, de la dématérialisation de la carte vitale... La télémédecine est aussi mentionnée, mais ne fait pas partie d'une nouvelle proposition, démontrant que son développement par l'Assurance Maladie attendra.

1.4.2.9.4. *Transcrire le modèle « payer – provider » dans un système de sécurité sociale universelle*

Il n'est pas possible de transposer le modèle *payer – provider* américain dans le système de santé français sans annuler toute notion de parcours de soin. Le modèle américain oriente le choix du soignant en fonction de l'assurance souscrite, là où en France nous possédons le choix de notre médecin traitant et c'est à lui de proposer des spécialistes, à son patient, dans le cadre du parcours de soin.

Pour le moment la grande majorité des téléconsultations restent donc « sauvages », se déroulant avec un médecin inconnu. Cela ne concourt à une prise en charge adéquate que pour des pathologies aiguës bénignes (rhume, cystites...). Si des pathologies plus lourdes et chroniques devaient bénéficier de téléconsultations il faudra que cela s'ancre dans le parcours de soin, au risque de détériorer grandement la qualité de la prise en charge si cela n'est pas le cas...

1.4.2.9.5. *L'ordonnance sécurisée dématérialisée : passage obligé ?*

La norme en France veut qu'une consultation médicale débouche sur une prescription du médecin. Lors de téléconsultations, conventionnées ou non, des prescriptions sont émises. Ces prescriptions sont donc systématiquement informatiquées, et disposent de systèmes de sécurité variables d'un fournisseur à l'autre. Parfois il s'agit d'un PDF téléchargeable une seule fois par le patient, parfois le lien est directement envoyé à la pharmacie de ce dernier... **et très souvent il s'agit d'un document PDF envoyé directement au patient.**

Pourtant des travaux sur la e-prescription ont lieu en France depuis quelques années.

Développée en collaboration avec Pharmagest, la solution PEM2D [119] est un système de prescription sécurisée dématérialisée. Dans une première phase test il s'appuyait sur un QR code faisant office de prescription et contenant toutes les informations nécessaires.

La deuxième étape fut le passage par un système de base de données sécurisée : le prescripteur dépose son ordonnance informatique sur la base de données, puis le pharmacien à l'aide simplement de la carte vitale du patient et de sa carte CPS peut ensuite retirer l'ordonnance sur cette même base de données. Toutes les étapes sont enregistrées et on a donc un suivi de la prescription jusqu'à la délivrance. Ce système est en cours d'expérimentation [120]. La base de données en question est le DMP du patient, sous-entendant la généralisation du DMP à tous les assurés.

Dans les propositions de l'Assurance Maladie pour le PLFSS 2019 [118], on retrouve un calendrier précis (Figure 9) :

Encadré 36 : Calendrier de déploiement de la e-prescription	
En 2019	<ul style="list-style-type: none">- Lancement sur le terrain, avec les médecins et les pharmaciens, de la solution cible « e-prescription de médicaments », débutant par une expérimentation suivie d'un bilan avant généralisation dès la fin de l'année- Lancement des travaux visant à élargir la e-prescription à l'ensemble des produits de santé, en s'appuyant sur les travaux de codification des dispositifs médicaux avec les éditeurs de bases de médicaments et d'une expérimentation, sur les médicaments, dans les établissements de santé
En 2020	<ul style="list-style-type: none">- Démarrage de la généralisation de l'e-prescription de produits de santé en ville et en établissement de santé- Démarrage des expérimentations e-prescription de biologie et actes infirmiers
En 2021	<ul style="list-style-type: none">- Lancement de l'expérimentation pour les actes de kinésithérapie- Démarrage de la généralisation de l'e-prescription pour la biologie et les actes infirmiers
En 2022	<ul style="list-style-type: none">- Généralisation de la e-prescription des actes réalisés par l'ensemble des auxiliaires médicaux

Figure 9 : Calendrier de déploiement de la e-prescription présenté dans le PLFSS 2019

Plusieurs difficultés à la mise en place généralisée de la e-prescription rendent ce calendrier fortement improbable :

- La prescription informatisée n'est pas encore généralisée. Sans pression des instances sur les médecins, la transition généralisée du stylo à l'informatique prendra encore quelques années, voire décennies.
- Pour l'instant il semblerait que ce soit un stockage au sein du DMP qui soit privilégié [121], mais les syndicats de médecins sont fermement opposés à cette mesure. En effet, si les ordonnances sont à disposition de l'Assurance Maladie, cela signifierait pour eux une surveillance accrue, et possiblement un formatage des prescriptions [122].
- La mise en place généralisée signifie une intégration dans les centaines de logiciels métiers existants, aussi bien dans les cabinets médicaux, les hôpitaux et les pharmacies, cela prendra plusieurs années.

La e-prescription reste cependant une étape obligatoire dans la sécurisation de la téléprescription suivant une téléconsultation.

1.4.2.9.6. *Interopérabilité : un manque d'entente sur la standardisation des données de santé*

L'interopérabilité des systèmes informatiques, des logiciels, qu'ils concernent la télémédecine ou globalement l'informatisation de la santé en France, est insuffisante bien qu'indispensable [123].

Il n'y a pas de standardisation des données de santé imposée aux éditeurs de logiciels actuellement en France, c'est un problème car cela complexifie la transmission de données de santé entre les différents logiciels et bases de données. Au niveau européen, le standard essayant de s'imposer est le FHIR7 [124].

1.4.2.9.7. *Les risques associés à des données de santé toujours plus nombreuses*

La sécurisation des données de santé issue de la télémédecine doit respecter, pour simplifier, le RGPD [73]. De plus, les hébergeurs de données de santé doivent être certifiés par le ministère de la Santé [125]–[127]. Malgré cela, il est souvent démontré que les données de santé sont exposées et non sécurisées en Europe [128]. Avec la croissance exponentielle des données, la cybersécurité devient une préoccupation majeure [129].

Des expériences ont montré que la technologie *blockchain* pourrait être une solution fournissant un niveau de sécurisation suffisant [130], [131]. L'Estonie par exemple, lors d'un partenariat avec une start-up, a sécurisé plus d'un million de dossiers médicaux à l'aide de la *blockchain* [132].

La sécurisation des informations médicales et des flux de données touche également les dispositifs médicaux connectés [129], [133], [134]. L'encadrement des standards de sécurité de ces dispositifs sera essentiel, dans les années à venir.

1.5. Assurance qualité de la télémédecine

La télémédecine, comme toute pratique professionnelle, peut bénéficier d'un contrôle qualité et d'un système d'assurance qualité. Le contrôle qualité en télémédecine se concentre pour le moment sur des paramètres économiques et médicaux : *Est-ce que cela a permis de soigner le patient ? Est-ce que cela a coûté moins cher que l'équivalent en présence physique ?* C'est l'objet de la grille MAST [135], [136], l'outil d'assurance qualité le plus connu concernant la télémédecine. Il n'existe pour le moment pas de norme ISO ou de référentiels internationaux concernant la télémédecine.

1.6.Des télémedecines innovantes : la réalité augmentée

1.6.1. De la télémedecine classique à la réalité augmentée

Nous avons discuté de la télémedecine et de la téléconsultation dans son ensemble, énumérant de nombreux obstacles à son essor. Nous allons à présent discuter plus en détail de ce que le futur, espérons, nous prépare de mieux.

Aujourd'hui, les téléconsultations sont ainsi :

- ✓ Deux écrans, deux webcams retransmettant en direct l'image du professionnel de santé et du patient. Munies de microphones, les paroles de l'un et l'autre sont également retransmises en direct.
- ✓ Des outils de diagnostic peuvent s'ajouter :
 - Stéthoscope connecté : il transmettra un son similaire à celui qu'entendrait le médecin en utilisant un stéthoscope classique.
 - Otoscope connecté : munie d'une caméra, il transmet l'image au médecin
 - Oxymètre : appareil très simple et peu coûteux, il fournit la saturation en oxygène du sang et la fréquence cardiaque. Il peut être connecté, ou alors le patient renseigne la valeur au médecin par voie orale.
 - Tensiomètre : au poignet ou brassard, il donne la pression artérielle. Il peut être connecté, ou alors le patient renseigne la valeur au médecin par voie orale.

La téléconsultation, actuellement, est presque toujours réalisée en intégrant uniquement le médecin et le patient. La législation ouvre la possibilité à ce qu'un second médecin soit présent pour aider le patient à réaliser la téléconsultation, rémunéré de la même manière, mais il est parfaitement concevable que cet « assistant » soit un infirmier, un pharmacien.

Ce que le futur nous réserve, dans le domaine de la téléconsultation, et également de la télé-assistance, c'est l'utilisation de plus en plus fréquente de la **réalité augmentée**.

1.6.2. Définitions de réalité augmentée et virtuelle

La **réalité augmentée** (*augmented reality* ou *mixed reality*) est la superposition de la réalité et d'éléments (*sons, images 2D, 3D, vidéos, etc.*) calculés par un système informatique en temps réel. Elle désigne souvent les différentes méthodes qui permettent d'incruster de façon réaliste des objets virtuels dans une séquence d'images [137].

L'expression « **réalité virtuelle** » (*virtual reality en anglais*) renvoie typiquement à une technologie informatique qui simule la présence physique d'un utilisateur dans un environnement artificiellement généré par des logiciels.

La réalité augmentée ajoute des éléments virtuels dans un environnement réel alors que la réalité virtuelle crée virtuellement un environnement réel ou imaginaire. [138]

Pokémon GO est un jeu-vidéo employant de la **réalité augmentée** : au travers de son smartphone on peut voir les petites créatures arpenter le monde réel. La **réalité virtuelle** nécessite elle obligatoirement un casque qui va, à l'aide de deux écrans et de lentilles, projeter une image et nous donner l'impression d'être dans un environnement réel alors que ce dernier a été calculé par un ordinateur. L'œuvre de fiction « *Ready Player One* » est une illustration de la réalité virtuelle [139], [140].

1.6.3. La réalité augmentée en médecine

La réalité augmentée peut être exploitée de deux manières :

- ✓ Au travers d'un écran numérique : on a alors une image reprenant ce qu'une caméra à l'arrière de l'appareil filme, à laquelle est ensuite ajouté des éléments produits par l'ordinateur. Ce type de réalité augmentée trouve des usages ludiques mais **n'est pas utilisé en médecine**.
- ✓ Au travers d'un casque muni de verres où est superposée l'image construite par ordinateur, au monde réel, à l'aide d'un prisme et d'un projecteur (cela projette l'image sur la rétine dans le cas des Google Glass). **C'est ce type d'appareil qui est aujourd'hui utilisé pour « augmenter » la réalité du médecin et lui fournir des informations et des outils numériques lors de sa pratique.**

La réalité augmentée se révèle utile et pertinente dans de nombreux domaines médicaux. Tout d'abord utilisé dans la **chirurgie**, elle est employée dans beaucoup de secteurs : enseignements, diagnostic... etc.[141]

De plus en plus la réalité augmentée est appréciée pour sa fluidité et son ergonomie : le transfert de nombreuses informations (*son, image, mouvement dans l'espace*) peut s'effectuer naturellement d'un interlocuteur à l'autre, permettant une collaboration et un dialogue similaire à un contact physique, car il n'est plus nécessaire de regarder un écran pour communiquer ; l'expérimentation de la réalité augmentée dans des soins d'urgence est donc en plein développement [142].

Elle peut être également utilisée dans une médecine généraliste, par exemple avec Augmedix [143]–[145], une société proposant d'utiliser les Google Glass comme un « scribe virtuel », qui, lorsque le médecin réalise sa consultation avec son patient, va récolter des données et proposer un compte-rendu de la consultation à la fin de cette dernière.

1.6.4. Les solutions proposées en médecine

Google et ses Google Glass

Google est incontestablement le pionnier de la réalité augmentée. Dévoilées en avril 2012, les Google Glass (**Figures 10 et 11**) sont le casque de réalité augmentée le plus utilisé dans le monde, et ce encore aujourd'hui. Développées initialement pour une utilisation grand public, en remplacement des smartphones, leurs coûts (*comptez 1500 dollars en moyenne*) et le manque d'applications ont entraîné un arrêt de leur commercialisation courant 2015. Cela ne signifie néanmoins pas la fin des Google Glass, qui ont trouvées dans l'industrie et la santé des applications, elles ont reçu des mises à jour et sont commercialisées aux professionnels aujourd'hui pour ces utilisations.

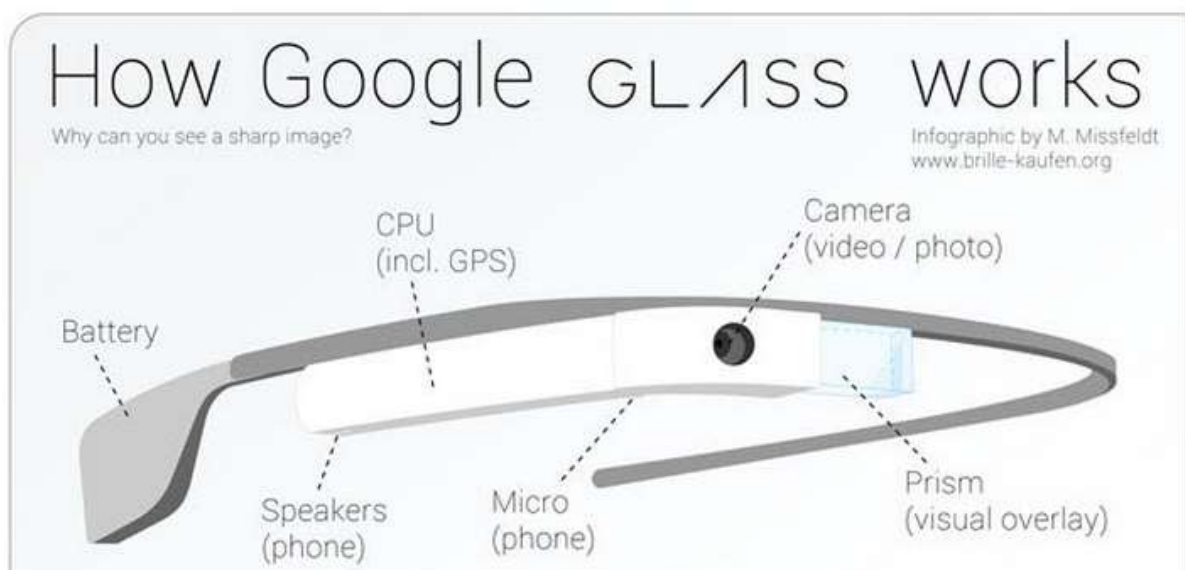


Figure 10 : Les Google Glass sont un véritable ordinateur miniature associé à une caméra, un microphone, et un écran constitué d'un prisme et d'un projecteur. [146]

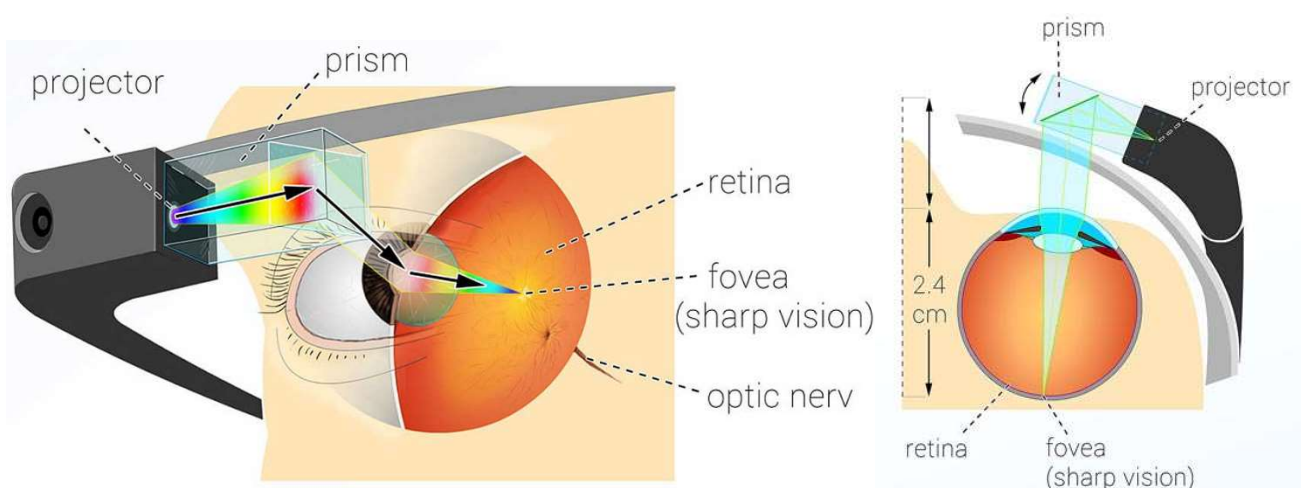


Figure 11 : Le fonctionnement des Google Glass est finalement très simple, c'est dans la miniaturisation et l'optimisation logiciel-matériel qu'elles se démarquent. [146]

Les Google Glass sont le fer de lance de la réalité augmentée de terrain en médecine, présentées dans beaucoup d'études au sein de pays en voie de développement Asiatiques et d'Afrique sub-saharienne [147], [148] (Figures 12 et 13). En 2014, alors que les Google Glass étaient encore grand public (*consumer product*), une preuve de concept très intéressante [149] avait été proposé et utilisait les Google Glass comme assistant nutritionnel du patient diabétique, lui offrant des conseils et calculant, par analyse informatique des repas consommés pris en photo par les Google Glass, les glucides ingérés par le patient. Comme nous le verrons dans la partie diabétologie, une telle technologie pourrait rendre totalement autonome les algorithmes d'un pancréas artificiel, dispensant le patient de toute action sur son diabète.



Figure 12 : A : Un médecin généraliste dans un hôpital local ausculte le patient.
B : Le cardiologue observe l'auscultation et émet son opinion depuis chez lui. [147]



Figure 13 : Les Google Glass peuvent s'adapter au-dessus de loupes chirurgicales par exemple.[148]

Finalement peu coûteuses (pour un usage professionnel), les Google Glass avaient comme principal défaut d'être complexes à porter avec des lunettes de vue. La dernière itération « Entreprise Edition 2.0 » résout ce problème et peut être intégrée directement à des lunettes de sécurité ou de vue [150]. Si aujourd'hui plusieurs concurrents sont apparus sur le marché, les Google Glass sont ce qui est le plus performant en application professionnelle de la réalité augmentée.

Microsoft et Hololens 2

Le deuxième acteur à avoir développé un casque de réalité augmentée est également un GAFAM. Il s'agit de Microsoft, qui propose le casque et la technologie Hololens 2 [151] (**Figure 14**). Utilisé dans l'industrie et dans la santé, notamment pour de la formation [152], c'est le casque de réalité augmentée le plus complexe technologiquement. Il est très coûteux (3500 à 10 000 dollars selon les sources).



Figure 14: L'Hololens 2 est clairement plus avancé que les Google Glass, mais il est également beaucoup plus coûteux. [151]

Le fonctionnement de l'Hololens est breveté et n'est pas disponible, mais il semblerait que ce soit l'utilisation concomitante de prismes, de projecteurs et de capteurs de mouvements des yeux (*eye-tracking*), et du mouvement du casque dans l'espace à l'aide de gyroscope et de caméras filmant l'environnement, qui permette une utilisation extrêmement fluide. La visualisation de la réalité augmentée dans l'environnement est projetée sur l'ensemble des verres et va bien plus loin que les Google Glass. Là où les Google Glass permettent un affichage d'éléments 2D simplement superposés à la vision (leur orientation dans l'espace dépendant uniquement du GPS et du gyroscope), l'Hololens permet de visualiser des éléments en trois dimensions ancrés à l'environnement de manière très précise.

Au sein du CHRU de Tours, et c'est une première en Europe, un casque Hololens 2 a été employé lors d'une chirurgie orthopédique [153].

Apple et Vuzix

Apple, qui possède un fort pôle de développement de la réalité augmentée (Apple ARKit) devrait dévoiler prochainement un casque de réalité virtuelle [154]. Vuzix [155] est actuellement le troisième fabricant de casques de réalité augmentée à destination de l'industrie et de la santé.

1.6.5. Hodei Technology ou la téléconsultation de demain

Hodei Technology [156], [157], une petite société américaine qui s'est spécialisée dans l'offre de solutions de réalité augmentée, propose notamment des solutions de téléconsultations (*et de tele-mentoring*⁷) basées sur les Google Glass. Leur solution « Gemini » [158] (Figures 15 et 16) propose tout le nécessaire pour réaliser la consultation à distance par un médecin spécialiste d'un patient avec l'aide d'un médecin généraliste sur place.

Déjà mis en place dans de petits hôpitaux ruraux, la solution est saluée par les médecins qui la trouvent très facile à utiliser [159], [160], [161].



Figure 15 : Une médecin ausculte un patient et est en communication, par l'image et la voix, avec un médecin spécialiste.

⁷ Le télé-mentoring est similaire à la téléassistance : c'est le recours à un « mentor » à distance.



Figure 16 : Gemini est un produit tout-en-un, il n'y a pas besoin de configuration ou autre. Les deux médecins ont juste à enfiler les Google Glass et commencer l'auscultation.

La réalité augmentée est un vecteur d'innovation important en médecine. Pour l'instant cantonnée essentiellement à des utilisations lors d'actes chirurgicaux, où un médecin expert assiste un médecin pratiquant l'acte chirurgical, Gemini de *Hodei Technology* semble ouvrir la voie à une pratique plus répandue et diversifiée. La transmission naturelle et ergonomique des informations fournie par la réalité augmentée permet à deux professionnels de santé de coopérer, à distance, sans avoir de notions en informatique préalable. De plus, pour le patient, il n'est pas face à un écran mais face à un professionnel et donc ses réactions, son comportement, seront similaires à celui d'un patient en consultation régulière.

Si une diffusion large de la réalité augmentée s'opérait au sein des cabinets médicaux en France, on pourrait imaginer de la prise de rendez-vous avec son médecin généraliste et un spécialiste, par exemple un cardiologue. En premier lieu, une consultation classique avec son médecin, puis le rendez-vous s'enchaîne avec une téléconsultation avec le cardiologue, en coopération. Intéressant en terme économique, écologique, de sécurité pharmaceutique (prescription consensuelle entre le généraliste et le spécialiste), c'est également un moyen de valoriser la médecine générale.

1.7. La télémédecine peut compléter la médecine classique et remplacer une consultation physique : études cliniques et résultats

1.7.1. Hétérogénéité des études scientifiques sur le sujet de la télémédecine

Les études portant sur la télémédecine sont de plus en plus nombreuses. Néanmoins, il apparaît dans les quelques méta-analyses disponibles une grande hétérogénéité des méthodes d'analyse de la télémédecine et de son efficacité, avec des modes opératoires presque toujours différents, des critères ne pouvant pas être comparés d'une étude à l'autre et l'absence fréquente de détail sur les technologies utilisées [162].

La construction de modèles d'études sur la télémédecine est un impératif si l'on souhaite pouvoir quantifier, qualifier, et comparer, les projets qui émergent à travers le monde [49], [163], [164].

1.7.2. La téléconsultation à longue distance

Historiquement, la télémédecine trouve racine dans le besoin de communiquer des informations médicales à très grande distance, avec des populations peu nombreuses, que ce soit le bush australien ou un navire en Atlantique. Ce besoin, même s'il a eu tendance à s'amenuiser (*transports plus rapides, populations de moins en moins isolées*), reste d'actualité.

Au Groenland par exemple, la télémédecine est en cours de développement et les populations isolées y sont très favorables [165].

La télémédecine et en particulier la téléconsultation à longue distance reste une utilisation très utile et pertinente de cette technologie. Entre cela ou rien, le constat est forcément c'est positif.

1.7.3. La téléconsultation de premier recours

La téléconsultation de premier recours est la téléconsultation telle qu'on l'a vu précédemment : avec un médecin généraliste, pour pallier à une problématique aigüe (premier recours). Aujourd'hui il s'agit de la quasi-totalité des téléconsultations en France.

1.7.3.1. Le ressenti du patient

La satisfaction du patient est essentielle dans le système de santé américain, plusieurs études ont donc récolté le ressenti du patient vis-à-vis de la téléconsultation [166]–[170].

En général les patients sont satisfaits, parfois enthousiastes, et parfois totalement réfractaires à l'utilisation d'un écran pour consulter son médecin. Cela va de pair avec l'acceptation, ou non, des nouvelles technologies. Selon les études, ces « réfractaires » représentent 15 à 30 pourcents des répondants. Ces résultats sont bien entendus très dépendant de la population concernée.

Globalement le patient est généralement satisfait de sa téléconsultation, tant au niveau du mode opératoire que du diagnostic médical.

Il apparaît que la satisfaction du patient est proportionnelle à son besoin : si la téléconsultation évite un trajet conséquent, qu'elle procure un gain de temps. Mesurer la satisfaction d'une population reste complexe et prompt à de nombreux biais [171].

1.7.3.2. Visioconférence ou messagerie ?

La messagerie comme outil de téléconsultation, ce qui n'est pas possible légalement en France (*et ce même hors convention, certaines sociétés internet semblant braver cette interdiction*). Aux États-Unis l'utilisation d'une messagerie sécurisée instantanée (ou non) est possible en lieu et place d'une rencontre audio-visuelle par écrans interposés [172]. Une étude démontre qu'une prise en charge uniquement textuelle n'est pas souhaitable, et a tendance à augmenter les coûts [173].

1.7.3.3. Une solution orientée pour le monde rural ?

La télémédecine semble s'adresser en premier lieu à une utilisation rurale, d'où l'attitudes des médecins ruraux, beaucoup plus ouvert à la télémédecine que leurs confrères

urbains [174], [175]. Les résultats sont souvent positifs [176], [177], permettant soit un meilleur accès aux soins soit une prise en charge de pathologies complexes par la téléassistance de médecins ruraux par des médecins spécialistes hospitaliers.

On observe néanmoins des gains essentiellement lorsque l'utilisation est restreinte à des hôpitaux ruraux ou à des populations cibles (exemple : diabétiques), car le déploiement d'offres de téléconsultation généralisées ne permet pas de rétablir un accès aux soins à des populations rurales démunies [178]. Concrètement, sans régulation, l'offre de téléconsultation se voit accaparée par les populations qui n'avaient pas de problématique d'accès aux soins préalablement, et ce au détriment des populations en réelles difficultés.

Enfin, lorsqu'elle est utilisée au sein d'une agglomération urbaine, la télémédecine permet d'équilibrer l'accès aux soins entre les populations de centre-ville et zones péri-urbaines, indépendamment de leur niveau de revenu [179].

1.7.3.4. L'efficacité sanitaire de la téléconsultation de premier recours : le télédiagnostic

La majorité des études sur la capacité de la téléconsultation à produire des télédiagnostics et des soins (*via une prescription*) concluent sur une efficience similaire entre une téléconsultation et une consultation classique [180], [181]. De même, le suivi des recommandations concernant la prescription, par exemple d'antibiotiques, semble être similaire [182].

En l'absence de télé-assistance (synchrone ou asynchrone) entre médecins, il ne semble pas y avoir de gains en terme de qualité des soins procurés. Nous manquons d'études à grande échelle et disposant de paramètres comparables pour conclure sur l'équivalence entre une téléconsultation et une consultation physique ; la qualité de la consultation dépend du médecin qui la pratique, et non pas des modalités de sa réalisation.

1.7.4. La téléconsultation de second recours

Le second recours constitue la prise en charge des pathologies chroniques, et des pathologies aiguës, passé le diagnostic. La dématérialisation des soins, du suivi des patients et des prescriptions est beaucoup plus simple et bénéfique en terme de santé et de coût lorsqu'elle a lieu au sein de populations de patients dits « experts » c'est-à-dire connaissant donc leur(s) pathologie(s).

La télémédecine dans le management des maladies chroniques montre des intérêts multiples : réduction des hospitalisations, confort de vie, durée de vie augmentée... [183], [184]

Enfin, on peut noter certaines conditions particulières qui se prêtent parfaitement à la téléconsultation, comme un avortement médicamenteux, où il ne semble y avoir que des bienfaits à la téléconsultation en lieu et place de la consultation physique car cela est notamment moins traumatisant et anxiogène pour la patiente [185].

1.7.5. La téléprescription et le dossier patient partagé dématérialisé

La téléprescription et la prescription électronique qui en découle sont indispensables à une démocratisation de la télémédecine.

La prescription électronique sécurisée se développe peu à peu dans les pays développés [186]. Intimement liée à la notion de dossier patient partagé (le DMP en France), ce dossier patient est également indispensable notamment pour la collaboration entre professionnels de santé en milieu rural [187].

La qualité des téléprescriptions est souvent analysée en étudiant la prescription d'antibiotiques pour une pathologie donnée en vérifiant si elle est justifiée par les recommandations. Les résultats des études trouvées divergent, avec une d'entre elles démontrant une augmentation de la prescription d'antibiotiques, par rapport à un panel de consultations physiques pour des pathologies similaires [188], et une autre ne montrant pas de différence de prescription entre une téléconsultation et une consultation classique [189]. En l'absence d'études de grande ampleur, il est difficile d'appréhender la qualité de la téléprescription en général.

1.7.6. La télépharmacie

Si la télépharmacie ne concerne pour l'instant que le monde hospitalier (il s'agit de télépharmacie clinique en milieu rural [190], [191]), il est évident que le pharmacien officinal pourra proposer de la télépharmacie à l'avenir. Une étude sur le suivi téléphonique, par des pharmaciens d'officine, de patients asthmatiques et ce en milieu rural, démontre des bénéfices thérapeutiques [192].

1.7.7. La télé-expertise et la télé-assistance

1.7.7.1. La télé-anapathologie

La télé-anapathologie est un domaine particulier de la télémédecine qui est un véritable succès. Les anapathologistes n'étant pas présents dans tous les hôpitaux, l'utilisation d'imagerie des tissus en direct lors d'opération est aujourd'hui courant et les bénéfices se retrouvent à la fois en terme de soin qu'en terme d'économie de coût (*il était nécessaire avant cela d'amener l'anapathologiste à l'hôpital qui en avait besoin*) [193], [194].

1.7.7.2. La e-consultation ou téléassistance asynchrone entre médecins

S'il y a bien un domaine dans lequel la télémédecine excelle dans les études, c'est celui de la téléassistance asynchrone (ou e-consultation) entre médecins. Concrètement cela relève d'une pratique de bon sens qui revient à demander l'assistance d'un confrère sur un cas, via un canal de télécommunication permis par les nouvelles technologies. Que ce soit entre spécialistes, ou d'un médecin généraliste à un spécialiste, la e-consultation présente plusieurs avantages [195]–[198] :

- ✓ Gain de qualité des soins proscrits et/ou véracité du diagnostic émit.
- ✓ Gain de coût : économie d'une consultation chez un spécialiste, d'examen complémentaires dans le cas où le premier diagnostic est réfuté, prise en charge plus rapide...
- ✓ Gain en terme de qualité de la profession : les médecins travaillant ensemble apprennent les uns des autres et leur pratique n'en ait qu'améliorée.

La e-consultation constitue une étape importante dans la réussite de l'implantation de la télémédecine dans la médecine en général.

1.7.8. Le télémonitoring

Le télémonitoring ou télésurveillance est la surveillance de paramètre biologique ou physique à distance. De manière générale, il semble que le télémonitoring de pathologies chroniques (insuffisance rénale et dialyse, diabète... [199]) puisse être bénéfique. Le télémonitoring sans antécédents médicaux (*les mesures sont effectuées par le patient par curiosité par exemple*) ne présente aucun intérêt par contre [200]. Cela soutient que le télémonitoring doit venir en soutien, et non en dans un but même, d'une prise en charge d'abord centrée sur des consultations avec le médecin/professionnel de santé.

1.7.9. La télégériatrie

La télégériatrie est l'application de la télémédecine à tous les aspects de la médecine gériatrique. Elle concerne aussi bien la téléconsultation avec un patient âgé, que la téléassistance d'un aidant (professionnel ou non) ou la télé-expertise d'une situation relevant des troubles du sujet âgé (sénilité, démence, iatrogénie médicamenteuse...). Le télémonitoring est ici essentiel afin de détecter les signes avant-coureurs de démence par exemple, ou encore une télésurveillance des chutes (*présence verte*).

C'est un domaine incontournable de la télémédecine qui est un moyen d'amélioration de la santé et d'économie de coût avec le recul voire la non institutionnalisation de la personne âgée [201].

1.8. Télémédecine synchrone et asynchrone

Il existe deux manières d'aborder les domaines de la télémédecine clinique [202]. La première est la télémédecine synchrone, *la télémédecine en temps réel*, consiste en une téléconsultation en direct, un télémonitoring surveillé en continue, de la télé-expertise par visioconférence entre spécialistes sur un cas patient (réunion de concertation pluridisciplinaire ou RCP), ou encore une téléassistance planifiée pour un acte chirurgical par exemple. La télémédecine synchrone est finalement la télémédecine telle qu'elle s'entend naturellement, réduisant les distances mais n'entraînant pas d'allongement du temps de réponse du soignant. Cette télémédecine est essentielle dans les cas d'urgence, pour le premier recours et le rapport humain avec le patient.

Toutefois la télémédecine peut être asynchrone et est même plus pertinente ainsi dans deux cas : la télé-expertise et la téléconsultation du patient expert.

La télé-expertise, notamment par des médecins généralistes auprès de médecins spécialistes, se révèle intéressante par le biais de *e-consultation*, c'est-à-dire de messages transmis entre médecins sur des cas de patient [196]. En plus d'être plus flexible sur le temps alloué au cas : il ne s'agit pas d'une réunion en visioconférence qui monopolisera un créneau d'agenda, cette modalité de communication permet au télé-expert de prendre plus de temps pour réfléchir sa réponse. Enfin, si bien encadré par une infrastructure logicielle, cette solution permet une trace écrite et permet d'intégrer d'autant plus d'acteurs (*médecin généraliste, pharmacien, infirmière...*) à la RCP d'un patient.

La téléconsultation asynchrone de patients experts, souffrant de pathologies chroniques, se révèle également pertinente et appréciée à la fois par le patient et par son médecin [203]. D'une part, le patient économise du temps et de l'énergie en n'effectuant pas le trajet pour sa visite de routine, il est autonome et répond à un questionnaire en ligne. D'autre part, le médecin économise du temps et peut se concentrer sur des cas plus urgents, il lui suffit de réaliser une analyse des réponses fournies par son patient pour vérifier que « tout se passe bien ». Cette solution, qu'il est possible à l'avenir d'enrichir d'éléments de télémontoring (*un ECG, des relevés de glycémie capillaire, une prise de sang communiquée au médecin*) permet une économie de coût, d'énergie et de temps pour le patient comme pour le médecin.

1.9. Enjeux économiques de la télémédecine

La télémédecine, dans presque toutes ses applications, permet de réaliser d'importantes économies de coût : télé-expertise [204], téléconsultation [205], [206], téléassistance [207]... C'est un fait incontesté, bien que relativisé par certaines études [208] qui estiment que la télémédecine entraîne une consommation accrue de soins, là où elle n'était pas forcément utile ou possible auparavant. De plus, si le gain est facilement explicable dans un modèle libéral comme celui des États-Unis, il n'est pas si simple de transposer les économies réalisées sur les comptes de la sécurité sociale. Elle ne constitue pas un objet financier comme peut l'être un assureur privé : elle n'a pas l'objectif de réaliser des bénéfices, de rendre la télémédecine attractive à coup de campagnes marketing, elle n'a pas de compte à rendre à des actionnaires.

La e-santé est un secteur en expansion rapide, financiarisé, où les investissements se comptent en milliards de dollars et enfin dont les intérêts ne rejoignent pas nécessairement que ceux de la santé du patient, mais aussi et surtout les bénéfices qui peuvent être réalisés.

Pour conclure : la télémédecine est potentiellement très bénéfique en terme de coût, pour le système de sécurité sociale français également, mais elle est également actuellement sous forte influence des marchés financiers, des investisseurs et du *marketing*, ce qu'il importe de prendre en compte lors de l'étude de son intérêt pour venir combler les besoins liés aux déserts médicaux français.

1.10. Enjeux écologiques de la télémédecine

La télémédecine permet, à plus ou moins grande échelle, une réduction des transports de patients ou de médecins en remplaçant une présence physique par une présence virtuelle. Les études démontrent donc systématiquement une économie non négligeable en terme d'émission de gaz à effet de serre [209]–[211]. La télémédecine semble donc s'inscrire pleinement dans une démarche écologique.

Néanmoins, toutes les études partagent une limite assez importante : n'est pas analysé le coût énergétique de la fabrication, du transport et de la mise en fonctionnement du matériel nécessaire à la télémédecine, même si un amortissement assez important s'effectue si celui-ci est utilisé souvent. Le coût carbone de l'utilisation d'internet pour ces actes de télémédecine n'est pas non plus calculé.

Pour conclure, il semble évident que la télémédecine peut être un élément d'écologie d'échelle au niveau des systèmes de santé, à la condition que les systèmes informatiques employés soient utilisés sur une certaine durée, maintenu en fonctionnement, interopérables et utilisés eux-mêmes de manière responsable (*exemple : extinction lorsque non utilisé*). Ce constat concerne cependant l'informatisation de l'ensemble de la société moderne, sans utilisation et conservation raisonnée des matériels technologiques, ces derniers ont un coût d'autant plus important.

1.11. Synthèse : diagramme d'un parcours médical où l'on pratique la télémédecine

Il est possible d'élaborer un diagramme des parcours médicaux possibles en remplaçant les consultations classiques par des téléconsultations (**Figure 17**). En nous fondant sur les résultats actuels des études effectuées sur la télémédecine, nous avons précisé les modalités optimales de réalisation des téléconsultations : synchrone (c'est-à-dire en direct) ou asynchrone, la téléconsultation assistée, les outils à utilisés (DMP, e-prescription)... etc.

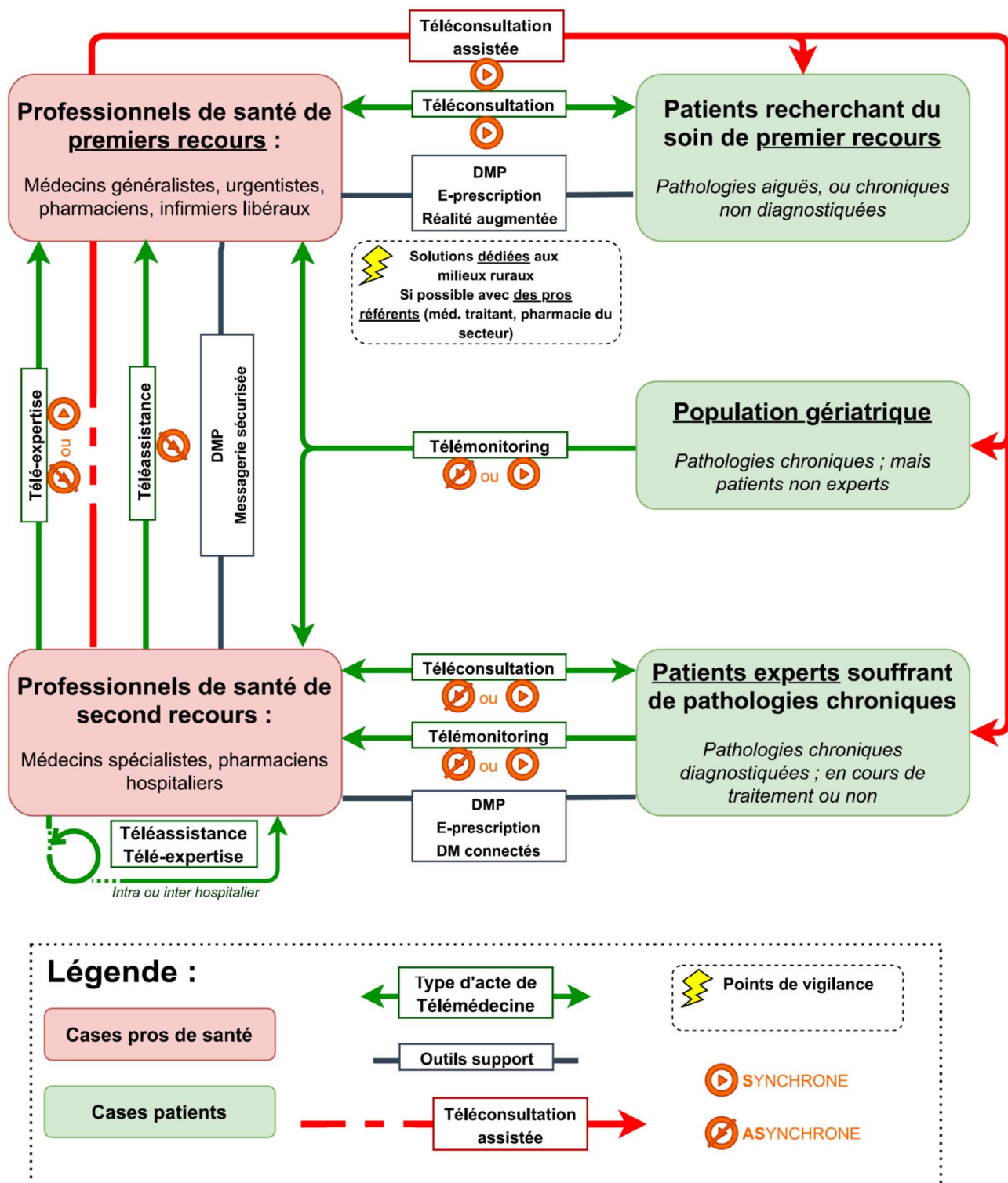


Figure 17 : Schéma structurel des activités de télémédecine entre les professionnels de santé et les patients, ne sont représentés que ce qui est efficace et bénéfique dans les études.

1.12. La télémédecine est-elle la solution aux déserts médicaux ?

Aux problématique liées aux déserts médicaux, nous avons adossés des besoins assez précis. Ces derniers étaient le simple reflet des lacunes de la présence médicale, notamment des médecins, dans certaines zones de France. La télémédecine, et toutes les technologies qui la constitue, répond logiquement à une partie de ces besoins. La téléconsultation permet de mettre en relation le patient et son médecin, avec éventuellement l'aide d'un médecin local, à distance. Le télémonitoring permet quant à lui bien de suivre et de diagnostiquer des pathologies chroniques, de détecter des rechutes... Enfin la télésanté, et plus globalement internet et l'émergence de plus en plus de sites médicaux, a permis une mise à disposition de l'information médicale à tous.

Donc, sur le principe de fonctionnement, la télémédecine est la solution majeure aux problématiques de désertification médicale. Effaçant les distances et mettant virtuellement à disposition des professionnels de santé de partout en France, elle rétablit une égalité d'accès aux soins pour les populations l'ayant perdu.

Néanmoins, on constate que la réalité est bien loin des projets portés par les derniers gouvernements. Par manque d'information, par manque de formation ou par manque d'initiative et d'incitation financière, la télémédecine ne se développe presque pas. Les téléconsultations restent rarissimes, malgré une mise à jour très libérale de la législation. Si du télémonitoring et de la télé-expertise se développe petit à petit dans les grands centres hospitaliers, le constat est moindre dans les plus petites structures qui pourtant en auraient le plus bénéficié. De plus, les projets et innovations sont dispatchés sur le territoire, se voient plus ou moins suivis, sont inopérables entre eux et constitués d'un archipel d'innombrables acteurs privés et publics. Si certains éléments doivent impérativement être utilisés par tous (DMP, messagerie sécurisée, prescription électronique), on observe bien que leur déploiement s'effectue au ralenti et fait face à des résistances, justifiées ou non, notamment par les médecins.

En plus de cette problématique de dichotomie entre le bruit médiatique entourant la télémédecine et sa diffusion concrète dans les structures et les mœurs, s'ajoute un souci de libéralisme médical, propulsé par une législation très souple, dans un système de santé foncièrement public et une couverture maladie universelle. On observe bien que les acteurs privés les plus agressifs (*Qare par exemple*), à la politique et au fonctionnement finalement très américain dans l'approche de la santé, ne parviennent pas à se développer sans encombre en France.

Pour un développement sain et bénéfique, tant en terme d'économie de coût, de qualité des soins et d'écologie, de la télémédecine, plusieurs éléments manquent à la politique économique actuelle de mise en place de la télémédecine.

Une incitation financière, et institutionnelle, notamment auprès des médecins, est impérative.

Le DMP, la prescription électronique ainsi qu'une plateforme de messagerie, de la télé-expertise, de la télépharmacie, sont des infrastructures informatiques indispensables

pour éviter la perte de l'information médicale, et doit également promouvoir un partage du savoir intra et inter-disciplinaire.

Les acteurs proposant des logiciels et du matériel pour réaliser des actes de téléconsultation, de télémonitoring, doivent se voir imposer des standards de qualité, de sécurité et d'interopérabilité, afin que la communication des données soit possible entre tous les systèmes sans risque de piratage.

Enfin, le développement de la télémédecine, au sens large, peut difficilement s'inscrire dans une démarche générale d'économie de coût du système de santé. Bien que résolument un moyen de réduire les dépenses, la télémédecine nécessite un investissement des personnels de santé très important si l'on ne souhaite pas que cela s'accompagne d'une dégradation de la qualité de la prise en charge. Le système de santé français n'impose pas à ses professionnels un raisonnement sur le coût des soins, car leur rémunération est indépendante de celui-ci, et donc l'évolution des pratiques ne peut se faire qu'avec l'aide d'une incitation financière de ces derniers. La rémunération sur objectifs de santé publique (ROSP), utilisée pour rémunérer les pharmaciens sur leur taux de substitution de génériques, ou encore les médecins sur leur pratique de prescription les plus courantes, est vraisemblablement une voie à explorer. Une ROSP télémédecine, engageant les médecins à réaliser au moins un certain nombre de téléconsultation par an, viendrait sans aucun doute stimuler l'usage de ces dernières.

En conclusion, **la télémédecine pourrait être la solution aux déserts médicaux**. Il n'y a plus de verrou technologique à sa mise en place. La télémédecine a de plus démontrée son intérêt thérapeutique, une téléconsultation permet une aussi bonne prise en charge qu'une consultation classique. **A l'heure actuelle, la télémédecine n'est pas la solution aux déserts médicaux, et ne se dessine pas comme telle dans un avenir proche**. Finalement trop médiatisée par rapport à son utilisation concrète, il ne faut pas espérer un emploi de la télémédecine en France à un niveau similaire que l'on peut observer aux Etats-Unis avant un long moment. La libéralisation de la télémédecine par le gouvernement aura finalement eu pour effet de délier ce dernier de tout accompagnement du déploiement de la technologie, laissant cette responsabilité aux acteurs privés.

2. Le suivi du patient diabétique

2.1. Enjeux de santé publique

Le diabète est une maladie qui touche plus de 3,3 millions de Français, soit 5% de la population[212]. Le diabète sucré, avec près de 2 millions de morts par an, est la 7^e cause de décès dans le monde[213]. « *Les inégalités socio-économiques et territoriales restent très marquées que ce soit en termes de fréquence du diabète ou de survenue de complications graves* » [212]. Le diabète est intrinsèquement lié à la prévalence de l'obésité dans la population, et des pays comme le Canada ou les États-Unis possèdent une prévalence plus forte de diabète (types 1 et 2 confondus) [214] (Figure 18 et 19).

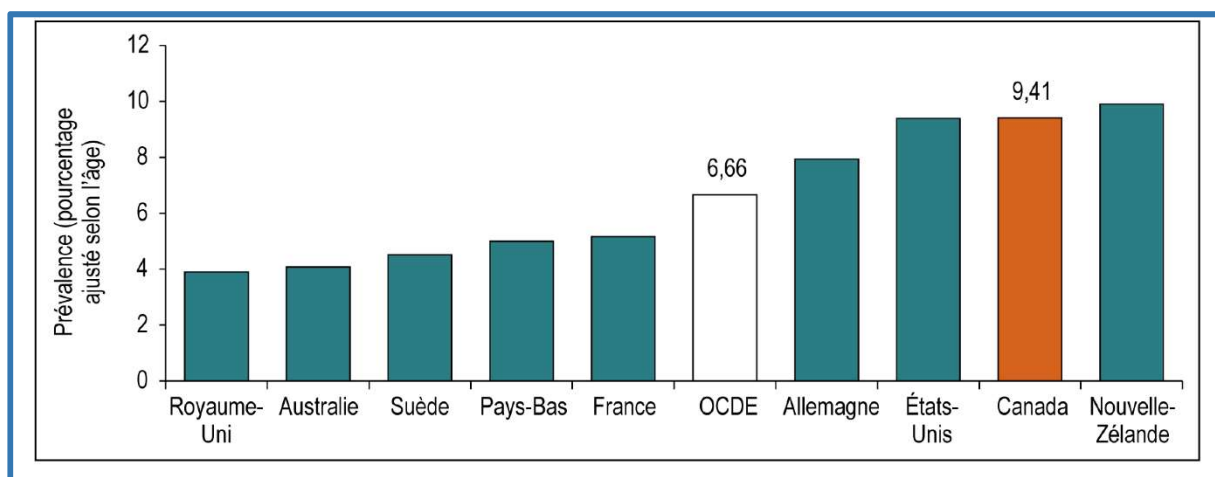


Figure 18 : Pourcentage de la population aux prises avec l'obésité, autodéclarée et mesurée, personnes âgées de 15 ans et plus (2015) [214]

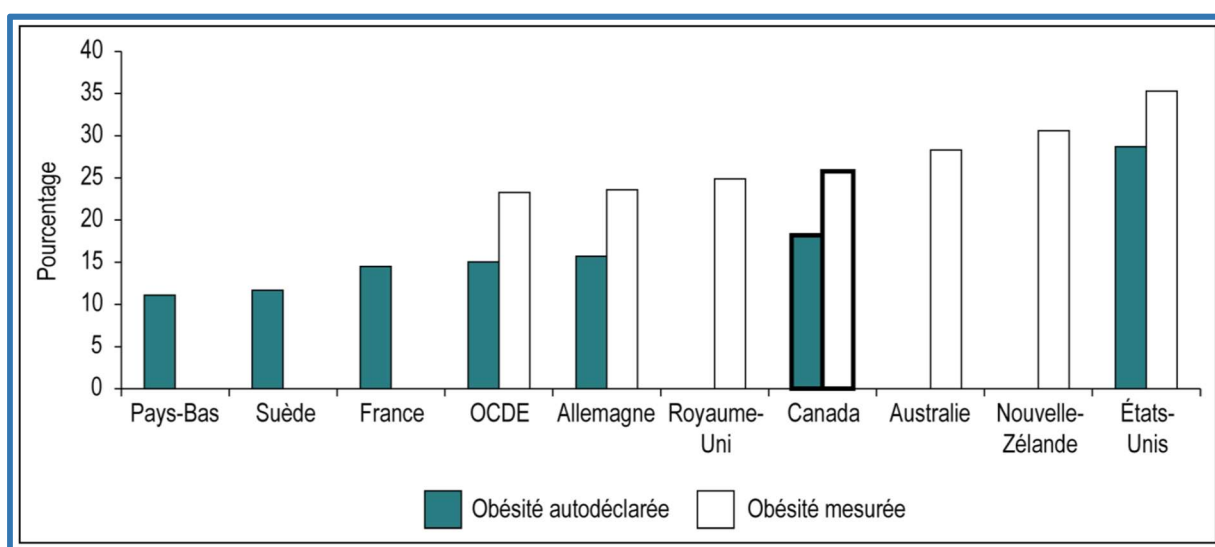


Figure 19 : On voit bien la corrélation entre obésité (déclarée ou mesurée) et diabète. [214]

La prise en charge du diabète est, au niveau international, toujours la même : automesure de la glycémie à l'aide de lecteurs de glycémie et de bandelettes, traitements avec des insulines (rapides, lentes, intermédiaires) et de la metformine (diabète de type 2) essentiellement. L'accès à l'insuline et son coût est inversement proportionnel aux revenus du pays en question : plus un pays est pauvre plus l'insuline y est chère[215].

La prise en charge en France et dans les pays de l'OCDE est très bonne, et l'approvisionnement et le coût des médicaments n'est pas une problématique en soit. Les technologies connectées peuvent donc venir en soutien et promettent une meilleure observance et un confort amélioré pour les patients qui doivent se traiter à vie. C'est également une maladie dont l'impact économique est important : les traitements médicamenteux sont coûteux et il faut ajouter les dispositifs médicaux d'injection et de suivi du diabète. Même si pour l'instant les dispositifs dont nous allons parler dans le chapitre suivant ont pour objectif le confort du patient (et parfois d'amélioration de l'observance), étant donné leur fonctionnement souvent plus autonome et durable on peut aussi y voir, à terme, des économies de coût non négligeables.

2.2. Le diabète connecté

Au début du travail d'écriture et de recueil bibliographique de cette thèse, fin 2017, la diabétologie connectée était essentiellement constituée d'applications connectées et de lecteurs de bandelettes Bluetooth⁸. De nouvelles entreprises et de nouveaux produits émergeaient mais ils étaient peu répandus.

Près de deux ans plus tard, les produits se sont démocratisés et ce même en France, où les trois produits principaux sont représentés et remboursés ; les entreprises pionnières innovent toujours aujourd'hui et sont leaders sur le marché de la diabétologie connectée.

La diabétologie connectée concerne avant tout les patients souffrant de diabète de type 1 insulino-dépendant ou de diabète de type 2 traité par insulinothérapie. Les personnes diabétiques de type 2 possédant un traitement par voie orale mais réalisant des lectures glycémiques quotidiennes peuvent également être concernées.

Les fabricants s'intéressent cependant de plus en plus à la fourniture de dispositifs pour les diabétiques de type 2 non traités par insulinothérapie, car le nombre de patients potentiels est très important et l'enjeu financier et commercial l'est tout autant.

On peut schématiser le quotidien d'un diabétique et y placer les dispositifs connectés et technologies digitales associés (**Figure 20**). Ainsi, on obtient une vision d'ensemble de la diabétologie connectée. Nous allons ensuite reprendre ce schéma partie par partie afin d'y ajouter des détails.

⁸ Bluetooth est une norme de communications permettant l'échange bidirectionnel de données à très courte distance en utilisant des ondes radio UHF sur une bande de fréquence de 2,4 GHz.[407]

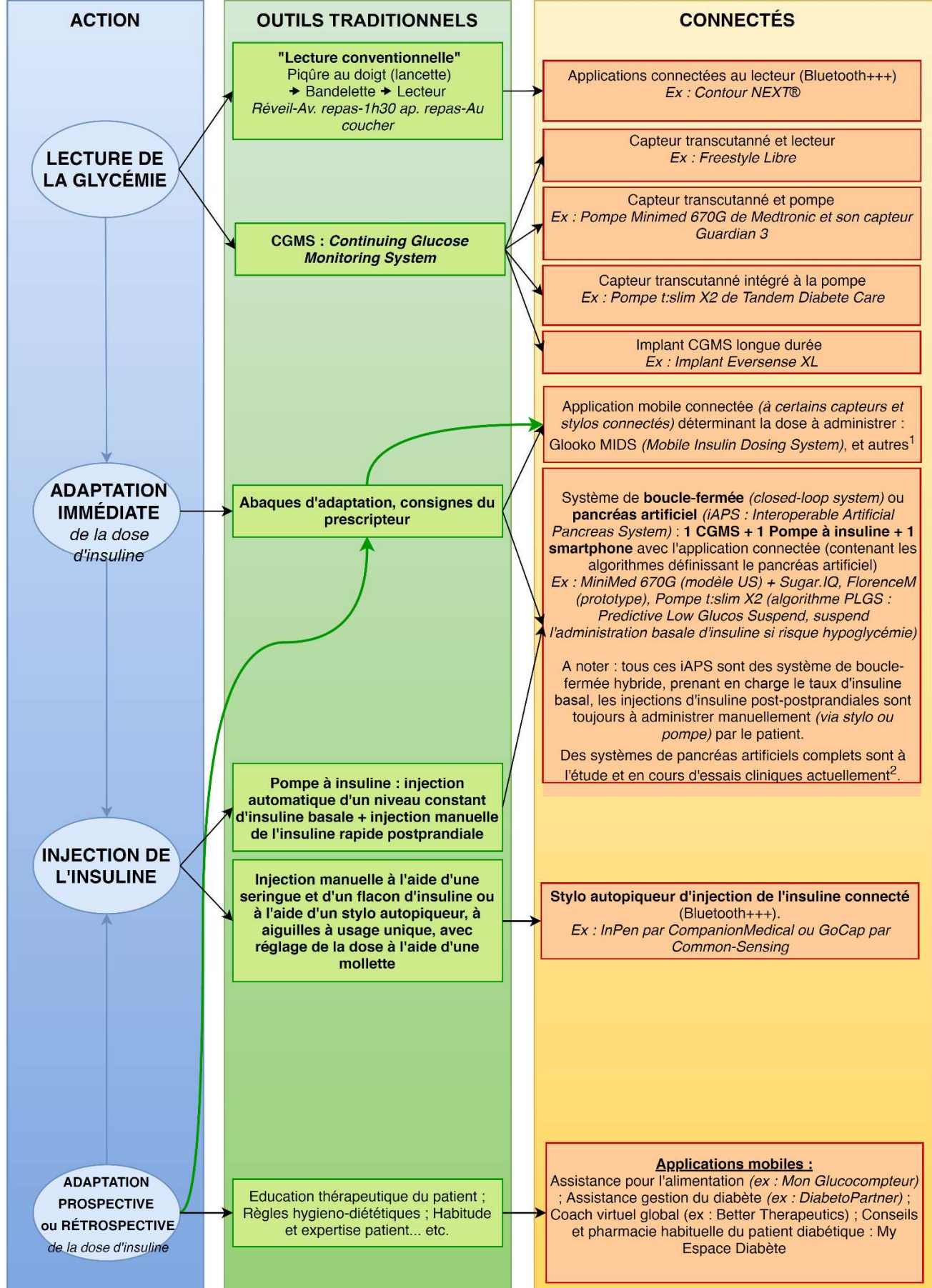


Figure 20 : Le quotidien du diabétique se traitant par insulinothérapie peut se décomposer en 4 actions. Chaque action est aujourd'hui réalisée à l'aide d' « outils traditionnels » de la médecine, et peut ainsi se voir moderniser par des technologies appartenant à la diabétologie connectée.

2.2.1. Explications du schéma

Le schéma se décompose en trois grandes parties, des colonnes intitulées Action, Outils traditionnels et Connectés.

La colonne Action reprend les étapes indispensables d'un diabétique insulino-dépendant : la lecture de sa glycémie, les calculs de doses d'insuline et l'injection de cette insuline.

La colonne Outils traditionnels, quant à elle, lie à ces actions les méthodes traditionnellement utilisées aujourd'hui. Il va s'agir, par exemple, d'une prise de la glycémie par piquûre au bout du doigt, ou encore un ajustement à l'aide d'abaques d'adaptation.

Enfin, la colonne Connectés (pour « outils connectés ») correspond aux technologies connectées développées durant les dernières années pour assister, parfois remplacer, les outils traditionnels du diabétique ou aussi parfois répondre à un besoin de confort, dans une maladie où la prise en charge est lourde pour le patient.

Les pages qui suivent expliquent plus en détail et référencent les technologies mentionnées dans la colonne Outils connectés.

2.2.2. Lecteurs de bandelettes connectés et applications mobiles

Il s'agit des premiers dispositifs médicaux connectés apparus sur le marché, à partir des années 2010. Le principe est très simple, une connexion Bluetooth relie le lecteur de glycémie au smartphone du patient, et via une application dédiée, les précédentes lectures de glycémie enregistrées sur l'appareil sont transmises et enregistrées sur le smartphone du patient. Ainsi, il lui est possible d'envoyer ses relevés de glycémie par email, par exemple, à son médecin. Un exemple de lecteur très bon marché (il coûte une vingtaine d'euros) est le Contour NEXT One[216] (Figure 21).



Figure 21 : Contour Next One [216]

Aujourd'hui une bonne partie des lecteurs de glycémie sur le marché du lecteur remboursé, en France, dispose de cette fonction. Néanmoins son intérêt reste limité : le patient doit lui-même transférer ses résultats, et il doit prendre sa glycémie en piquant le bout de son doigt. De plus, la sécurité des applications connectées et des protocoles de communications utilisés (Bluetooth) reste totalement à démontrer et n'est pour l'instant absolument pas réglementée.

2.2.3. Applications mobiles généralistes

Une application mobile est un programme informatique qui fonctionne sur un système d'exploitation (en l'occurrence, iOS ou Android) adapté à un smartphone tactile. Ce programme est doté d'une interface utilisateur, de protocoles de communication éventuels avec un ou plusieurs autres appareils (*souvent le programme fera appel à des protocoles propres au téléphone sur lequel il est installé, des protocoles génériques, comme le Bluetooth, le Wifi, le NFC...*). Les données de l'utilisateur seront parfois enregistrées sur le smartphone, parfois enregistrées sur un système de Cloud géré par l'entreprise proposant l'application.

Les applications « généralistes » en santé, qui s'adressent aux patients souhaitant un accompagnement dans la gestion de leur maladie, sont très répandues et sont apparues à partir des années 2000. Le taux d'équipement en smartphone de la population a bondi depuis, le taux d'équipement en smartphone atteignant 76% en France en 2018 [217]. Le nombre d'applications « Santé » se dénombre en centaines de milliers.

Les applications et sources d'informations les plus sûres seront avant tout celles émanant d'entités ministérielles (comme la HAS) ou de sociétés savantes/associations nationales de patients (Société Francophone du Diabète, ou la Fédération Française des Diabétiques). En France, néanmoins, aucune de ces instances ne dispose de sa propre application.

La deuxième source principale et –relativement- sûre d'applications de santé sont les industries pharmaceutiques. Sanofi, Bayer, Roche, Merck... etc. Elles proposent toutes des applications santé et pour les diabétiques, plus ou moins pertinentes, parfois réalisées en partenariat avec des CHU. Ces applications sont quasi systématiquement entièrement gratuites. On peut citer *Mon Glucocompteur*, application permettant de se familiariser avec les index glycémiques des aliments et plats. *DiabetoPartner* est une application d'aide à la gestion de son diabète qui donnera des conseils au patient.

Il existe également l'application My Espace Diabète, une application développée spécifiquement pour faire le lien entre le diabétique et sa pharmacie, pharmacie éventuellement équipée des outils de mesures EZ scan et Impeto scan : outils de prévention et de dépistage précoce du diabète, en mesurant l'impédance électrique des mains et des pieds, censée représenter l'atteinte des nerfs périphériques de ces zones. Ce dispositif de dépistage précoce est reconnu par la Société Francophone du Diabète, mais nécessite évidemment des examens complémentaires pour les patients dépistés comme étant à risque.

Enfin, aux États-Unis, on peut citer BetterTherapeutics [218], un coach virtuel accompagnant le diabétique dans l'ensemble de sa prise en charge, médicamenteuse et diététique. Globalement, ce genre d'applications est très développé aux États-Unis et est parfois un service que fournissent les assurances et mutuelles privées à leurs membres. Sugar.IQ, l'application compagnon de Medtronic, en est la plus connue. Tout comme le

choix d'une clinique sera fonction de son assurance santé, on fera le choix de son application de suivi connecté en fonction de son assurance ou du matériel qu'elle nous a fourni.

Afin de s'y retrouver dans la « jungle » des applications disponibles, il existe des articles dédiés [219] et des recommandations effectuées par les associations de patients via des magazines [220]. Une entreprise française, DMD Santé, avait commencé un travail de notation et de classification des applications de santé. Même si leurs analyses ne reposaient pas sur des analyses cliniques, il semblerait qu'ils souhaitent amener des standards élevés au sein des applications de santé, avec notamment un label européen [221]. Néanmoins, depuis mars 2019 l'entreprise est en procédure de liquidation judiciaire [222], et son site internet n'est plus disponible.

2.2.4. Mesurer le taux de glucose interstitiel

2.2.4.1. Glucose du liquide interstitiel

On parlera indistinctement de **capteurs de glucose en continu** ou de ***continuous glucose meter system (CGMS)***. Tous les capteurs de glucose en continu récoltent la même information : le taux de glucose dans le liquide interstitiel ou *interstitium*. Ces capteurs ne mesurent pas directement la glycémie (*glyc-* : *glucose* ; *-émie* : *dans le sang*) mais le taux de glucose présent dans le liquide interstitiel, puis l'extrapolent à l'aide d'algorithmes vers la glycémie.

Le liquide interstitiel, interface entre le plasma et les cellules, représente les trois quarts du liquide extracellulaire, soit plus de dix litres de liquide composé à 90% d'eau[223].

Physiologiquement le glucose plasmatique se diffuse du plasma vers l'*interstitium* sans nécessiter de transporteur (**Figure 22**), et les estimations réalisées par microdialyse ont montré que les valeurs du glucose plasmatique et du glucose interstitiel étaient comparables [224], et ce même pour des zones interstitielles particulières comme le liquide interstitiel dermique.

Le taux de glucose interstitiel et la vitesse du transfert du glucose plasmatique vers l'espace interstitiel peuvent être influencés par plusieurs facteurs [225] : la localisation, l'activité métabolique et/ou musculaire, la présence de certains xénobiotiques... etc. La variabilité interindividuelle semble également jouer un rôle dans l'absence d'aboutissement de technologies non invasives optiques (chromoscopie, spectroscopie...) pour la mesure du taux de glucose du liquide interstitiel dermique [226].

Néanmoins le point clé qui a stoppé pendant de nombreuses années l'émergence des capteurs de glucose interstitiel, est l'existence d'un « retard » entre la variation de glucose plasmatique et la variation de glucose interstitiel⁹ [227]. Il existe une certaine latence physiologique (*physiological lag time*) (**Figure 23**), représentée par un temps inférieur à dix minutes [228], [229] et un gradient de diffusion (compris entre 0,3 et 0,8 selon les études, ce gradient est un élément clé pour les industriels lorsqu'ils développent leur produit et l'algorithme associé).

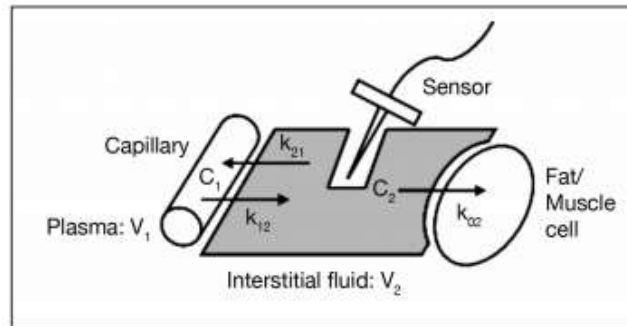


Figure 22 : Schéma communément admis des transferts au sein du liquide interstitiel [229]

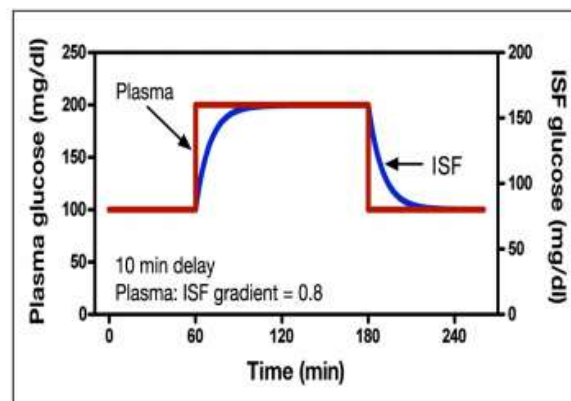


Figure 2. A theoretical ISF glucose response to a plasma glucose step function.

Figure 23 : Représentation schématique du retard d'équilibre entre le glucose interstitiel (ISF glucose) et le glucose plasmatique (Plasma glucose) [229]

⁹ Pour faciliter la lecture, on assimile les « taux de glucose interstitiel/plasmatique » aux termes « glucose interstitiel/plasmatique ».

Le fonctionnement exact et les paramètres influençant le glucose interstitiel reste encore aujourd'hui débattu. Il est par exemple complexe d'appréhender les modifications du glucose interstitiel lors d'un effort physique [230], que ce soit dans une situation d'euglycémie ou d'hypoglycémie. Même chose après les repas. L'étude du glucose interstitiel après l'injection d'insuline ou lors de situation hypoglycémique a également montré des variations différentes de celles observées sur la glycémie plasmatique [231].

Cette variabilité de réponse à des stress glycémiques (activité physique, ingestion de glucides, hypo ou hyperglycémie...) entre le taux de glucose plasmatique et interstitiel, qui n'est finalement pas qu'une simple latence de l'un à l'autre [232], a poussé certains auteurs à remettre en cause la mesure même du glucose plasmatique, historique, par prélèvement au doigt [233]. Cette remise en question a été de courte durée [234], mais il est vraisemblable qu'elle revienne dans les années à venir, car les capteurs de glucose interstitiel sont de plus en plus accessibles et utilisés à travers le monde.

A cette latence/variation physiologique, s'ajoutera deux autres types de latence propres aux capteurs de glucose interstitiel.

La première est celle du fonctionnement et de la captation des données : réactions enzymatiques avec le glucose, enregistrement par des électrodes... Tous ces processus prennent un certain temps (de quelques secondes à plusieurs minutes) [227], [229].

La deuxième latence sera le temps d'application de filtre contre le bruit de fond enregistré par le capteur [235], dont l'origine n'est pas entièrement élucidée et est dépendant de la réaction enzymatique utilisée.

Enfin, la plupart des capteurs nécessitent des étalonnages immédiats ou rétrospectifs avec prise de la glycémie au doigt.

En terme de qualité de vie, ces capteurs nouvelles générations sont un gain considérable pour les patients diabétiques. De plus, s'ils sont entièrement exploités ils permettent de partager les données recueillies avec le médecin spécialiste prenant en charge le patient et ainsi, le patient est plus autonome et l'on peut espacer les consultations.

2.2.4.2. Capteurs de glucose en continu

Un CGMS est un capteur possédant des électrodes en contact avec le liquide interstitiel (**Figure 24**), ce capteur étant parfois associé à un transmetteur séparé interprétant, enregistrant et retransmettant les données à un lecteur connecté ou un smartphone. Ce liquide interstitiel sera en contact directement via des électrodes sur un cathéter (exemple : Freestyle Libre) ou bien en contact directement avec les électrodes disposées sur le corps du capteur (seul exemple : Eversense XL).

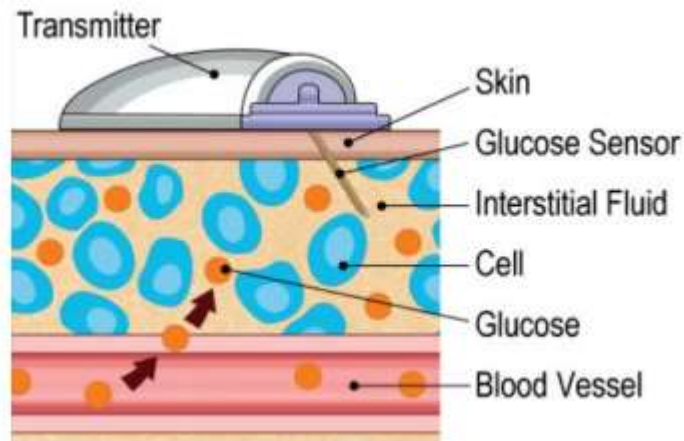


Figure 24 : Tous les CGMS fonctionnent sur ce modèle, hormis Eversense XL qui est implantable [236]

Les électrodes transforment un flux d'électrons créé par une réaction enzymatique le plus souvent, l'enzyme (glucose oxydase Gox, **Figure 25**) étant contenue dans une matrice artificielle.

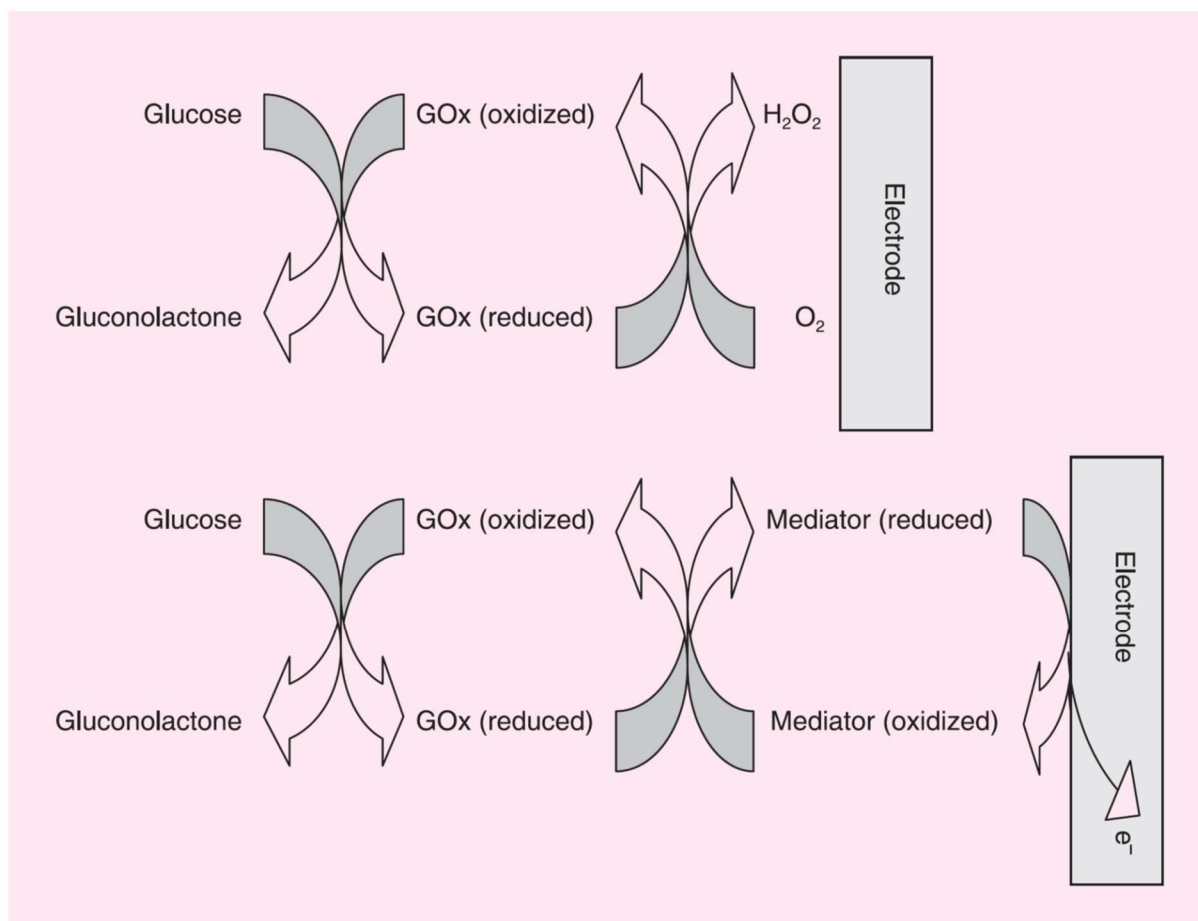


Figure 25 : Schématisation du système enzymatique GOx [226]

Néanmoins ces systèmes classiques à enzyme GOx sont dépassés aujourd'hui. Nous allons voir par la suite le système à « enzymes enchevêtrées (*wired enzyme*) », utilisé par le Freestyle Libre, ou encore le système à fluorescence de l'Eversense XL.

D'autres systèmes, invasifs ou non invasifs (optiques) existent mais ne se sont pas développés pour une utilisation grand public [226].

Nous allons donc nous concentrer sur ces capteurs de glucose, il est possible de les classer en trois catégories selon la Food and Drugs Administration (FDA) américaine [236] :

- **CGMS conventionnels** : capteur transmettant une valeur de glucose toutes les une, cinq ou quinze minutes, disposant de dispositifs d'alerte du patient : fortes augmentations/diminutions ; hypo/hyperglycémie.
- **CGMS professionnels** : capteurs identiques aux CGMS conventionnels mais ne délivrant pas leurs données au patient. Ils enregistrent les résultats du capteur sur une certaines périodes (une à deux semaines), puis ces derniers sont dévoilés en présence du médecin. Ainsi, il peut analyser les tendances glycémiques, apprécier l'observance et l'adhérence du patient à son traitement. On peut citer le Freestyle Libre Pro qui est identique au Freestyle Libre mais configuré pour fonctionner de cette manière.
- **CGMS « flash »** : le capteur est autonome et enregistre les valeurs de taux de glucose interstitiel, pour les transmettre sur demande du patient ensuite. D'après la FDA, seul le capteur Freestyle Libre correspond à cette catégorie. Le capteur Eversense XL pourrait également rentrer dans cette catégorie (*voir même une quatrième catégorie « CGMS flash hybride »*) car son transmetteur enregistre un certain nombre de mesures et même vibrer en cas de forte hausse/baisse, et ce indépendamment d'une connexion à un lecteur/smartphone.

Pour finir, la FDA réalise une distinction intéressante entre les deux utilisations possibles d'un CGMS :

- **Utilisation d'appoint** (*adjunctive use*) : le CGMS n'a pas vocation à fournir des informations entraînant des décisions thérapeutiques. Par exemple, le taux de glucose interstitiel recueilli n'a pas vocation à permettre le calcul d'une dose d'insuline à injecter. Le recueil d'une glycémie capillaire est indispensable à la décision thérapeutique. Le capteur Eversense XL rentre, pour l'instant, dans cette utilisation.
- **Utilisation thérapeutique** (*non-adjunctive use*) : le CGMS peut fournir des informations entraînant une décision thérapeutique sans nécessiter une glycémie capillaire. Les systèmes de pancréas artificiels, que nous développerons ensuite, rentrent dans cette utilisation (*cela va même plus loin car un algorithme informatique calcul la dose d'insuline à administrer*).

2.2.4.3. Quelques substances interagissant avec les CGMS

Cela fait une quinzaine d'années que les CGMS sont apparus sur le marché (le premier capteur validé pour une mise sur le marché par la FDA date de 1999), et assez vite les études menées par les constructeurs ont montré quelques interactions avec des substances plus ou moins communes. Néanmoins, les études sur cet aspect « interactions avec les capteurs » doivent être poursuivies car il est probable qu'elles soient relativement nombreuses, notamment avec des capteurs fonctionnant sur des systèmes enzymatiques.

Parmi les substances interagissant on peut citer [237] :

- Le **paracétamol** : c'est la substance la plus problématique, car les perturbations du capteur surviennent dès 1000 mg *per os* [237]. Des modèles mathématiques sont à l'étude [238] afin de corriger le taux de glucose interstitiel recueilli, dans les minutes/heures suivant une prise de paracétamol, par exemple. Enfin le capteur Freestyle Libre est présenté comme étant insensible à ces variations, d'après une étude *in vitro* [239].
- L'alcool
- Le lisinopril
- L'atenolol
- Le salbutamol (*per os*)
- L'atorvastatine

L'étude précédente ayant été réalisée chez des sujets non diabétiques et n'ayant pas pris les précédentes substances avant, la corrélation possible chez des sujets diabétiques sous traitements chroniques reste incertaine. Il faudra davantage d'études pour mettre à jour les substances perturbant les capteurs actuels. Il faut également poursuivre le développement de capteurs dont les systèmes de mesure du taux de glucose sont de plus en plus spécifiques et indépendants d'autres molécules/ions qui pourraient fluctuer dans l'environnement du capteur.

2.2.4.4. Freestyle Libre d'Abbott

Le capteur Freestyle Libre de Abbott [240], capteur transcutané unique de par ses fonctionnalités, est le plus répandu des capteurs transcutanés de glucose. Il bénéficie d'une prise en charge dans beaucoup de pays d'Europe (France, Grande Bretagne...) et a obtenu son autorisation de mise sur le marché américain par la FDA.

En France, il est vendu dans toutes les pharmacies, même si ses débuts sur le marché furent houleux : Abbott ne vendait le capteur que par internet. Aujourd'hui encore, avec un fonctionnement en « marché » (une pharmacie se voit dotée d'un certain nombre de capteurs par mois) et des ruptures transitoires récurrentes, le laboratoire Abbott souffre d'une mauvaise image auprès des pharmaciens d'officine.



Figure 23 : Le capteur Freestyle Libre de Abbott et le Lecteur Freestyle.

Le capteur (Figure 23) se présente sous forme d'une pièce de seulement 5 mm d'épaisseur et 35 mm de diamètre. Un cathéter, introduit à l'aide de l'applicateur par une aiguille qui se retire après l'application, permet d'être au contact du liquide interstitiel. Le capteur est IP27 et résistera donc à une douche ou à un passage à la piscine tant que ce dernier n'est pas à plus d'un mètre de profondeur et plus de trente minutes. Le capteur peut être gardé en place durant quinze jours, de plus sa mémoire peut conserver 8 heures de relevés glycémiques (une mesure est effectuée toutes les 15 minutes). Il communique avec le lecteur ou un smartphone compatible par NFC.

Enfin, ce capteur se démarque de ses concurrents actuels car il ne nécessite pas une calibration avec une mesure de la glycémie capillaire. Actuellement la supériorité du capteur Freestyle Libre est incontestable et sa simplicité est son principal atout [241]. Prendre les mesures de sa glycémie est très facile et ce même pour les patients n'ayant pas de smartphone car un lecteur « classique » est disponible. Seul bémol : beaucoup ont déjà eu des capteurs défectueux, que ce soit l'applicateur ou le capteur en lui-même.

Le capteur et son lecteur ne disposent pas, par défaut, d'un outil proposant au patient un éventuel ajustement de son dosage en insuline. Néanmoins, le *Calculateur d'insuline* est une option activable et paramétrable dans les options Professionnels de santé du lecteur Freestyle Libre.

A noter qu'une seconde version du capteur Freestyle Libre devrait être sur le marché d'ici 2021 [242]. Ce modèle ne diffère pas beaucoup de la première version en terme de précision, mais il amène une connexion Bluetooth LE (*low energy*, version très économe en énergie du Bluetooth) permettant un transfert ininterrompu de la mesure du glucose interstitiel vers le smartphone du porteur du capteur et ainsi d'avertir immédiatement ce dernier, de manière autonome, si une variation importante de sa glycémie est mesurée.

2.2.4.5. Le fonctionnement du capteur Freestyle Libre de Abbott



Figure 24 : Le capteur Freestyle Libre est très petit : 5 x 35 mm ! [239]

Nous avons déjà décrit, dans les grandes lignes, le capteur Freestyle Libre (**Figure 24**). Très compact, disposant d'un applicateur et pouvant être conservé quatorze jours, c'est le capteur du moment. Maintenant nous allons aller voir dans les entrailles du capteur : comment fonctionne-t-il réellement ? Le capteur dispose de plusieurs composants interne [243] (**Figure 25**).

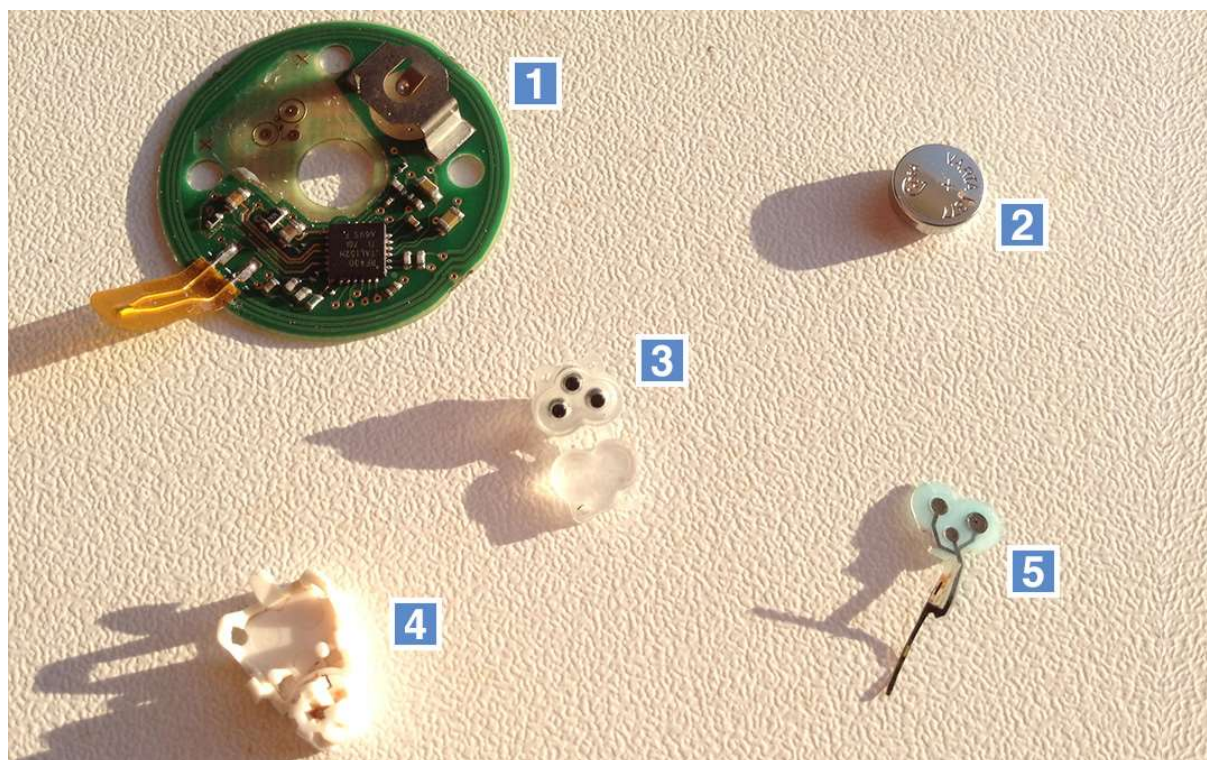


Figure 25 : Les composants du capteur Fresstyle Libre.

1. **Circuit imprimé** : PCB double face, 500µm d'épaisseur, 3cm de diamètre, antenne gravée (les trois gravures formant des cercles concentriques), thermomètre (protubérance sous plastique orange), émetteur RF430 RFID TAG (émetteur NFC envoyant les informations recueillies au lecteur ou au smartphone, associant également un processeur et un emplacement de mémoire flash pour stocker les huit heures de données recueillies), composants discrets (aux rôles non élucidés).
2. **Pile 1,5v** alimentant le capteur pendant quatorze jours.
3. **Connecteur silicone**, interface entre la partie électronique et les électrodes.
4. **Support du connecteur silicone** et guide pour l'aiguille d'insertion.
5. **Biosenseur**, les électrodes à proprement parler.

Le fonctionnement du système électrochimique situé au niveau des électrodes, sur le Freestyle Libre, repose sur les principes de fonctionnement de tous les biosenseurs de glucose ampérométriques. Une enzyme, la glucose oxydase (GOx), est utilisée. Le principe de base est d'exploiter la réaction d'oxydoréduction entre le glucose et la GOx, en réoxydant le cofacteur FAD de la GOx réduite. Très vite l'utilisation de médiateurs intermédiaires a été développée, car d'une part réoxyder le FAD de la GOx n'était pas simple, d'autre part cela permet de réduire de nombreuses interactions avec d'autres substances.

Enfin, l'autre problématique des systèmes à enzyme Cox est qu'ils nécessitent une quantité d'oxygène équivalente au glucose présent, or ce n'est pas toujours le cas dans le liquide interstitiel, donc l'utilisation de médiateurs permet de résoudre cette problématique.

De nombreux médiateurs ont été développés [226], et coexistent, aujourd'hui, sur les différents CGMS du marché. Nous allons nous intéresser à celui utilisé au sein du capteur Freestyle Libre. Il s'agit d'un système déposé appelé *Wired Enzyme Technology* [244] ou « enzymes enchevêtrées ». Il repose sur l'utilisation de molécules médiateurs reposant sur un atome d'osmium (Os), ancrées dans un film polymère. Le biosenseur est constitué d'un gel réducteur (**Figure 26**) composé de ces molécules médiateurs attachées au film polymère et d'enzymes GOx liées par des liaisons chimiques.

Ce système présente plusieurs avantages :

- ✓ La réponse électrochimique est extrêmement stable comparée aux autres systèmes à H_2O_2 , et ne nécessite pas beaucoup de calibration (même une unique calibration d'usine sera nécessaire, comme nous allons le voir juste après).
- ✓ Ce système ne dépend pas de l'oxygène pour fonctionner. Cette indépendance vis-à-vis du taux d'oxygène permet une plus grande stabilité du système. Néanmoins, il est possible que l'oxygène du liquide interstitiel entre en compétition avec les médiateurs à l'Osmium, et réduisent ainsi légèrement l'intensité du signal.
- ✓ Enfin, le potentiel de fonctionnement du système se situe autour de +40 mV, soit bien moins que les systèmes à H_2O_2 , où le potentiel est d'environ 500 mV. C'est grâce à ce faible potentiel que les interactions avec d'autres substances (notamment le paracétamol) sont grandement minimisées par rapport aux autres systèmes.

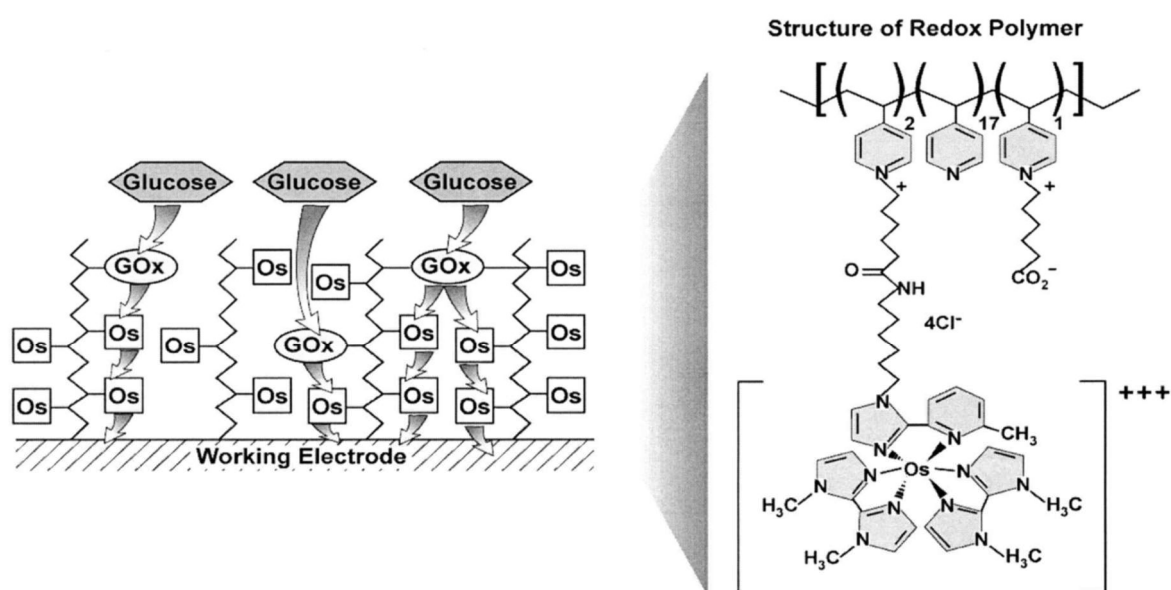


FIG. 2. Schematic diagram of the Wired Enzyme sensing layer, showing redox polymer, incorporated enzyme (GOx), and path of electron flow from glucose to the working electrode. Detail shows the actual structure of the redox polymer.

Figure 26 : La structure du gel réducteur [244]

Globalement ce système d'« enzymes enchevêtrées » fonctionne très bien. Il est stable et c'est également ce qui explique son insensibilité face à de nombreuses interactions avec d'autres substances, et le port de quatorze jours du capteur. C'est le seul système¹⁰, actuellement, à bénéficier d'une calibration dite « d'usine ». C'est-à-dire que le système est précédemment, juste après sa fabrication, calibré dans une solution *in vitro*. Cette calibration s'effectue pour chaque capteur. Chaque capteur dispose donc de sa propre « identité », qui sera reconnue par le lecteur/smartphone et ajustée en conséquence. La calibration d'usine a été démontrée comme faisable et fonctionnelle par plusieurs études [245], [246].

On peut conclure en attestant que le capteur Freestyle Libre est sans doute le capteur qui réussit le mieux à être en même temps une prouesse technologique, par bien des aspects (durée de port, stabilité, calibration d'usine) et également une prouesse économique (le capteur coûte une quarantaine d'euros en France), en étant accessible, peut-être pas au plus grand nombre, mais à beaucoup cependant.

¹⁰ Le Dexcom G6 bénéficie aussi d'une calibration d'usine, mais il vient juste de sortir et n'est pas encore exploité au moment de l'écriture de cette partie de la thèse.

2.2.4.6. *Implant CGMS longue durée : Eversense XL*

Un seul implant de mesure du glucose interstitiel existe aujourd'hui : le Eversense XL de Senseonics.

Cet implant possède des caractéristiques plus abouties de celles des capteurs transcutanés :

- ✓ L'implant peut être conservé jusqu'à 180 jours (soit six mois) dans sa version XL vendue en Europe, la version simple validée par la FDA et commercialisée aux Etats-Unis peut être conservé 90 jours [247].
- ✓ Il nécessite une anesthésie locale et l'insertion de l'implant est effectuée par un médecin.
- ✓ Il nécessite deux calibrations par jour, une le matin et une le soir, espacées de quatorze heures minimum, avec une prise de mesure de la glycémie capillaire.
- ✓ Il se connecte à un transmetteur collé à la peau qui lui envoie les informations directement sur le smartphone du patient. Le transmetteur est autonome et se mettra à vibrer, indépendamment de sa connexion au smartphone, si une hausse ou une baisse forte de la glycémie est détectée.
- ✓ Il possède les meilleurs résultats en termes de corrélation à la glycémie mesurée au doigt¹¹[248][249].
- ✓ Depuis le 6 juin 2019, la FDA a donné son feu vert pour que les données récoltées par le capteur soient utilisées pour des décisions de traitements (donc la dose d'insuline). Bientôt sans doute, les données pourront être utilisées par une pompe à insuline [250].
- ✓ Son coût n'est pas affiché clairement, même si des sources indiquent 1400€ le transmetteur, plusieurs centaines d'euros le capteur et encore 200€ pour la pose. C'est sans aucun doute, avant même le capteur de Medtronic, le capteur le plus cher du marché.

¹¹ Le système nécessitant deux calibrations par jour, ce n'est pas très étonnant.

2.2.4.7. Le fonctionnement du capteur Eversense de Senseonic

Le capteur Eversense est composé de deux éléments. Le capteur à proprement parlé, implant de 18,3 mm de longueur sur 3,5 mm de diamètre (**Figure 28**), et un transmetteur (**Figure 27**) à fixer sur la peau.



Figure 27 : Le transmetteur Eversense [251]

Le transmetteur est essentiel au fonctionnement de l'implant, comme nous allons le voir, mais peut être retiré au besoin (douche, bain, piscine...) car il n'est pas lié physiquement au capteur. Il doit être fixé avec un adhésif moins fort que celui du Freestyle Libre, dont l'adhésif peut poser des problèmes d'allergie.

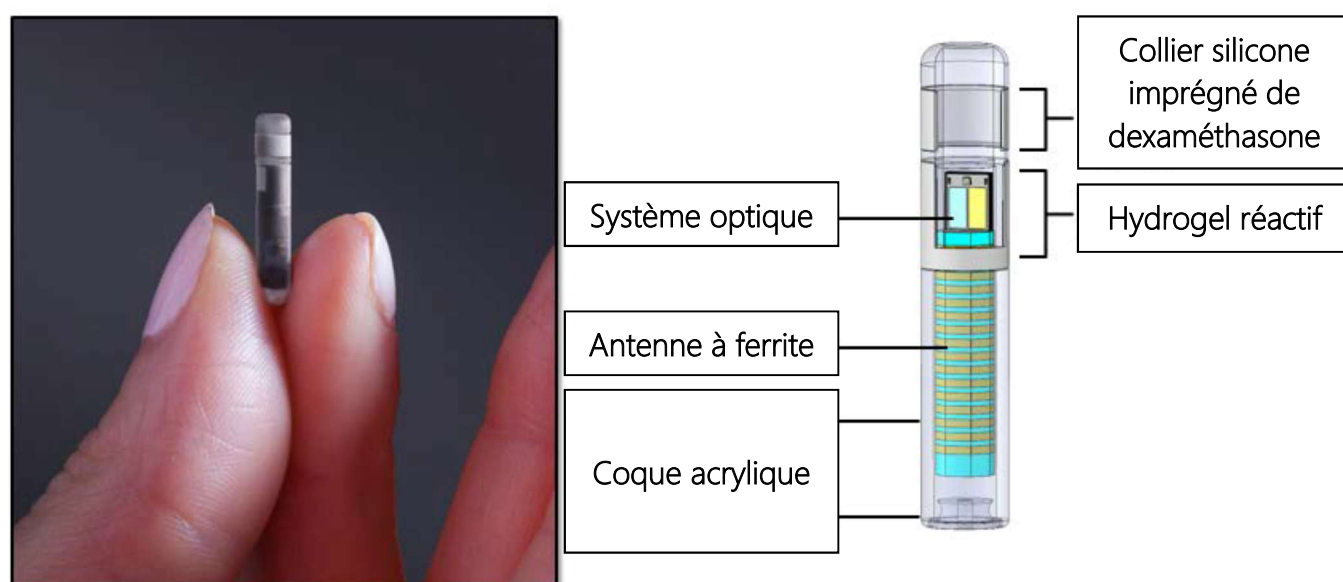


Figure 28 : L'implant est placé en sous-cutané (cf. module d'insertion et instructions pour le médecin) [251]

L'implant dispose de plusieurs parties :

- ✓ Une tête en silicone pour faciliter l'implantation et le retrait de l'implant, imprégnée de 1,75 mg d'acétate de dexaméthasone, anti-inflammatoire diffusant très lentement permettant une meilleure tolérance de l'implant par l'organisme et améliorant la longévité du capteur.
- ✓ Un système optique composé d'une LED et de deux photodiodes, constituant un spectrofluoromètre miniature, alimenté par une antenne à ferrite.
- ✓ Un hydrogel servant d'indicateur du taux de glucose (**Figure 29**). L'hydrogel est composé d'un composé réagissant à la lumière LED et émettant une fluorescence proportionnelle au taux de glucose s'y liant.

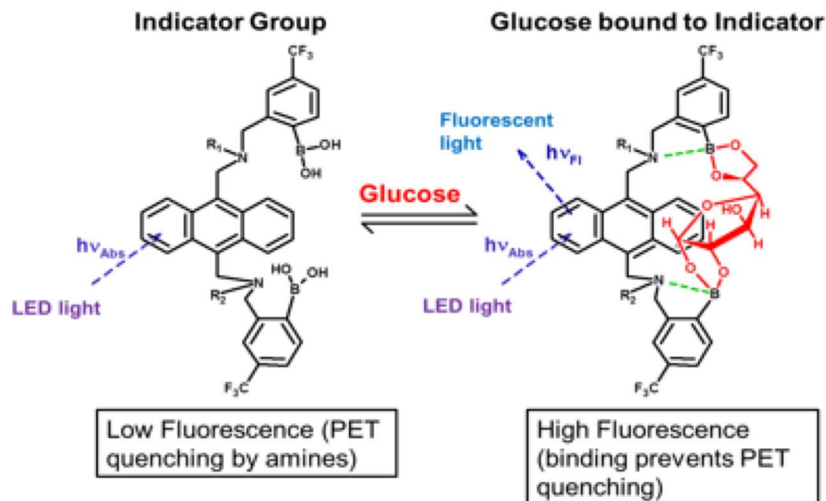


Figure 29 : La technologie de fluorescence d'Eversense : La liaison du glucose entraîne un arrêt du phénomène de quenching entre le photophore et les amines, et ainsi la fluorescence augmente. Ce phénomène est étudié pour que la fluorescence de l'hydrogel biosenseur soit proportionnelle au taux de glucose interstitiel [59].

La fluorescence est donc excitée par la LED et récoltée par les deux photodiodes. Néanmoins, aucune donnée n'est conservée directement sur l'implant. Les photodiodes envoient directement l'information qu'elles génèrent via l'antenne, en NFC, au transmetteur qui va interpréter la valeur de fluorescence en termes de taux de glucose.

L'énergie alimentant la LED et les photodiodes est transmise par le transmetteur, à distance, via un procédé appelé *NFC energy harvesting*, l'énergie est transmise par des ondes radio d'une certaine longueur d'onde.

Le système Eversense possède aujourd'hui la « *Mean absolute relative difference* » (MARD) la plus basse du marché : 8,7%. La MARD ou écart moyen absolu relatif par rapport aux mesures prises par glycémie capillaire est l'indicateur utilisé systématiquement pour l'étude des CGMS [252]. Plus cette valeur, exprimée en pourcentage, est basse, plus le CGMS est « proche » de la valeur étalon que représente la glycémie capillaire. Néanmoins cette valeur est à mettre en perspective avec chaque étude, car elle est parfois différemment calculée d'une étude à une autre.

2.2.5. Applications mobiles de détermination de dose d'insuline à injecter

Les applications concernées ici ont pour objectifs de fournir une indication de dosage d'insuline à administrer, directement au patient. Basées sur des algorithmes informatiques, sur les instructions du prescripteur et sur les valeurs de glycémies (ces dernières peuvent provenir d'un capteur CGM ou d'une lecture manuelle par piqûre au doigt), elles sont ensuite soit rentrées manuellement par le patient soit récoltées automatiquement par l'application si elle est compatible avec le capteur. Le dosage calculé est censé permettre une meilleure gestion du diabète et évite au patient d'avoir à calculer sa dose.

On peut citer :

- ✓ **Glooko**, et son application Glooko MIDS[253] (Mobile Insulin Dosing System) : c'est une application complète pour les diabétiques de type 2 s'injectant de l'insuline lente. Elle fournit des rappels (injection et prise de glycémie) et calcule la dose à injecter en fonction des consignes du médecin.
- ✓ **Dreamed Advisor**[254], un système permettant de calculer automatiquement la dose d'insuline à administrer pour les diabétiques de type 1. C'est l'entreprise la plus avancée dans ce domaine, ses applications permettant finalement une approche assimilable à un pancréas artificiel.

Les deux applications précédentes permettent de récolter les mesures de glycémie d'un grand nombre de lecteurs/capteurs et de les utiliser automatiquement, sans passer par une entrée manuelle par le patient (~~ce~~ qui peut entraîner des erreurs).

Les laboratoires Eli Lilly [255], Roche [256] et Sanofi [257] ont également leur application de détermination de la dose à administrer. En général, toutes les applications de suivi de la glycémie peuvent proposer ce type d'option, mais seuls Glooko MIDS et Dreamed Advisor semblent bénéficier d'une intelligence artificielle. Glooko MIDS a également des études qui supportent son efficacité.

2.2.6. Capteur transcutané associé à une pompe à insuline

Il s'agit simplement de systèmes comparables au capteur Freestyle Libre, à la limite près qu'ils sont associés à une pompe à insuline. Ces systèmes bénéficient bien souvent d'un contrôle automatique de l'administration de la dose basale d'insuline, et ce en fonction de la glycémie mesurée par le capteur.

Le marché de la pompe à insuline en France est bien encadré avec une classe LPP (code 1146183, Chap.1, Section 2, Sous-section 4, Paragraphe 4 : *Pompes à insuline externes, portables et programmables* [258]), et moins d'une dizaine de modèles sont disponibles sur le marché [259]. On notera Medtronic et sa pompe MiniMed 640G, leader du marché, les différentes pompes AccuCheck et la YpsoPump de MyLife, la plus petite disponible.

Néanmoins on ne va s'intéresser ici qu'aux modèles **associant une pompe à insuline à un capteur de glycémie transcutané**. Deux entreprises mènent une bataille technologique sur ce marché. Medtronic d'un côté, leader mondial dans de nombreuses technologies implantables en santé, et la MiniMed 670G[260] associée au capteur Guardian3[261], et Tandem Diabetes Care de l'autre, une société en pleine progression (*on parle d'une valorisation à 3,5 milliards de dollars en bourse* [262], *avec des bénéfices augmentant de plusieurs centaines de pourcent par trimestre* [263]) spécialisée dans le diabète et proposant une pompe à insuline, la t:Slim X2[264].

Les deux couples pompes-capteurs se composent des mêmes composants :

- ✓ Une pompe à insuline disposant d'un écran (tactile ou avec des touches) permettant de la paramétrer, ainsi qu'un réservoir d'insuline à remplir par le patient. (Figure 30)



Figure 30 : La pompe t-Slim X2 a l'avantage d'être tactile et passe partout, avec son allure de smartphone.

- ✓ La pompe est liée à un cathéter qui lui-même est lié à une voie d'entrée (Figure 31) que le patient se voit poser par une infirmière.



Figure 31 : Exemple d'une voie d'entrée de perfusion.

- ✓ Un capteur transcutané semblable au Freestyle Libre, communiquant en Bluetooth avec la pompe à insuline connectée (Figure 32).



Figure 32 : Le capteur transcutané Dexcom G6 (2), avec son module d'insertion (1). Il peut communiquer directement avec un smartphone, une montre connectée (Apple Watch Série 4) ou bien entendu le lecteur de la marque (3).

Les deux pompes et leurs capteurs ont donc un fonctionnement similaire. Néanmoins, comme vous pouvez le voir dans le tableau comparatif ci-dessous (**Tableau 7**), ils possèdent des qualités et des fonctionnalités propres qui vont faire que l'un ou l'autre correspondra au mieux à un patient.

<i>Pompe :</i>	Medtronic Minimed 670G[260]	t :Slim X2[264]
<i>Capteur :</i>	Guardian Sensor 3[261], [265] <i>Durée de vie : 7 jours</i> + Module de transmission Nécessite une calibration avec prise de la glycémie au doigt trois à quatre fois par jour.	Dexcom G6[266] <i>Durée de vie : 10 jours</i> + Module de transmission Ne nécessite pas de calibration, mais peut être calibré si le capteur donne des valeurs décalées.
<i>Atouts et points clés :</i>	<ul style="list-style-type: none"> • C'est le premier capteur permettant un ajustement en temps réel de la perfusion en insuline ; retour d'expérience le plus important. • Système de boucle fermée hybride (pancréas artificiel). • Technologie SmartGuard [267] : technologie brevetée permettant d'éviter la délivrance de dose trop importante d'insuline et donc les hypoglycémies. Système auto-mode qui perfuse toutes les cinq minutes des unités d'insuline (sous forme de micro-bolus, afin de mimer la sécrétion d'insuline basale) en fonction de la glycémie relevée par le capteur, de la glycémie capillaire et des glucides consommés (entré manuellement par le patient). • Application connectée Sugar.IQ [268], véritable assistant de tous les jours pour le bon suivi de son diabète et des règles hygiéno-diététiques. 	<ul style="list-style-type: none"> • Capteur plus avancé technologiquement que le Guardian. • Système de boucle fermée hybride (pancréas artificiel). • Pompe miniature, délivrant de très fines doses d'insuline. • Système breveté Basal-IQ, analogue à Smartguard, sensé prévenir des hypoglycémies. • Système breveté Control-IQ, créé par la start-up TypeZero (système aussi appelé inControl), c'est un système de boucle-fermée hybride. L'intérêt ? Le système est intelligent et va parfois ralentir la perfusion d'insuline, parfois l'augmenter sous forme de « mini-bolus » lors d'augmentations de la glycémie. Le système est intelligent, il s'adapte en fonction des habitudes de repas et d'activités, et apprend même des habitudes du patient [269]. Les premiers essais, en 2018 [270], furent encourageant, puis les résultats parus en 2019 montre un net gain pour les patients [271]. Le système est en cours d'accréditation par la FDA [272], pour une sortie prévue fin 2019 (la mise à jour étant gratuite pour tous les patients possédant déjà une pompe t :Slim X2).

Tableau 7 : Comparaison Medtronic 670G et Tandem t :Slim X2

On voit très bien qu'avec les nouvelles fonctionnalités de son logiciel, la pompe t :Slim X2 prendra une avance non négligeable, technologiquement, face à sa concurrente. Le partenariat avec TypeZero, entreprise qui semble être la plus à même de développer à terme un pancréas artificiel complet (*car ici les injections d'insuline pré-prandiale sont toujours effectuées par le patient*) est très intéressant.

Néanmoins, Medtronic et son système SmartGuardian, reste le premier système de pancréas artificiel à avoir été mis sur le marché [273]. Les retours sur le système de Medtronic sont par contre assez mauvais, avec 40% des patients ayant quitté le système de boucle-fermée lors d'une étude [274]. Le problème se situerait autour d'un « auto-mode » trop complexe à utiliser au jour le jour [275], [276]. Ce dernier a été mis à jour depuis. La course technologique est lancée. Le marché est colossal, et voué à croître d'année en année, et il est possible que des pompes à insuline soient proposées à des diabétiques de type 2 également.

2.2.7. Pancréas artificiels

Pour bien saisir le concept de pancréas artificiel il faut tout d'abord y voir une visualisation purement schématique. Il ne s'agit pas d'un pancréas créé artificiellement puis greffé.

A noter qu'il existe des systèmes de pointe (*dual-hormones artificial pancreas*), extrêmement complexes et purement expérimentaux, où des pompes administrent insuline et glucagon [277]. Ces systèmes sont inapplicables au grand public pour le moment.

Un pancréas artificiel, très souvent appelé aussi *closed-loop system*, système à boucle-fermée, est un assemblage de plusieurs composants : un capteur CGMS, une pompe à insuline, un algorithme (**Figure 33**). Le patient sera le plus souvent, également, un acteur de ce système, tant bien que le terme de *hybrid closed-loop system* (système à boucle-fermée hybride) est aujourd'hui le plus employé. Le concept de pancréas artificiel a vu naissance au milieu des années 2000 et est en pleine expansion depuis les années 2010. Malgré cela, un seul système de pancréas artificiel est approuvé par la FDA[278], le Minimed 670G de Medtronic[279].

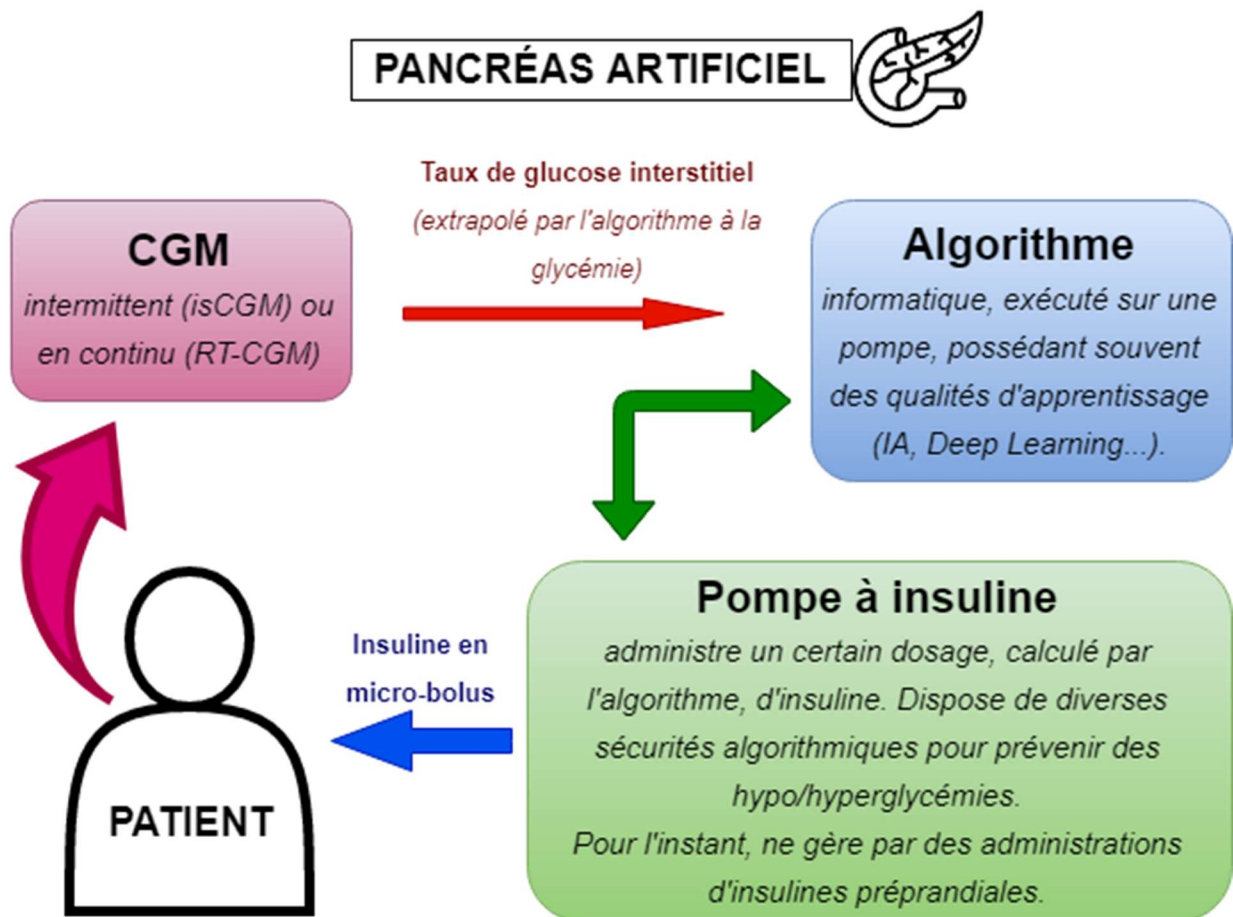


Figure 33 : Schéma synthétique du fonctionnement d'un pancréas artificiel.

Les systèmes développés actuellement permettent, si le patient suit scrupuleusement les consignes de sa pompe, une gestion semi-complète du diabète. Grâce aux systèmes du type *auto-mode* du Minimed 670G, on note une diminution de l'HbA1C et une glycémie globalement mieux contrôlée (moins d'hypo/hyperglycémies), mais le patient doit encore, comme avec une pompe classique, rentrer les glucides ingérés¹² et ainsi demander lui-même la perfusion des bolus préprandiaux. Ils nécessitent également, encore aujourd'hui, des calibrations par glycémie capillaire deux à trois fois par jour, idéalement avant chaque repas.

- ✓ De très nombreuses études sur les pancréas artificiels ont eu lieu aux États-Unis sur l'initiative de la NIH, qui a été dotée de fonds spécifiques à ce sujet [280].
- ✓ Les systèmes de pancréas artificiels permettraient une amélioration du contrôle du diabète[281].

¹² L'entrée manuelle des glucides ingérés laisse la porte ouverte à des comportements biaisant l'algorithme d'administration de bolus : certains patients entrent des « glucides fantômes » afin de provoquer l'injection d'insuline. Cela fausse les études réalisées sur les pancréas artificiels et est un phénomène récurrent.

- ✓ Le pancréas artificiel entièrement automatique (insuline basale et perfusion d'insuline pour les hyperglycémies postprandiales) est fonctionnel expérimentalement [282], [283], mais n'est pas commercialisé [284], [285].
- ✓ L'apport technique et technologique des développements récents en termes de CGMS permet de concevoir des systèmes sûrs et performants pour les patients [285].
- ✓ Des études récentes apportent de nouvelles idées au concept de pancréas artificiel :
 - L'utilisation d'une dose fixe, par voie inhalée, d'insuline (Technosphere® [286]) en préprandial, permettrait de laisser ensuite le système de pancréas artificiel ajuster la glycémie par lui-même, et ce, potentiellement, avec de meilleurs résultats que les modèles expérimentaux actuels de boucles-fermées entièrement automatisées [287].
 - Une étude *proof of concept* a démontré qu'il était possible de concevoir un algorithme universel qui s'adapterait sur plusieurs (voir tous) systèmes de CGM, pompes... etc. [288]. Appelée iAPS, cette application pour smartphone est un pas supplémentaire vers de l'inter-compatibilité entre les appareils et environnements, interopérabilité qui peut, on le voit avec le tandem Tandem® t:Slim x2 et Dexcom G6, être moteur de la vitesse de développement de plus de produits (*Tandem® n'a pas eu à développer son propre CGMS et a pu se concentrer sur sa pompe et son algorithme*).

Nous n'avons, avec ces quelques lignes, fait qu'effleurer la surface du vaste domaine que constitue le pancréas artificiel. Mais il ne fait aucun doute que dans les décennies à venir, ce type de système se développera et ce, même chez des patients diabétiques de type 2 [289], [290], [291], [292].

A terme ces systèmes pourraient rendre complètement autonome les patients diabétiques. Associé à de la téléconsultation, on peut imaginer que certains patients isolées (dans les déserts médicaux) puissent être pris en charge entièrement à distance. De plus, le pancréas artificiel permet un télémonitoring des injections d'insuline et du taux de glucose en résultant par le professionnel prenant en charge le patient.

2.2.8. Stylos d'injection de l'insuline connectés

Ce sont des stylos d'injection d'insuline classiques, hormis qu'ils sont connectés et transmettent les données quant à l'injection de l'insuline à un smartphone (le plus souvent par Bluetooth). L'intérêt est la traçabilité : on sait alors à quelle heure, quelle dose a été administrée. Cela peut être également utilisé en tant que contrôle de l'observance par un prescripteur [293].

On peut citer **GoCap** [294] (**Figure 34**) une solution de stylo connecté assez simple, qui enregistre la dose d'insuline administrée et la transmet par Bluetooth au smartphone du patient. Il en existe quelques autres, mais tous sont basés sur le même fonctionnement et il semble assez peu vraisemblable que ce genre de produit soit remboursé dans un avenir proche en France.



Figure 34 : GoCap se présente comme un petit accessoire à insérer sur le stylo d'insuline.[295]

Pourtant, ils possèdent un intérêt en terme de suivi du patient diabétique, et, de plus, ils ont un intérêt certain lors des systèmes de pancréas artificiel à boucle-fermée, car ainsi les algorithmes de perfusion d'insuline basale peuvent prendre en compte la dose et l'heure des injections d'insuline pré-prandiales effectuées par le patient.

2.3. Résultats en termes de soin et de qualité de vie

Le diabète connecté recouvre une large gamme d'appareils et de logiciels, allant de l'application gratuite pour smartphone à l'implant de CGM à plusieurs milliers d'euros. Mais quels sont les réels résultats thérapeutiques de tels apports technologiques ?

Dans la quasi-totalité des cas, si des études sont effectuées par les fabricants, celles-ci démontrent des résultats allant de l'amélioration légère de la glycémie moyenne (*avec très souvent moins d'hypoglycémies et d'hyperglycémies, notamment dans les systèmes de pompes associées à des capteurs CGM, voire dans le cas de pancréas artificiels*) à des résultats parfois révolutionnaires [296].

En ce qui concerne les applications connectées destinées aux patients. Il semblerait que celles bénéficiant d'une réelle phase de recherche, d'un financement conséquent, et d'une incitation financière « *mutualiste* », comme on peut le voir aux États-Unis (*exemple avec BetterTherapeutics® avec laquelle est observé une baisse cliniquement significative de l'HbA1c*), les résultats soient probants. Néanmoins, ces « *coachs diabétiques* » n'existent pour l'instant pas en France. Une publication de Nature [297] émet une conclusion sévère et les auteurs remettent en cause la pertinence de la plupart des applications n'ayant pas reçu, d'après eux, suffisamment de tests avant d'être lancées. A terme, la réalisation de protocoles de tests sur des panels de patients pourrait être une piste pour une certification des applications de ce type, dans le domaine de la diabétologie mais aussi, plus globalement, de la santé. L'appréciation de l'éventail d'applications reste donc à la charge du patient diabétique. Des applications, en France, comme *MyEspaceDiabète* [298], même si elles n'ont nullement prouvé leur intérêt en termes de soin, permettent au moins de réaliser un lien car chaque patient doit entrer sa pharmacie référente. Ainsi c'est un premier pas vers la pharmacie 2.0.

Les systèmes de pancréas artificiels sont indéniablement une technologie d'avenir, leurs résultats le prouvent. Pour l'instant néanmoins, leur usage est réservé aux patients adultes, de part une variation des doses d'insuline plus importante chez les enfants [299], mais aussi car ces derniers ont plus de difficulté, dans la gestion de leur diabète.

Viennent enfin la panoplie des différents dispositifs de suivi en continu du glucose interstitiel. Avec l'utilisation de scores comme le MARD on peut procéder à une première appréciation qualitative de ces dispositifs. Concrètement, ces dispositifs sont une avancée logique dans le domaine de la diabétologie : suivre le taux de glucose en continu est cliniquement plus appréciable que par prélèvement capillaire trois à six fois par jour. Ils sont indispensables aux systèmes de pancréas artificiels et sont une avancée majeure pour le confort de vie des patients diabétiques. Plus besoin de se piquer plusieurs fois par jour. Pour l'instant encore réservés essentiellement aux diabétiques de type 1, les CGMS vont, naturellement, arriver chez les diabétiques de type 2 [300].

2.4. Conclusion et apports pour les déserts médicaux

La diabétologie connectée permet, si l'on synthétise tous les éléments vus précédemment, trois grands axes de développement dans lesquels la diabétologie traditionnelle semblait avoir atteint ses limites.

Le premier axe est celui du confort pour le patient. La prise en charge du diabétique entraîne beaucoup de savoir-faire que le diabétique doit acquérir, et d'actions que ce dernier doit effectuer plusieurs fois par jour : se piquer le bout du doigt et prendre sa glycémie capillaire, réaliser les injections d'insuline, réaliser les calculs, de manière proactive, immédiate ou rétroactive des doses d'insuline, paramétrer les bolus si il est équipé d'une pompe à insuline... Autant d'actions entraînant des difficultés chez certains patients, et une pénibilité certaine chez la plupart. La diabétologie connectée est avant toute chose une réduction de la pénibilité de la prise en charge de son diabète pour le patient. Ne plus avoir à réaliser ses glycémies capillaires, ou beaucoup moins souvent, une pompe qui calcule d'elle-même la dose d'insuline à administrer, des abaques connectés et intelligents qui vous disent directement la dose la plus juste à administrer... sont autant de « *gagne-temps* » pour le diabétique. Ce sont des gains indéniables, et hormis quelques à-coups (*algorithmes trop difficiles à utiliser, personnes « allergiques » aux nouvelles technologies*) la diabétologie connectée fait le plus souvent le bonheur des patients.

Le deuxième axe, souvent objet d'études de par les laboratoires, est une meilleure gestion clinique et biologique du diabète grâce aux dispositifs connectés. HbA1c plus basse, glycémie en moyenne plus faible, avec moins de variations, moins de temps en hyper et en hypoglycémie... Les résultats sont parfois non significatifs, mais la plupart du temps un gain est observé. Les calculs et la rigueur de la « *machine* » surpassent ceux du patient et donc c'est assez logique. Néanmoins, avec le développement de technologies associées à des intelligences artificielles, du *big data* et des capacités de calculs très importantes, on peut s'attendre à des algorithmes toujours plus précis et puissants, s'adaptant au mieux aux caractéristiques du patient.

Là où la médecine personnalisée médicamenteuse a pour l'instant un coût trop élevé pour se développer, un algorithme peut être construit pour s'adapter par lui-même à l'individu sans engendrer de frais plus importants lors de son développement.

Le dernier axe est celui de l'indépendance des patients, et même du dépistage des diabétiques qui s'ignorent. Avec ces technologies connectées, l'information est dématérialisée et de très haute qualité (on a un taux de glucose en continu par exemple), et peut donc être transmise instantanément à un spécialiste situé à des centaines de kilomètres, si nécessaire. Le suivi du patient diabétique, de sa glycémie à ses injections d'insuline, peut être effectué à distance pour un coût dérisoire. Le dépistage lui-même, peut être facilité, avec les résultats d'un test de glycémie effectué dans une pharmacie rurale, par exemple, directement versés dans le dossier médical informatisé du patient et ainsi disponible aux prochaines consultations chez son généraliste. Là où la diabétologie connectée surpasse l'humain, c'est qu'il est possible, très facilement, de produire des informations extrêmement précises : la glycémie, la température, la date et l'heure exacte du prélèvement seront disponibles, là où bien souvent, si un test opportun est effectué *en dépistage* dans une pharmacie, ce ne sera qu'une valeur de glycémie notée sur un morceau de papier.

C'est bien dans ce dernier axe que la diabétologie connectée présente un intérêt certain pour les déserts médicaux. Les patients sont plus à l'aise avec leur prise en charge, leur observance et leur adhérence s'améliore. Leur diabète est mieux contrôlé, les données concernant leur diabète sont envoyées directement à leur spécialiste, qu'ils ont, par conséquent, besoin de voir moins souvent. *In fine* il est même possible de réduire les traitements (chez les diabétiques de type 2) ou d'arrêter des traitements potentiellement dangereux (sulfamides). Les applications d'aide à la gestion du diabète et d'aide à l'alimentation peuvent également être là pour aider le patient.

Le pharmacien peut avoir une place clé dans ces dispositifs de diabétologie connectée : mettant à disposition les dispositifs (et pouvant donner, s'il se forme, les explications à leur bonne utilisation), faisant relais lorsqu'il y a besoin de service après-vente ou de mise à jour du matériel, relais aussi, éventuellement, dans la gestion des données ou dans la proposition de téléconsultations au sein de son officine. Il peut être proactif et proposer ces solutions auprès de prescripteurs et patients, si ces derniers ne les connaissent pas. Enfin il aura aussi un rôle important à jouer dans la connaissance des interactions possibles entre les traitements et les capteurs de CGMS, en donnant les consignes et mises en gardes nécessaires auprès du patient.

Que nous réserve le futur de la diabétologie connectée ? Un article s'intéresse à la diabétologie en 2030 [301], mais on peut y penser de manière plus ludique. On peut imaginer le développement des tatouages biosenseurs [302] ? Ou encore mieux, avec cette *preuve de concept* d'une application pour Google Glass qui analyse ce qui est dans l'assiette du patient diabétique porteur des lunettes, donnant une approximation de la quantité de glucides ingérés [149]. Peut-être que d'autres accessoires, comme simplement les cardio-fréquencemètres fonctionnant par photopléthysmographie aujourd'hui inclus dans d'innombrables montres et bracelets connectés, participeront également à la gestion du diabète, en repérant les hypoglycémies par exemple [303].

Néanmoins, certains fabricants peuvent parfois faire marche arrière, laissant démunis des patients devenus dépendants de ces technologies, comme c'est le cas avec les pompes

à insuline implantables en France [304]. Il s'agira donc de conserver le savoir-faire d'une diabétologie « *classique* ». Tout comme il faudra être attentifs, pharmaciens et fournisseurs en première ligne sur ce sujet, à la qualité des produits développés et vendus, car certains peuvent être dangereux, n'ayant pas la qualité requise d'un dispositif médical mais bénéficiant de la *hype*¹³ « diabétologie connectée » [305].

¹³ Hype : Volonter d'être ou de rester *hype*, avant-gardisme. Battage médiatique. [408]

3. La cardiologie connectée

3.1. Pourquoi la cardiologie connectée est-elle l'enjeu primordial de la e-santé ?

La e-santé est un domaine très vaste, mais elle est principalement pratiquée par les professionnels de la santé : médecins, pharmaciens, infirmiers... Elle touche également les structures dépendant de la santé de leur patient : hôpitaux, cliniques, établissements d'hébergement de personnes âgées dépendantes (EHPAD)... Et donc finalement, en dehors de ces contextes médicaux, les individus ne bénéficient pas beaucoup de la e-santé.

La cardiologie connectée, qui est véritablement le domaine s'immisçant dans la vie quotidienne de nombreuses personnes, déroge à cette règle. Les personnes désireuses de pratiquer une activité physique quotidienne ont la possibilité de compter leur pas à l'aide d'un podomètre connecté : aujourd'hui n'importe quel smartphone peut servir de podomètre. Les sportifs ont la possibilité de se doter de montres connectées et de ceintures prenant la fréquence cardiaque, parfois même d'un électrocardiogramme (ECG) en continu. Enfin, le quinquagénaire qui s'équipera d'une Apple Watch se verra peut-être notifier, un après-midi, par son smartphone que la montre a détecté de la fibrillation auriculaire et qu'il lui est conseillé de consulter un cardiologue.

La cardiologie connectée n'est pas encore le domaine le plus lucratif de la e-santé, c'est vraisemblablement la télé-radiologie [306], mais c'est le domaine le plus diversement implanté dans l'ensemble de la population. Le nombre d'appareils connectés disposant d'un capteur de fréquence cardiaque vendus chaque année se comptent en dizaines de millions.

Nous allons passer en revue les technologies destinées au patient, disponibles, aujourd'hui, en cardiologie connectée. Bien que le domaine soit en pleine expansion, les études concrètes et solides sur l'apport de ces technologies, nous le verrons, ne sont pas très nombreuses.

3.2. Technologies et objectifs en cardiologie connectée

Pour procéder simplement, nous allons décrire les technologies, leur objectif primaire (*exemple : mesurer la fréquence cardiaque du patient*) et leurs objectifs secondaires (*exemple : détecter une fibrillation auriculaire*). Enfin nous présenterons brièvement quelques produits phares (*exemple : l'Apple Watch*) ainsi que les acteurs majeurs de ce secteur.

3.2.1. Photopléthysmographie et technologies dérivées

S'il ne fallait parler que d'une chose en cardiologie connectée, c'est de la photopléthysmographie (PPG).

Derrière ce nom barbare, se cache une technologie aujourd'hui extrêmement répandue et utilisée à travers le monde. La photopléthysmographie [307] est une technologie très simple, découverte durant les années trente et tout d'abord utilisée et adoptée largement à partir des années quatre-vingt pour mesurer la saturation en oxygène de l'hémoglobine [308]. Cette utilisation, reposant sur la mesure de l'absorption de deux longueurs d'onde, a été améliorée au fil du temps notamment à l'aide d'algorithmes plus précis [309].

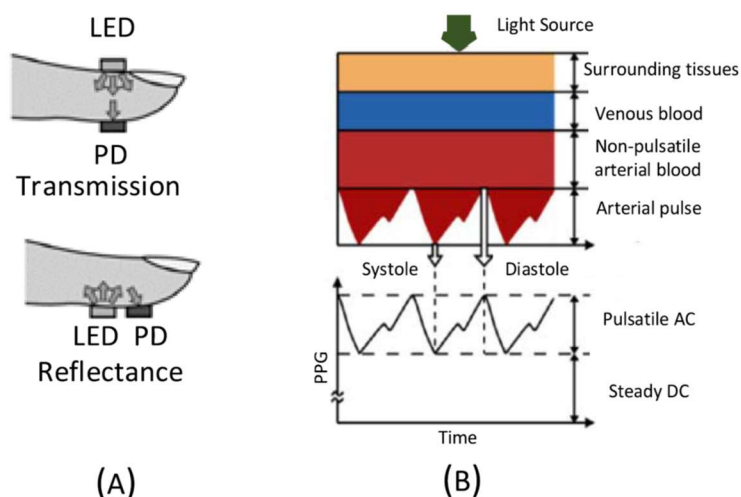


Fig. 1. (A) Light-emitting diode (LED) and photodetector (PD) placement for transmission and reflectance-mode photoplethysmography (PPG) [24]. (B) Variation in light attenuation by tissue [34].

Figure 35 : La PPG peut s'effectuer par transmission ou par réflectance, et analysera le pouls par la simple courbe (« wave ») formée suite aux mesures d'absorption des fréquences 660 et 940 nm [310].

Néanmoins, si la PPG nous intéresse aujourd'hui c'est parce qu'elle est massivement utilisée pour mesurer la fréquence des battements cardiaque, autrement dit le pouls de l'utilisateur. Le principe est le même que pour l'oxymétrie [310] (**Figure 35**), et il nécessite également des algorithmes permettant d'éliminer au maximum les artefacts, notamment ceux dus aux mouvements au niveau du capteur. On peut acheter aujourd'hui des oxymètres de pouls pour quelques euros, et des appareils (notamment des montres connectées) possédant un pulsomètre, à partir d'une quinzaine d'euros. Ce sont ces tarifs très abordables, permis par une fabrication asiatique à très faible coût, qui ont permis une telle diffusion de ces appareils. **La PPG se retrouve ainsi dans des bracelets, des montres, des ceintures abdominales, des doigts (usage médical exclusivement), des écouteurs [311], des bagues [312] et est même possible directement à l'aide d'un smartphone [313] ! C'est incontestablement la technologie à usage médical la plus diffusée à travers le monde.** De plus, les fréquences cardiaques mesurées par ces multiples appareils s'avèrent être conformes à ce que pourrait donner une mesure clinique, à l'aide d'un électrocardiogramme (ECG) [314] ; elles sont donc utilisables médicalement.

Il n'y a pas beaucoup de critiques à émettre sur cette technologie : sa simplicité en fait une méthode robuste pour recueillir la fréquence cardiaque du patient. Seul les algorithmes peuvent différer en qualité ou en fonctionnement [310], certains étant de simples filtres pour les valeurs anormales, d'autres reposant sur de l'intelligence artificielle (algorithme apprenant). Mais contrairement à ceux utilisés pour les pancréas artificiels, par exemple, ils s'avèrent en général très fiables. L'unique problème réel, de nature technique, que pose la PPG est son utilisation sur une peau colorée ou noire, car il est évident que le signal étant lumineux, il est plus complexe pour ce dernier de traverser les couches d'un épiderme foncé [315]. Cette problématique est néanmoins aujourd'hui surpassée par l'utilisation de matériel adéquat (lumières plus fortes) et l'adaptation des logiciels (le logiciel demande la couleur de peau ou la détecte directement).

L'avenir de la PPG est d'étendre son champ de compétences. Avec des capteurs de plus en plus perfectionnés : miniaturisés à l'extrême (*et donc de port permanent –intégrés à une bague par exemple*), avec des LED et des photodiodes plus élaborés, des algorithmes intelligents et apprenant... Il sera demain possible d'extrapoler des mesures effectuées par PPG de nombreux autres paramètres physiopathologiques. La PPG permet de calculer la pression artérielle [316], de vérifier l'état des vaisseaux sanguins [317], de mesurer la variation de fréquence cardiaque (*HRV : la variabilité de temps entre chaque pulsation cardiaque*) et de détecter la fibrillation auriculaire ou autres maladies cardiaques [310].

3.2.2. Electrocardiographes (ECG)

Avant toutes choses, il est essentiel de se remémorer en quoi consiste l'électrocardiographie [318]. Cette technologie fut développée à partir de la fin du dix-neuvième siècle, et les découvertes du docteur Einthoven au début du vingtième siècle, qui en ont fait un élément fondamental de la cardiologie moderne. La mesure, idéalement en douze dérivations [319], du signal électrique produit par les cellules cardiaques, permet aujourd'hui le diagnostic d'un grand nombre des maladies cardiaques.

C'est au début des années 2010 que sont apparus les premiers électrocardiographes connectés destinés au grand public. La principale entreprise qui développa à grande échelle la technologie est Alivecor [320], bien que plusieurs modèles furent développés de manière concomitante aux États-Unis ([321], [322]). Globalement, les ECG connectés consistent systématiquement en **deux** (*Kardia Mobile d'Alivecor par exemple*) ou **trois** (*Apple Watch Serie 4*) **électrodes**, sur lesquelles le patient apposera une partie de son membre supérieur gauche et une partie de son membre supérieur droit (*soit des doigts, soit le poignet et un doigt de la main opposée dans le cas d'une smartwatch*) afin d'obtenir un électrocardiogramme à une dérivation (*one lead ECG*). Cet ECG offre une vision en deux dimensions du signal électrique cardiaque, vue par un seul angle et ajustée informatiquement pour correspondre à la dérivation I d'Einthoven.

Avec ce type de « monitoring », il est possible de calculer la fréquence cardiaque, la variabilité du rythme cardiaque (HRV), de diagnostiquer certaines arythmies comme une bradycardie ou une tachycardie. Enfin il est possible de détecter des variations de l'ECG attribuées à de la fibrillation auriculaire. Aujourd'hui les études sont suffisamment nombreuses pour statuer sur l'efficacité de la détection de la fibrillation auriculaire par un ECG à une dérivation [323]–[327].

Nous le verrons dans la partie suivante, l'utilisation d'un ECG, même à une seule dérivation, permet de monitorer, par extrapolation algorithmique et/ou association avec un capteur PPG (*ce qui est le cas dans toutes les smartwatch possédant un capteur ECG*), d'autres paramètres, la pression artérielle, l'apnée du sommeil... [328], [329].

Dans le futur, les ECG connectés vont encore évoluer sur deux axes assez simples : le premier est le développement des algorithmes de détection des maladies cardiovasculaires, lesquels, à l'aide du *deep data*¹⁴, devraient s'aiguiser et devenir toujours plus performants. On peut, par exemple, mentionner cette intelligence artificielle qui se révèle plus performante que l'être humain dans la détection de signes infimes de fibrillation auriculaire [330]. Le second axe est de permettre facilement la réalisation d'ECG plus complets, à trois, voire six dérivations. C'est déjà possible expérimentalement avec une Apple Watch Serie 4 [331]–[333], et AliveCor a commercialisé en 2019 son nouveau produit : le KardiaMobile 6L [334], qui, comme son nom l'indique, propose d'effectuer un ECG sur six dérivations (*de manière fractionnée*).

3.2.3. Mesure de la pression artérielle

La méthode de référence reste la prise de la pression artérielle à l'aide d'un brassard. Cette technique peut être manuelle, le brassard est alors gonflé à l'aide d'un manomètre et le professionnel de santé écoute à l'aide d'un stéthoscope, les bruits de Korotkoff (reprise d'un flux artériel turbulent et reprise d'un flux artériel normal), et prend note des pressions atmosphériques correspondantes. On obtient ainsi la pression artérielle systolique et diastolique.

La technique automatique, qui consiste en un appareil de prise de la pression artérielle électronique, se base également sur l'étude des bruits de Korotkoff mais diffère, en réalité, dans son fonctionnement [335], [336]. L'appareil est muni d'un oscilloscope qui va capter les vibrations au sein du brassard (*et non pas les sons à l'aide d'un microphone, bien que ce soit évidemment les mêmes ondes*), puis l'appareil va se baser sur la pression moyenne obtenue (la pression obtenue au maximum des oscillations) pour définir, à l'aide d'un algorithme (*en réalité un ratio fixe la plupart du temps*), les pressions artérielles systolique et diastolique (**Figure 36**). Les brassards automatiques mesurent également la

¹⁴ Le *deep data* est l'utilisation de données en grand nombre, mais, contrairement au *big data*, ces données sont analysées et organisées afin d'être les plus riches possibles. Le *deep data* concerne essentiellement les sciences du vivant, dont la médecine. [409]

fréquence cardiaque à l'aide de l'oscilloscope. Cette méthode automatique, aujourd'hui la plus répandue, peut entraîner des erreurs et possède des limites qui ne sont pas systématiquement connues des médecins.

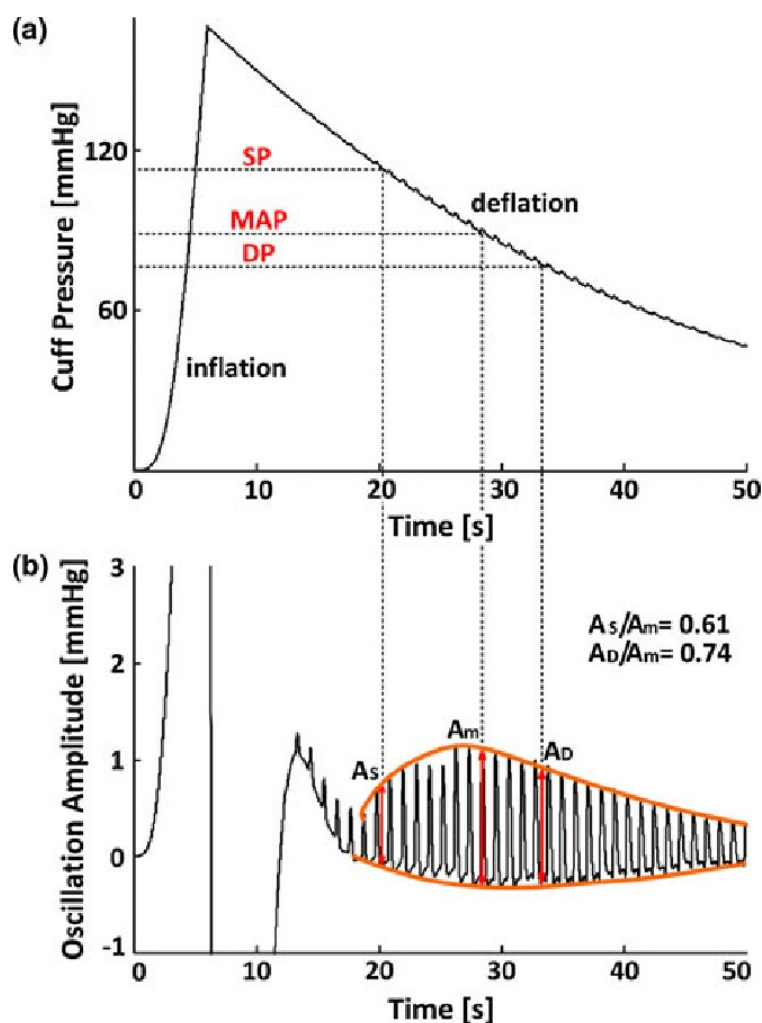


Figure 36 : L'oscilloscope mesure le maximum d'oscillations et l'appareil, à l'aide d'un ratio défini, défini électroniquement les pressions artérielles systolique et diastolique. [343]

La mesure de la pression artérielle au bras (manuelle ou automatique), ou au poignet a été très étudiée : taille du brassard, emplacements le long du bras... etc. Il s'agit d'une méthode fiable, mais qui sera éventuellement remplacée par des techniques moins contraignantes, plus rapides et moins sensibles à des détails d'exécution comme la présence ou non d'un vêtement [316].

En termes de technologie connectée, il existe des brassards automatiques connectés en Bluetooth, qui pourront renseigner la pression artérielle du patient (ainsi que l'heure de la mesure, la fréquence cardiaque mesurée) au sein d'une base de données locales ou dématérialisées (cloud). La place du brassard reste néanmoins celle d'une mesure étalon, permettant par exemple à l'algorithme d'une montre connectée de calculer la pression artérielle en continu à l'aide d'un capteur PPG.

Enfin, il est possible de combiner la technologie PPG et ECG, dans le but de calculer en temps réel la pression artérielle et les variations de cette dernière. C'est ce que propose BioBeat [337]–[339], entreprise commercialisant un dispositif constitué d'une montre connectée (PPG) et d'un patch à appliquer sur le thorax (ECG). La technologie employée pour mesurer la pression artérielle est la durée de transit des ondes de pulsation cardiaque, *pulse wave transit time* (PWTT) [340], c'est une technologie finalement assez ancienne (datant des années 1990), et reposant sur le principe qu'une artère sous pression conduit plus rapidement l'onde pulsatile émise par la contraction cardiaque (**Figure 37**). Le dispositif mesure un grand nombre de paramètres, mais est à destination des patients hospitalisés.

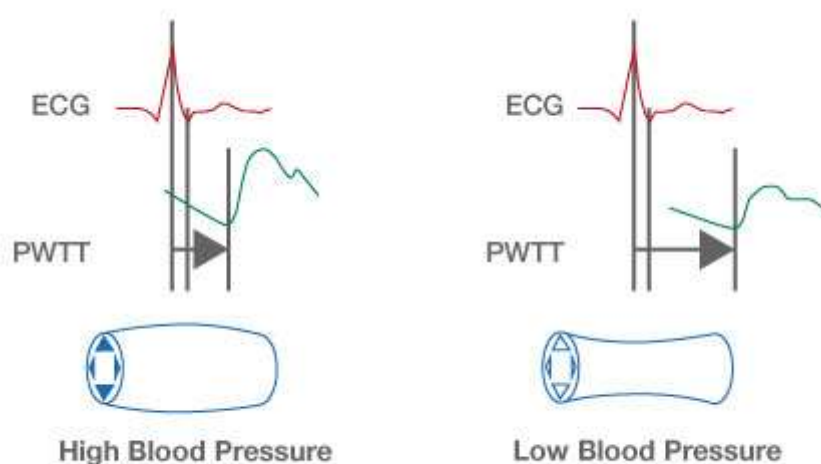


Figure 37 : A partir d'une mesure de l'ECG on en déduit quand le cœur se contracte et propulse le sang dans l'aorte ; en mesurant le passage du sang dans une artère périphérique (ce que fait un capteur PPG au niveau du poignet, par exemple) on connaît ainsi le PWTT ; puis par un jeu d'algorithme on peut extrapoler la mesure de la pression artérielle et surtout détecter, en temps réel, les variations de pression artérielle [340].

3.2.4. Enjeux de l'intelligence artificielle en cardiologie connectée

La cardiologie connectée est intrinsèquement liée au développement de l'intelligence artificielle et de toutes les technologies associées. Deux entreprises américaines partagent le leadership de l'innovation dans le domaine : Alivecor et Cardiogram [341]. Néanmoins beaucoup d'autres entreprises sont dans la course : Apple, Amazon, Google (ou plutôt sa holding Alphabet avec Verily, le programme « Santé connectée » de Google), Xiaomi (via sa filiale Huami), Samsung, Huawei, Cardiologs (une IA destiné aux hôpitaux) ...

En conclusion, l'intelligence artificielle est pour l'instant le principal vecteur d'amélioration de la cardiologie connectée, car on l'a vu, les technologies matérielles sont éprouvées et aujourd'hui disponibles à très bas coût, miniaturisées et fiables

3.3.Des innovations en cardiologie connectée

En dehors de l'IA, on peut citer ces études, qui sont de réelles innovations, éventuellement démocratisées dans les années à venir :

- ✓ L'utilisation de la mécano-cardiographie, c'est-à-dire de la cardiographie à l'aide d'accéléromètres et de gyroscopes (*composants aujourd'hui retrouvés dans tous les smartphones*), pour détecter de la fibrillation auriculaire : cela fonctionne expérimentalement [342].
- ✓ L'utilisation d'un smartphone ou d'un assistant connecté (Amazon Echo), en tant que microphone analysant la respiration du patient, pour détecter un éventuel arrêt cardiaque en sortie d'hôpital : cela fonctionne également [343]
- ✓ Enfin l'analyse de la voix afin de détecter des maladies coronariennes : cela semble fonctionner [344]

3.4.Présentation de produits et constructeurs phares en cardiologie connectée

Le marché de la cardiologie connectée est très vaste, en voici les principaux acteurs :

3.4.1. Apple

Inutile de présenter Apple, on peut cependant dire que de 2016 à fin 2019, Apple a été le constructeur majeur le plus investi dans la production de dispositifs connectés orientés cardiologie, avec un unique produit : l'Apple Watch [345], qui possède un capteur ECG en plus du capteur PPG, depuis la Serie 4 sortie en 2018.

Avec une position de leader incontestable sur le marché du *wearable*, c'est-à-dire de l'appareil connecté portable (montre, bracelet...), variant entre 25 et 40% de part de marché selon les analystes [346], Apple est en position de force pour devenir le fournisseur principal de dispositifs en cardiologie connectée. L'Apple Watch pourrait même être prochainement prise en charge par certaines assurances aux États-Unis [347] !

La société est également l'une des plus prolifiques en termes d'études et de financement d'études [348], [349]. Enfin, Apple pourrait bientôt développer des gammes de vêtements possédant des capteurs médicaux [350].

3.4.2. Alivecor

Entreprise pionnière dans le secteur, Alivecor est centrée exclusivement sur les technologies d'ECG connectées. Elle a développé seulement trois produits jusqu'à présent : KardiaMobile (*ECG à une dérivation transmettant par ultrasons ou Bluetooth les informations au smartphone du patient*), KardiaBand (*bracelet conférant à l'Apple Watch un capteur ECG, obsolète par conséquent à partir de la Serie 4*) et KardiaMobile 6L (*ECG à six dérivations*).

3.4.3. Fitbit

L'ancien numéro un du *wearable* a été racheté par Google en 2019 [351]. La société propose de nouveaux produits tous les ans, parfois orientés sport, parfois orientés pour un usage quotidien, tout en s'intéressant de plus en plus à la cardiologie médicale, comme le montre le récent partenariat avec Cardiogram [352]. L'acquisition par Google démontre bien le souhait de ce dernier de développer à l'avenir des dispositifs médicaux en cardiologie connectée grand public.

3.4.4. Huami

Huami [353] est une filiale de Xiaomi [354], géant chinois de l'électronique (*et bien au-delà, allant de la brosse à dent aux chaussures, en passant par les trottinettes et les lave-linges...*). Huami fabrique peu de gammes de produits, avec un souci d'une conception de qualité qui les distingue de leurs concurrents. De plus, bénéficiant d'une fabrication à faible coût, ses produits sont parmi les plus vendus dans le monde, après Apple et Huawei, mais avant Fitbit et bien d'autres.

Ainsi, à l'instar d'Apple, Huami propose une gamme de dispositifs connectés en santé très innovante. La firme a commercialisé une montre ECG [355] avant l'Apple Watch Serie 4, et a aujourd'hui développé une puce spécifique pour sa gamme de smartwatch avec capteur PPG, prénommée Bio Tracker [356].

Son dernier modèle couplant PPG et ECG [357], dispose d'une fonctionnalité très intéressante : l'application propose de détecter en amont des signes d'éventuels problèmes cardiaques (arythmies, fibrillation auriculaire...) puis d'envoyer, via un cloud sécurisé, les

relevés ECG à des cardiologues mandatés par la firme. Totalement gratuit, ce système devrait en inspirer d'autres et couple parfaitement l'outil à un dépistage médical des maladies cardiaques. Les études des solutions proposées par Huami manquent sur le bénéfice pour le patient, mais on peut s'enthousiasmer du partenariat signé avec AliveCor dans le but de commercialiser une smartwatch avec ECG courant 2020 [358].

3.4.5. Google

Tout le monde connaît Google. Il faut tout de même, afin d'appréhender la société et son versant e-santé, comprendre la structure de cette entreprise. Google ne développe presque aucune technologie de e-santé, pour le moment, en son nom propre. Pour cela, elle passe par son nouveau conglomerat, Alphabet Inc. [359], et plus précisément par sa filiale Verily Life Sciences [360]. Là où Apple se concentre sur des technologies informatiques, Google/Verily va finalement bien plus loin et développe aujourd'hui les médicaments de demain [361]. Dans le domaine précis de la cardiologie connectée, Google/Verily développe des technologies d'intelligence artificielle [362], s'intéressant à des outils pour étudier la santé du cœur, via un simple examen oculaire par exemple, ou encore une montre ECG destinée pour l'instant uniquement à la recherche [363] ...

En conclusion, Google est le « géant endormi » de la cardiologie connectée, *et plus globalement de la e-santé*, car l'entreprise n'a pour l'instant jamais commercialisé de montre connectée ou d'outils grand public (*hormis son application santé sur smartphone, assez sommaire*). Néanmoins entre le rachat de Fitbit, la proximité contractuelle entre le géant américain et Xiaomi, il semble probable que l'on voie apparaître très prochainement des gammes de produits e-santé portant la marque Google.

3.4.6. La cardiologie connectée à l'hôpital

Il existe par exemples des patchs ECG [364]–[366], des stéthoscopes connectés [367] et même des implants de surveillance cardiaque [368] !

3.5. Conclusion et apport pour les déserts médicaux

La cardiologie connectée apporte des solutions aux problèmes des déserts médicaux selon plusieurs aspects.

Tout d'abord, la cardiologie connectée est un moyen de télémonitoring, et peut donc se révéler pertinent voire essentiel dans le cadre d'une prise en charge d'un patient à distance. C'est un apport certain pour les déserts médicaux.

Ensuite, nous l'avons vu, la cardiologie connectée est le domaine de la e-santé le plus diffusé au sein de la population. C'est une chance pour les déserts médicaux, car cela permet à un large public d'avoir des outils performants de surveillance et de détection de

leur fonction cardiaque. Néanmoins cela peut-être un fardeau pour les personnes se refusant à utiliser les nouvelles technologies, car elles se verront opposer l'argument selon lequel la présence médicale dans un territoire est dispensable, de part ces technologies... Pourtant, on sait par exemple que l'utilisation personnelle d'un podomètre améliore la santé des individus [369].

Donc la démocratisation de la cardiologie connectée et de la e-santé au sein des habitudes de la population générale semble positive, même s'il ne faut pas s'en contenter.

Enfin, la cardiologie connectée apporte surtout un gain non négligeable : celui de l'accessibilité et de l'autonomie des technologies proposées. Dans une étude, réalisée en 2014 [282], mille patients ont pu bénéficier, au sein de leur pharmacie, d'un test de leur santé cardiaque. Très simple, ce test s'effectuait à l'aide d'un dispositif KardiaMobile de Alivecor, lors duquel le pharmacien mettait à disposition l'appareil et assistait le patient. A l'issue du test, l'application Kardia (*qui est dotée d'une intelligence*) donnait un avis sur la présence ou non de fibrillation auriculaire, en étant très sensible (98,5%) et spécifique (91,4%) statistiquement. Le pharmacien n'a pas vocation à analyser l'ECG, le programme informatique s'en charge. Par contre, dans une action de santé publique et de dépistage, il est amené à proposer à ses patients un test de dépistage, rapide et non intrusif. Peut-être est-ce la place du pharmacien dans la e-santé ? Celle du carrefour entre les nouvelles technologies médicales et les patients ?

En conclusion, aujourd'hui la cardiologie connectée n'est pas exploitée de manière à apporter des solutions aux problèmes des déserts médicaux. Mais il est évident que ce domaine va devenir de plus en plus important dans la vie des patients souffrant de pathologies cardiaques, et également dans la population générale. Le suivi en continu de la fonction cardiaque des individus va entraîner des changements dans leur prise en charge, qu'il n'est pas possible d'appréhender pour le moment. Changements d'ordre économique : les assurances en santé auront-elles accès à ces informations ? Changements d'ordre médical : les données recueillies vont modifier, avec l'intelligence artificielle et le *deep data*, la cardiologie moderne vers une précision et une précognition de l'évolution des pathologies cardiaques. Et changements d'ordre éthique : quels seront les impacts à moyen terme, d'une surveillance continue de la santé cardiaque des individus ?

Cet aspect éthique et philosophique est finalement le plus complexe à prévoir. Imaginons que toute la population soit dotée d'un capteur PPG. Si une personne âgée voit son cœur s'arrêter une nuit, de « mort naturelle » comme on peut encore aujourd'hui l'appeler, comment cela se passera-t-il ? Y aura-t-il systématiquement une intervention médicale afin de réanimer la personne ? La famille sera-t-elle systématiquement alertée par un message en direct ? La cardiologie connectée est intrinsèquement liée aux constructeurs et à leurs écosystèmes (*dans le sens informatique*) ; les étapes précédentes seront elles imprégnées de notions commerciales ou de marketing ? Toutes ces considérations dépassent la problématique de cette thèse, mais elles se poseront et devront être questionnées pour être en adéquation avec les valeurs sociétales.

4. ***D'autres axes d'innovation technologique en santé***

Durant les dernières années bien d'autres domaines physiopathologiques bénéficient d'innovation technologique notamment en *m-santé*. Nous allons donc citer quelques innovations intéressantes et allant dans le sens d'une autonomie accru du patient et d'une prise en charge à distance.

4.1. *La pneumologie connectée*

La pneumologie est un domaine qui concerne des millions d'individus, souffrant de pathologies aiguës ou chroniques, notamment l'asthme, la BPCO et l'insuffisance respiratoire. Les initiatives technologiques se distinguent en trois catégories.

- Les outils connectés destinés au diagnostic des pathologies aiguës, essentiellement des pathologies pédiatriques (otites, bronchites...). Encore rares, on peut noter l'utilisation de smartphone dans la détection de liquide dans l'oreille moyenne chez l'enfant, qui a démontré son fonctionnement [370]. L'ensemble des technologies mentionnées lors de la partie *Télémédecine* sont également applicables.
- Les applications connectées destinées à l'accompagnement des patients souffrant de pathologies chroniques. Accompagnement de la prise en charge de l'asthme [371] ; de la gestion des crises et des doses administrées ; amélioration de l'observance de prise des traitements ; système d'alerte SMS pour le risque d'allergies... Il existe d'innombrables applications pour smartphone de ce type, néanmoins comme évoqué dans la partie *Diabétologie connectée*, aucune certification qualité concernant ces produits n'existe.
- Les outils connectés destinés aux patients souffrant de pathologies respiratoires chroniques. Il en existe deux grands types. Le premier est déjà utilisé en France, il s'agit des assistances respiratoires pour les personnes souffrant d'apnée du sommeil : ces dispositifs étant coûteux, ils sont équipés d'une puce transmettant les données d'utilisation de l'appareil à la sécurité sociale. Si le patient n'est pas observant quant à l'utilisation de son appareil, il lui sera retiré ou plus remboursé. Le deuxième type d'outil sont les inhalateurs connectés. Peu utilisés en France, ils se fixent sur les médicaments inhalés et tracent les doses administrées [372]–[374]. Ils sont utilisés pour accompagner les populations pédiatriques dans leurs pathologies, ou surveiller l'observance de patients. Ces dispositifs sont particulièrement utiles pour écarter un souci d'observance chez un patient non stabilisé.

4.2. La psychiatrie connectée et la gestion de la douleur

La psychiatrie et la neurologie sont des domaines historiquement influencés par les évolutions technologiques, surtout en matière de communication, et les professionnels semblent être ouverts aux nouvelles technologies pour accompagner leurs patients.

La dépression

Il se développe des applications analysant la voix [375] ou les moteurs de recherche sur internet [376] pour dépister les signes de dépressions au sein des utilisateurs. Cela reste complexe à appréhender car ne reposant que sur des algorithmes assez simple (*rechercher une méthode pour se suicider sur Google mène à des numéros d'aides*), impossible d'analyser encore l'impact de tels ciblage. A côté de cela, il existe de nombreuses applications d'aide aux personnes dépressives [377], et une méta-analyse récente démontrerait un gain probable en terme d'amélioration de la condition des personnes utilisant ce type d'application [378].

La maladie de Parkinson

Il semblerait qu'un algorithme analysant la voix puisse détecter et apprécier la gravité de la maladie de Parkinson d'un individu [379].

Schizophrénie productive

Les jeux-vidéos seraient une voie d'éducation thérapeutique pour aider les personnes schizophrènes souffrant d'hallucinations. Dans cette étude [380], le jeu vidéo permet aux patients de bloquer leurs hallucinations. Le suivi et l'assistance des personnes souffrant de troubles psychiatriques sévères, comme la schizophrénie, semble pouvoir grandement bénéficier des nouvelles technologies. L'acte de consultation psychiatrique est souvent celui qui ressort comme étant le plus pertinent des actes de télémédecine.

Les douleurs chroniques

Certaines douleurs, neuropathiques ou faisant suites de problèmes médicaux incurables, sont inexorables. Afin de soulager les patients, plusieurs solutions sont employées. La première est l'usage d'antalgiques, notamment morphiniques ; il existe des applications assistant patients et médecins afin d'optimiser ce type de traitements médicamenteux à fort risque d'addiction [381]. Très efficace contre les douleurs neuropathiques, il existe également toutes les solutions d'électrostimulations, communément nommées *transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS)*. Ces appareils deviennent évidemment connectés aujourd'hui [382], et pas seulement dans leur utilisation par les sportifs (pour le renforcement musculaire) mais aussi dans le cadre médical.

Enfin, il existe des médecines douces, comme la sophrologie, le yoga, la méditation... et bien entendu il existe d'innombrables applications pour smartphone proposant ces informations et l'accompagnement du patient.

4.3. Les assistants connectés

Apparus avec Siri, d'Apple, en 2011, les assistants connectés sont des programmes informatiques comprenant des ordres à la voix et pouvant y répondre à l'aide d'une voix de synthèse. Aujourd'hui ils sont trois principaux assistants à se partager le marché : Siri, Alexa d'Amazon, Cortana de Microsoft et l'assistant Google.

Dans le domaine médical, ces assistants connectés nous intéressent sur deux pans. Le premier est celui concernant les particuliers : les assistants connectés grand public mentionnés précédemment sont en train de s'améliorer et de pouvoir répondre également à des questions médicales posées par leurs utilisateurs [383]. Le second est l'emploi d'assistants connectés par les médecins et personnels médicaux [384]–[386] : en allant au-delà des systèmes d'écriture de compte rendu à la voix (*comme aujourd'hui utilisé dans certains centres hospitaliers français*), l'assistant connecté « écoute » l'ensemble de la consultation, patient et médecin, et réalise dans un second temps le compte rendu par lui-même. Le médecin peut également utiliser l'assistant pour planifier rendez-vous et examens en effectuant une auscultation. Enfin, en chirurgie cela permet aux médecins de ne pas avoir à effectuer de manipulations avec leurs mains pour changer des paramètres d'imagerie en temps réelle, par exemple.

4.4. Un vécu médical transformé

De nouvelles technologies vont continuer d'apparaître dans l'objectif de modifier le vécu médical. La réalité virtuelle est un exemple probant des possibilités offertes par les nouvelles technologies : en offrant *virtuellement* un espace infini en terme de constructions visuelles et sonores, les médecins peuvent expérimenter des choses alors inimaginables. Utilisée dans divers domaines psychiatriques, dans la dépression, les troubles anxieux et la gestion de la douleur [387], on peut raisonnablement imaginer des applications dans la réadaptation de personnes ayant subis de graves accidents et fractures, voire permettre à des patients lourdement handicapés de vivre des expériences qu'ils leur seraient impossible de vivre *réellement*.

Au-delà du confort et des assistances diverses que fournissent ces nouvelles technologies, au-delà de la réduction à néant des distances, les nouvelles technologies pourraient permettre de soigner des pathologies encore incurables. Comme par exemple des outils de pointe destinés aux aveugles, leur permettant de voir à l'aide d'un logiciel qui leur dit exactement ce qu'il y a devant eux [388] ; ou le produit *e-sight* (**Figure 38**), qui, sous la forme d'une paire de lunettes futuristes redonnent la vue à des personnes aveugles ou ayant de graves problèmes de vue [389].



Figure 38 : E-sight propose une solution très coûteuse sensée permettre aux malvoyants de voir ce qui se situe devant eux à l'aide de hautes technologies. [389]

IV. La pénétration des nouvelles technologies : discussion sur les raisons de l'échec de l'e-santé en France

Après avoir énuméré certaines problématiques éthiques, d'ordre de sécurité et de qualité soulevées par les technologies connectées de la santé, nous discuterons du concept de pénétration technologique : terme issu de la fusion des principes de pénétration de marché et d'acceptation technologique.

Nous discuterons des rares données concernant la pénétration technologique en France. Enfin nous concluons sur l'échec de la e-santé en France, et sur le fait que les nouvelles technologies connectées de la santé ne permettent donc pas actuellement de répondre aux besoins liés aux déserts médicaux.

1. ***Ethique de la e-santé et des données qu'elle produit***

1.1. Ethique de la e-santé

La e-santé et l'ensemble de ses sous-domaines appellent à des enjeux éthiques majeurs. La médecine repose sur des concepts d'éthique encore discutés, développés et renouvelés aujourd'hui. Un exemple d'enjeux éthique récent en médecine est le droit à l'avortement, et la réalisation même de cet acte médical. S'il y a encore quelques décennies l'approche de la majorité des médecins à l'égard de cet acte était très négative, il en est aujourd'hui tout autre, du moins en France.

Avec l'arrivée de nouvelles technologies, qui transforment à différent degré la relation patient médecin, il convient de discuter « l'éthique de la télémédecine » [136].

L'éthique s'immiscera ainsi comme un questionnement sur des domaines de plus ou moindre importance : est-ce éthique de se reposer sur des logiciels informatiques en médecine ? L'éthique s'applique-t-elle également à ces algorithmes, ou sont-ils au contraire neutre ?

Enfin, il s'agira souvent, dans le domaine de la e-santé, d'une problématique d'éthique de la gestion des données personnelles. Car quand bien même le patient accepte d'utiliser des outils de e-santé, il ne sera pas systématiquement au courant des utilisations potentielles des données que ces technologies permettent de récolter, stocker et diffuser. Ces utilisations cachées pourront être dues à des failles dans la sécurité des produits, entraînant des fuites d'informations ; ou cela pourra être des conditions d'utilisation explicitement floues qui mèneraient le patient en erreur. Au-delà de ces considérations « d'anonymat » et de propriétés des données, c'est plus simplement l'utilisation de ces dernières comme conditions commerciales vis-à-vis du patient. Cela se fait déjà avec des

podomètres connectés qu'utilisent les mutuelles et assurances afin d'offrir à leurs clients des remises (s'ils marchent assez), ou au contraire des malus pour les plus sédentaires [390], [391]. Cette méthode très utilisée en Asie entraîne des tactiques de « triche » de par les utilisateurs ; l'enjeu éthique rejoint l'enjeu économique quand la santé est plus qu'une question de choix pour soi-même mais ayant aussi une répercussion économique immédiate.

Si cela peut paraître improbable en France, c'est pourtant le rôle des traceurs d'utilisation des assistants respiratoires dans l'apnée du sommeil ; et certaines mutuelles ont effectué des tests avec des podomètres ces dernières années.

1.1.1. Une médecine financiarisée

La e-santé s'inscrit dans le capitalisme financier, de la même manière que l'industrie pharmaceutique, la médecine de pointe ou les logiciels des métiers de santé. Les sommes d'argent nécessaires sont fournies par des fonds d'investissement à risque. Le processus d'apparition de nouvelles entreprises est calqué sur celui des nouvelles technologies et d'internet : d'innombrables *start-up* germent –notamment aux États-Unis–, proposent une idée, lèvent des fonds et développent un ou des produits à une échelle réduite. Si le produit est un succès, la *start-up* grandit ou alors est rachetée. Ce schéma est simpliste, bien que pensé par un pharmacien n'ayant aucune notion en finances, mais cela reflète assez bien le cycle des innovations que l'on peut retrouver dans la presse spécialisée.

Cet aspect financier va nous intéresser car il permet assez facilement de comprendre quel est le premier frein à l'adoption, en France, de produits pensés par des *start-ups* américaines. Le produit doit être rentable, et vendu à un prix élevé ; si le produit est particulièrement innovant alors ce prix sera d'autant plus élevé et la concurrence inexistante. Les produits de santé que se procurent les français, en grande majorité, sont les médicaments. Seulement, dans le système de couverture universelle dont nous disposons, les français ne peuvent absolument pas différencier un produit ancien, générique et souvent à bas coût, d'un produit innovant. Ainsi, si des produits non remboursés sont proposés, peu importe leur innovation et leur gain en terme de santé ou de confort, ils ne seront pas adoptés par les français.

Le capteur Freestyle Libre est un exemple probant : très innovant et pratique, il n'était initialement pas remboursé en France. Résultat : très peu d'appareils vendus, à une mince population de diabétique au courant de l'existence du produit et pouvant se le permettre financièrement. Depuis son remboursement, ce sont des dizaines de milliers de diabétiques qui en bénéficient et se félicitent de ce produit, mais cela grâce à la générosité du système français et de la prise en charge en Affection de Longue Durée (ALD)¹⁵.

Il est donc impossible de comparer une commercialisation en France à une commercialisation américaine.

¹⁵ A l'heure où sont écrites ces lignes, le capteur est vendu 37€ TTC pièce, soit un prix très compétitif au niveau international. Il est d'ailleurs courant d'observer des achats importants par des populations d'Europe de l'Est ou du Proche Orient, régions où le capteur coûte beaucoup plus cher.

1.1.2. Le marketing

La e-santé, en tant que nouvelles technologies, est aussi liée à des concepts de marketing. Il suffit de regarder n'importe quelle chaîne de télévision américaine pour voir de nouveau un frein majeur à l'adoption de ces nouvelles technologies en France : la publicité pour des médicaments et des dispositifs médicaux est omniprésente.

Le produit de santé est un bien de consommation comme un autre outre-Atlantique, et il s'agit donc d'expliquer les qualités de ce dernier. En France, la publicité autour du médicament et des produits de santé est très réglementé, et ne concerne qu'une infime minorité de produits (*les produits dits « over-the-counter » OTC*).

Or, lorsque l'on s'intéresse à la e-santé, les produits bénéficient de publicités et d'un marketing acharné. Il ne viendrait pas à l'esprit, en France, qu'une montre possédant des capacités de cardiologie connectée puisse aider à faire des économies ; or c'est le cas avec l'Apple Watch, si cette dernière peut indiquer des troubles cardiaques alors beaucoup d'américains y voient un objet potentiellement salvateur et qui pourrait prévenir d'une hospitalisation très coûteuse, et ce pour un prix moindre qu'un rendez-vous chez un cardiologue...

Au-delà des considérations marchandes, le marketing permet également une information généralisée et beaucoup plus rapide des patients et des acteurs de santé. En France, hormis les professionnels de santé qui s'y intéressent et les articles de quotidiens médicaux, l'information d'un nouveau produit mettra un certain temps à parvenir à l'ensemble des professionnels.

1.2. La certification et la qualification des produits de e-santé

Il est nécessaire de certifier et d'assurer la qualité des produits de e-santé, qu'ils soient immatériels (logiciels) ou matériels (dispositifs médicaux).

Aux États-Unis, c'est la Food and Drug Administration (FDA) et la Commission fédérale des communications (FCC) qui s'en charge. Le cahier des charges varie selon le type de produit.

En France, le marquage CE (conformité européenne) suffit pour une commercialisation [392], [393]. Pour un remboursement il faudra que le dispositif médical passe sous l'évaluation de la Commission nationale d'évaluation des dispositifs médicaux et des technologies de santé (CNEDIMTS) [394]. Le CNEDIMTS a récemment publié un guide pour l'évaluation des dispositifs médicaux connectés (DMC) [395]

Les dispositifs médicaux (DM) sont classés, de I à IV. Les DM non invasifs sont de classe I et leur marquage CE est une simple auto déclaration du fabricant. Cela limite donc

énormément les normes de qualité que l'on peut attendre d'une bonne partie des dispositifs connectés de la santé.

Deuxième point, le remboursement des dispositifs médicaux en France repose sur l'inscription à une liste : la liste des produits et prestations remboursables (LPPR). Sans rentrer dans des détails inutiles, le fonctionnement est le suivant : dépôt d'un dossier et de frais de dossier conséquent -2000 euros environ-, et alors deux situations sont possibles : soit le DM est nouveau et alors il va faire l'objet d'une analyse par la commission pour évaluer son intérêt et celui de son remboursement éventuel ; soit le DM s'inscrit dans une catégorie de la LPPR pré-existante et alors il bénéficiera du remboursement avec une analyse très concise voire inexistante. Cette facilité à inscrire et faire rembourser un DM, qui s'inspire du fonctionnement des autorisations de mise sur le marché (AMM) allégées pour médicaments génériques.

Enfin, il n'existe pour l'heure aucune certification nationale ou internationale pour les applications de santé. Seule l'OMS formule des recommandations (« *guidelines* ») concernant les applications et la gestion des données de santé.

En conclusion la certification des produits de santé est à l'heure actuelle très laxiste en ce qui concerne les produits non et les produits de santé immatériels. De plus, la certification des logiciels métiers en santé n'est plus obligatoire en France, et seul le marquage CE l'est à présent. Enfin, il n'y a pas pour le moment de certification et de régulation des algorithmes apprenant et autres intelligences artificielles.

2. Adopter les nouvelles technologies connectées de la santé

Afin d'aborder la problématique des difficultés d'implantation des nouvelles technologies dans le domaine de la santé, nous allons aborder un terme peu connu : la pénétration technologique, traduction littérale de l'expression anglaise *technology penetration* [396]. L'adoption de nouvelles technologies dans la pratique médicale courante est l'enjeu majeur qui peut permettre de répondre aux besoins des déserts médicaux.

2.1. Le taux de pénétration d'un marché

Le taux de pénétration d'un marché quantifie la pénétration d'un marché par un produit. C'est une mesure économique souvent utilisé par les industriels, notamment du secteur des nouvelles technologies. Il s'exprime en pourcentage et correspond à la demande actuelle du produit divisée par la demande potentielle du produit.

Concrètement, le taux de pénétration d'un marché peut être analysé de deux manières. La première consiste à départager deux fabricants A et B, en obtenant leurs parts de marché respectives sur un marché global. La deuxième, est de modéliser une demande potentielle

et d'analyser dans quelle proportion cette demande est comblée par le produit (*ou les produits, indifféremment du fabricant ou fournisseur*).

Un exemple : si l'on possédait des chiffres de demande et d'offre de solutions de téléconsultations au sein de la population française, on pourrait y appliquer les résultats des fournisseurs actuels et analyser si ces derniers conviennent aux besoins des français, calculant simplement leur pénétration du marché de la téléconsultation en France. Malheureusement, aucune étude de ce type n'a pour l'instant été réalisée en France.

2.2. Quelques facteurs reconnus influençant la pénétration technologique de produits de e-santé

Il existe de nombreux facteurs et caractéristiques des individus qui influencent l'acceptation technologique et la pénétration technologique des produits de e-santé. Les trois grandes catégories de facteurs sont les facteurs sociaux, les facteurs économiques et les facteurs culturels [397].

Parmi les facteurs sociaux, on peut évidemment citer le niveau socio-culturel nécessaire à l'individu pour avoir accès à la technologie, son niveau socio-économique jouera également. La pénétration d'un marché par un produit est dépendante de la vision sociale que l'on a de ce dernier : si la télémédecine semble être complexe et inaccessible de l'extérieur, pour des personnes âgées, leur acceptabilité de cette technologie diminuera d'autant.

Les facteurs culturels sont également limitant, et le modèle d'Hofstede permet aujourd'hui d'expliquer les différences d'adoption de certaines technologies à travers le monde en fonction des cultures [398].

Enfin, il est important de ne pas se restreindre à une analyse trop théorique de l'acceptation d'une technologie. On peut par exemple comparer ces deux études sur le même sujet : l'acceptation technologique du logiciel informatique hospitalier (EHR) [399], [400]. La première utilise le modèle d'acceptation technologique (TAM) [401] pour analyser l'acceptation du EHR, elle ne donne finalement pas beaucoup d'information sur les résultats et se contente d'une acceptation positive sur les différents éléments. Mais dans le détail, on ne peut pas se satisfaire qu'une « facilité d'utilisation perçue » à 48% permette une acceptabilité optimale de cette technologie. Pour l'autre étude, qui est une méta-analyse, elle met en exergue les points où les utilisateurs (les personnels soignants) ne sont pas satisfaits et cela permet une analyse plus constructive. Ces points sont les mêmes que ceux que nous avons mentionnés en conclusions de notre partie sur les télémedecines : problèmes techniques, ergonomie insuffisante ou inappropriée, manque d'interopérabilité, soucis de sécurité et de confidentialité, manque de formation ou de temps de familiarisation avec le logiciel, manque de motivation à l'utilisation...

2.3.La pénétration technologique

C'est en réalité l'analyse combinée des deux éléments : le taux de pénétration du marché d'une technologie et l'acceptation technologique de cette dernière ; le tout ayant pour objectif une analyse sociétale à plus grande échelle, de l'adoption d'une nouvelle technologie.

La pénétration technologique est le réel enjeu des NTICs et de la e-santé. Il est indispensable, dans le cas de la e-santé, de penser aux deux aspects précédemment mentionnés. D'une part le besoin doit être comblé par la technologie proposée. D'autre part, il est indispensable que les individus acceptent cette nouvelle technologie et donc il faut étudier en amont l'acceptabilité technologique potentielle, en utilisant les modèles disponibles et en en développant de nouveaux. La e-santé est un domaine unique dans le sens où il est composé de nouvelles technologies mais qu'il touche au domaine le plus important pour les populations : la santé. On ne peut pas traiter de la e-santé comme de la vente d'aspirateurs connectés.

C'est donc dans un souci de pénétration technologique réussie, que doivent être conçues et mises en place les technologies de e-santé. Développer une technologie de e-santé dans un but uniquement scientifique ou uniquement mercantiliste –ce qui est principalement le cas aujourd'hui, on ne peut pas le nier-, ne peut fonctionner au long terme. La technologie de e-santé doit amener à une modification de la norme. A terme, la e-santé pourrait entraîner une modification de la norme, au sens de Durkheim.

Selon Durkheim, les faits sociaux correspondent à un ensemble de normes sociales, c'est-à-dire des règles qu'il convient de suivre au sein d'un groupe social ou d'une société. Ces règles sont contraignantes et extérieures aux individus. On peut appliquer ces caractéristiques à la e-santé :

- Les normes sont des manières de faire susceptibles d'exercer sur l'individu une contrainte. Cette contrainte découle essentiellement de deux facteurs :
 - o Notion de sanction : le non-respect du fait-social entraîne une sanction sociale diffuse (réprobation...) ou organisée (institutionnelle, pénale...). **Dans le cas de la e-santé : parcours de soin, remboursement conditionné à l'utilisation des produits de e-santé comme la téléconsultation... et même des obligations morales ou sociétales**, comme ce qui ressort de cette étude sur l'utilisation d'un outil de télésanté en oncologie [402] : l'utilisation de la e-santé est perçue comme « être un bon patient » car celle-ci permet de faire gagner du temps aux personnels de santé débordés (dans l'étude il est mentionné les patients ayant l'impression d'être « de mauvais patients » à partir du moment où ils expriment des plaintes, que ce soit directement ou via l'outil de messagerie étudié).
 - o Conditions de réussite de l'action : le non-respect du fait-social empêche l'individu de réussir ce qu'il entreprend. **La e-santé n'est pas imposée mais uniquement proposée en supplément. Il n'est pas question que les patients ou les soignants refusant d'utiliser la e-santé soient moins bien soignés que ceux l'utilisant. Néanmoins, ce facteur entrerait en compte si la e-santé est généralisée : plus avancée et plus utilisée, elle permettrait d'améliorer la qualité des soins et de la médecine pourvus au-delà de la médecine classique** (c'est déjà ce que l'on peut observer avec l'utilisation d'intelligence artificielle lors de l'analyse d'imagerie médicale ou d'ECG, par exemple) **et ainsi s'imposerait car deviendrait nécessaire à la meilleure qualité de soin possible.**
- Les normes sont extérieures aux individus, *cette extériorité doit être comprise dans les deux sens suivants* :
 - o Dimension temporelle : la norme s'inscrit généralement dans une temporalité plus longue que la durée de la vie humaine, c'est le produit de plusieurs générations. Néanmoins, durant la fin du vingtième siècle et le début du vingt-et-unième, il a été observé plusieurs normes dérogeant à cette temporalité et s'installant beaucoup plus rapidement : internet, les smartphones... **Les technologies de la e-santé pourront peut-être s'inscrire dans une temporalité « ultra-rapide »** comme les nouvelles technologies précédemment citées, mais elles s'opposent à beaucoup plus de barrières (sujet sérieux de la santé, la complexité de la médecine...) et il est donc également possible que ces normes suivent une temporalité beaucoup plus longue –des décennies, mais finalement plus naturelle.
 - o Dimension géographique : c'est le cadre extérieur qui conditionne la plupart de nos comportements : la langue, les canaux de communications... **La e-santé obéit évidemment à cela, d'une part par l'acceptabilité culturelle qui**

variera selon les pays, et d'autre part une localisation (traduction) obligatoire des services.

Le développement de la e-santé pourrait être analogue à celui de l'usage de la pilule contraceptive. Ainsi il aura d'abord fallu des innovations technologiques : chimie, développement du médicament, industrialisation de la production, mise à disposition ; mais également un chemin d'évolution sociétales et culturelles amenant à la norme qui est aujourd'hui une prédominance majeure de l'utilisation par les femmes de la pilule contraceptive, entraînant une libération des mœurs en matière sexuelle.

L'ensemble des informations et des concepts que nous avons développés peut donc être schématisé simplement ainsi (**Figure 39**).

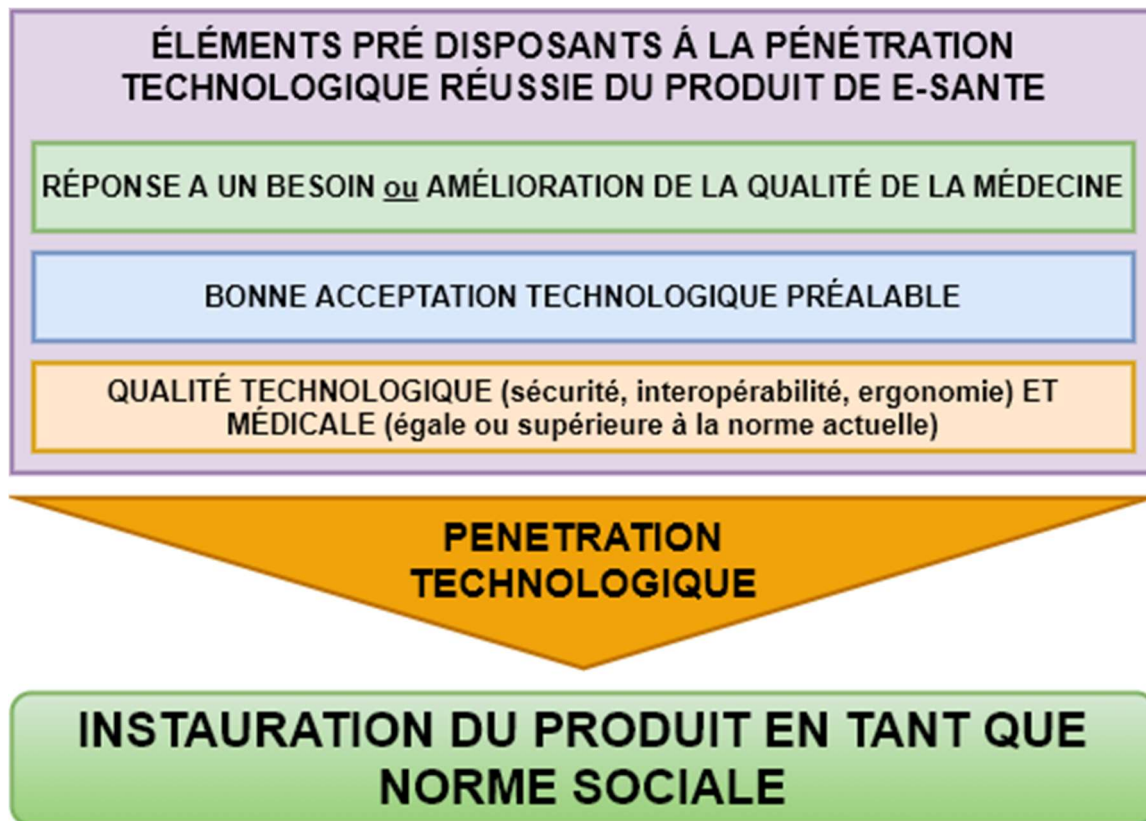


Figure 39 : Les éléments pré disposants à la pénétration technologique réussie du produit de e-santé sont simples.

L'instauration d'une nouvelle norme est une logique industrielle, financière et commerciale au long terme. Lors du développement d'internet, de l'informatique et des smartphones, la mise en place de ces technologies en tant que nouvelles normes ont toujours été un enjeu majeur. A partir du moment où une technologie devient une norme, les individus ne peuvent plus s'en passer et donc la viabilité économique du système est assurée.

3. La e-santé ne s'est pas encore imposée en France

La conclusion de cette thèse s'axe sur l'absence d'adoption réelle des technologies de e-santé en France pour le moment. Un échec sur plusieurs niveaux qui vient mettre en exergue un manque probant de réalisme des presses spécialisées et médicales.

3.1. Modérer l'enthousiasme entourant la e-santé

La e-santé, à l'échelle nationale, n'est encore qu'en phase d'installation en France. Si on peut dénombrer de très nombreux projets mis en place durant les quinze dernières années, force est de constater que la pratique médicale n'a que très peu évoluée durant ce laps de temps.

Au niveau hospitalier, la e-santé et notamment la télémédecine est installée de manière éparse, dans les services ayant montré un intérêt. Cela comprend notamment la télé-dialyse, la télécardiologie et certaines pratiques de téléconsultation de routine en gériatrie. On peut également mentionner une utilisation croissante de l'intelligence artificielle, notamment dans la recherche en imagerie. Néanmoins en terme quantitatif le nombre de consultations ou d'actes médicaux réellement concernés est dérisoire. De plus il ne s'agit pas de pratiques standardisées.

Il n'est pas possible de se dire, avec certitude, « *je vais réaliser une téléconsultation avec un cardiologue* », dans n'importe quel hôpital. La pratique n'est pas installée. Alors que par exemple, tous les hôpitaux réaliseront une radio en cas de fracture, ou soigneront une infection avec les antibiotiques qui sont donnés dans les recommandations.

Au niveau de la médecine de ville le constat est plus mitigé. Hormis de très rares initiatives locales, l'usage de la e-santé et de la télémédecine est nul. Seul réel outil utilisé par presque tous les pharmaciens, le Dossier Pharmaceutique. En réalité l'un des seuls outils de e-santé entré dans un usage professionnel de routine au niveau national.

Aujourd'hui, en France, la télémédecine est de fait exposé principalement par des acteurs privés : e-santé en cardiologie (essentiellement à destination des sportifs) et des entreprises proposant des téléconsultations rapides... Ces outils et technologies, en plus de ne pas avoir l'aval des médecins français sont pour la quasi-totalité destinés à des populations jeunes et non malades. Or, la population consommatrice de soins en France est une population âgée, répartie sur l'ensemble du territoire.

On peut être ouvertement critique envers un optimisme irréaliste des presses spécialisées et des presses médicales ou encore de certains discours politiques. Si la e-santé est effectivement un secteur en développement, il n'y a pour l'instant pas d'implantation sensible dans la médecine française. Les technologies existent, et elles sont devenues la norme aux Etats-Unis et dans une certaine mesure au Canada, mais pas en France.

3.2. Un échec pluridimensionnel

3.2.1. Une pénétration technologique insuffisante au sein de la population générale pour soutenir une généralisation du fonctionnement de e-santé ?

La e-santé repose sur des technologies récentes et nouvelles. Même si la population française, notamment jeune, baigne dans la haute technologie, on peut se poser la question : est-ce que cela est suffisant pour permettre une installation généralisée de la e-santé en France ?

Car, même si le taux d'équipement est très élevé en France en ce qui concerne internet ou la téléphonie mobile [403], il reste des paradoxes majeurs : un très faible taux de « dématérialisation » de certaines pratiques communes (banque en ligne [404], mais aussi télévision [405]) et un taux élevé d'illectronisme (entraînant notamment une incapacité de procéder à certaines démarches via internet, comme payer ses impôts ou rechercher un emploi) [406]. Ces deux éléments poussent à réfléchir sur la « maturité » de la population française pour aller plus loin et adopter les technologies de e-santé dans leur quotidien. Notamment en ce qui concerne les populations âgées.

3.2.2. Le manque d'ergonomie et d'interopérabilité des systèmes développés à l'heure actuelle

L'ergonomie dans son ensemble, concernant les logiciels et les systèmes de e-santé français, est en proie à un rejet d'une partie des utilisateurs. L'interopérabilité entre les logiciels et notamment, les outils produisant des données (un scanner, un tensiomètre...) et ceux les réceptionnant (le DMP, les dossiers patients, les messageries sécurisées...) est insuffisante. Sois il y a trop d'acteurs et donc de logiciels, sois ils ne respectent pas suffisamment (et surtout n'y sont pas forcés) les normes d'interopérabilité. Ce soucis d'interopérabilité intensifie l'apparition de projets localisés à une structure hospitalière, non exportables dans d'autres établissements. Cette démarche de « création systématique » d'un outil par structure est très coûteuse et dénote d'une mauvaise optimisation au niveau nationale.

3.2.3. Des personnels soignants non sensibilisés aux nouvelles technologies

Les personnels soignants, qu'il s'agisse de médecins, de pharmaciens ou d'infirmiers, n'ont que très peu d'approches des technologies connectées de la santé dans leurs cursus. En pharmacie, et en médecine avec les logiciels d'aides à la prescription, il n'y a pas de modules dédiés ne serait-ce qu'aux logiciels de gestion officinale. Ainsi les nouveaux diplômés s'adaptent toujours sur le terrain aux nouveaux outils qui leur sont fournis sans savoirs préalables, même basiques, les concernant. Il en va de même pour les nouveaux outils connectés dont la notion n'est pas abordée en cours.

Ce manque de sensibilisation aux nouvelles technologies lors du cursus universitaire a pour effet, souvent, de laisser les jeunes professionnels de santé se former par eux-mêmes afin de les intégrer dans leur pratique.

3.3. Les évolutions qui pourrait être à adopter pour réussir le tournant de la e-santé

Un certain nombre d'évolutions pourraient être mise en place pour une réelle intégration des nouvelles technologies dans la santé en tant que norme.

L'élément premier est de parvenir à insérer la technologie comme pratique de la médecine (ou de la pharmacie), et cela ne peut passer que par son intégration dans les cursus universitaires. De nouvelles formes de médecine (télémédecine) et de prise en charge émergent et afin de les appréhender au mieux, indépendamment des considérations marketing et d'avoir un recul suffisant, il est indispensable que les professionnels de santé de demain aient des notions d'algorithmique, mais aussi dans le fonctionnement des technologies qu'ils utilisent au quotidien, qu'il s'agisse d'un tensiomètre électronique ou d'un logiciel.

Le deuxième élément est d'obliger les entreprises à adopter des standards d'interopérabilité. Sans une obligation, les lois de la concurrence pousseront toujours les sociétés à rendre l'accès et le transfert des données produites par leurs technologies le plus complexe et fastidieux possible.

Enfin, il s'agira de mettre en place une réelle politique de e-santé en France, qui ne passe pas uniquement par l'allocation de financement à des projets privés, mais bien par une diffusion large de protocoles soutenus par des acteurs publics. L'exemple type d'une technologie qui a fonctionné de ce type est le Dossier Pharmaceutique, très largement adopté et répandu dans toutes les pharmacies de France.

3.4. Les nouvelles technologies connectées de la santé ne sont pas la solution aux problématiques des déserts médicaux, pour le moment

Pour le moment, les nouvelles technologies connectées de la santé ne sont pas la solution aux problématiques des déserts médicaux. L'implantation de ces dernières est insuffisante et reste marginale, et l'adoption de ces nouvelles technologies par les praticiens et les patients n'en est qu'à ses balbutiements.

Néanmoins, de nombreuses techniques de télémédecine sont possibles, et à l'aide de technologies miniaturisées toujours plus intelligentes et accessibles dans de grands domaines de la médecine : cardiologie, diabétologie, pneumologie..., les technologies connectées de la santé pourraient être une solution aux problématiques des déserts médicaux à l'avenir. Les technologies connectées de la santé suppriment certaines problématiques telles que la répartition dans l'espace des professionnels de santé, avec le transfert instantané d'informations permettant une mise en relation presque aussi qualitative qu'un contact réel. Elles allongent le temps possible entre les consultations de suivi, avec des dispositifs de télémonitoring permettant un suivi sécurisé à distance de nombreuses pathologies chroniques.

En revanche des domaines resteront par contre impossible à dématérialiser : tous les examens et actes nécessitant une opération physique (les consultations gynécologiques, les soins dentaires, la kinésithérapie, les soins infirmiers...).

Bibliographie

- [1] "The Qualcomm Tricorder X Prize has its winner, but work on tricorders will continue | MobiHealthNews." <https://www.mobihealthnews.com/content/qualcomm-tricorder-x-prize-has-its-winner-work-tricorders-will-continue> (accessed Oct. 18, 2019).
- [2] N. Verger and I. Lefebvre-Hoang, "Déserts médicaux : comment les définir ? Comment les mesurer ?," *Les Dossiers la DREES*, vol. 17, no. MAI, pp. 1–62, 2017.
- [3] "Comparaisons internationales des médecins ▣ 41." Accessed: Sep. 20, 2018. [Online]. Available: <https://drees.solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/fiche41.pdf>.
- [4] "Comment la protection sociale est-elle organisée en France ? - Les régimes de sécurité sociale Découverte des institutions - Repères - Vie-publique.fr," 2018, Accessed: Oct. 02, 2018. [Online]. Available: <http://www.vie-publique.fr/decouverte-institutions/finances-publiques/protection-sociale/definition/comment-protection-sociale-est-elle-organisee-france.html>.
- [5] "Mutuelle santé d'entreprise obligatoire : les règles légales." <https://droit-finances.commentcamarche.com/faq/44252-mutuelle-sante-d-entreprise-obligatoire-les-regles-legales#reforme> (accessed Jan. 16, 2019).
- [6] "Physician Education, Licensure, and Certification," *Ama-assn.org*, Accessed: Sep. 20, 2018. [Online]. Available: <http://www.ama-assn.org/aps/physcred.html#educ>.
- [7] "Statistics & Facts on U.S. Physicians/Doctors | Statista." <https://www.statista.com/topics/1244/physicians/> (accessed Sep. 20, 2018).
- [8] "When it comes to health care, which country does it best? - CNN." <https://edition.cnn.com/2017/03/17/health/health-care-global-uk-national-health-system-eprise/index.html> (accessed Jun. 18, 2018).
- [9] B. Starfield, *Primary care: balancing health needs, services, and technology*. Oxford University Press, 1998.
- [10] B. Starfield, "Is US Health Really the Best in the World?" Accessed: Sep. 20, 2018. [Online]. Available: <http://www.who.int/whr/2000/en/>.
- [11] "L'« exceptionnel » système de santé américain | Cairn.info." <https://www.cairn.info/revue-actes-de-la-recherche-en-sciences-sociales-2001-4-page-13.htm#> (accessed Nov. 12, 2019).
- [12] N. Fullman *et al.*, "Measuring performance on the Healthcare Access and Quality Index for 195 countries and territories and selected subnational locations: A systematic analysis from the Global Burden of Disease Study 2016," *Lancet*, vol. 391, no. 10136, pp. 2236–2271, Jun. 2018, doi: 10.1016/S0140-6736(18)30994-2.
- [13] "Medical errors third-leading cause of death in America." <https://www.cnn.com/2018/02/22/medical-errors-third-leading-cause-of-death-in-america.html> (accessed Dec. 16, 2019).
- [14] I. of M. (US) C. on Q. of H. C. in America, L. T. Kohn, J. M. Corrigan, and M. S. Donaldson, "Errors in Health Care: A Leading Cause of Death and Injury," 2000.
- [15] "Assurance santé aux Etats-Unis : comment ça marche ? | Le Courrier de Floride." <http://courrierdefloride.com/2018/03/01/assurance-sante-aux-etats-unis-ca-marche/> (accessed Jul. 31, 2018).
- [16] "Assurance santé aux Etats-Unis : tout comprendre du système d'assurance maladie américain | Le Courrier de Floride." <http://courrierdefloride.com/2017/05/02/assurance-sante-aux-etats-unis-tout-comprendre-et-tout-savoir/> (accessed Jan. 10, 2019).
- [17] "What does provider side and payer side mean in US healthcare? - Quora." <https://www.quora.com/What-does-provider-side-and-payer-side-mean-in-US-healthcare> (accessed Oct. 09, 2019).
- [18] "Canada: International Health Care System Profiles." <https://international.commonwealthfund.org/countries/canada/> (accessed Jan. 23, 2019).
- [19] "Prescription drug insurance coverage - Canada.ca." <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/health-care-system/pharmaceuticals/access-insurance-coverage-prescription-medicines.html> (accessed Jul. 10, 2019).

- [20] "US vs Canadian Healthcare: What Are the Differences? | AIMS Education." <https://www.aimseducation.edu/blog/us-vs-canadian-healthcare-differences/> (accessed Jan. 23, 2019).
- [21] "Rural Arizona's Doctor Shortage A Symptom Of 'Forgotten America': Shots - Health News: NPR." <https://www.npr.org/sections/health-shots/2017/07/14/535792864/doctor-shortage-in-rural-arizona-sparks-another-crisis-in-forgotten-america> (accessed Jun. 18, 2018).
- [22] "What is Shortage Designation? | Bureau of Health Workforce." <https://bhw.hrsa.gov/shortage-designation/what-is-shortage-designation> (accessed Jun. 18, 2018).
- [23] P. R. Alaska, "Health Professional Shortage Areas (HPSA) -Primary Care," Accessed: Jun. 18, 2018. [Online]. Available: <https://datawarehouse.hrsa.gov/tools/mapgallery.aspx>.
- [24] "Health Professional Shortage Area (HPSA) Application and Scoring Process | Bureau of Health Workforce." <https://bhw.hrsa.gov/shortage-designation/hpsa-process> (accessed Jun. 18, 2018).
- [25] "Types of Designations | Bureau of Health Workforce." <https://bhw.hrsa.gov/shortage-designation/types> (accessed Dec. 16, 2019).
- [26] N. Islam, "The dilemma of physician shortage and international recruitment in Canada," *Int. J. Heal. policy Manag.*, vol. 3, no. 1, pp. 29–32, Jun. 2014, doi: 10.15171/ijhpm.2014.53.
- [27] G. Dussault and M. C. Franceschini, "Not enough there, too many here: understanding geographical imbalances in the distribution of the health workforce," *Hum. Resour. Health*, vol. 4, no. 1, p. 12, Dec. 2006, doi: 10.1186/1478-4491-4-12.
- [28] P. Berlier, M. Fabbian, and C. Petel, "ETUDE DE LA FEMINISATION DE LA PROFESSION MEDICALE ET DE SON IMPACT APPROCHE QUANTITATIVE ET QUALITATIVE Enquête auprès des médecins en exercice Une étude de l'Union Régionale des Médecins Libéraux de Rhône-Alpes conduite dans le cadre de la Commission Démographie Comité de Pilotage: Patrick ROMESTAING, Président de la Commission Démographie Frappe du rapport Logistique de l'enquête postale."
- [29] "When the doctor is far away, here's how the distance can shrink - The Washington Post." https://www.washingtonpost.com/national/health-science/when-the-doctor-is-far-away-heres-how-the-distance-can-shrink/2015/11/23/37c9df72-817b-11e5-9afb-0c971f713d0c_story.html?noredirect=on&utm_term=.558851a094ac (accessed Jun. 18, 2018).
- [30] P. Simon, *Télé médecine: Enjeux et pratiques*. 2015.
- [31] B. Salgues, *L'e-santé et la télé médecine*. 2013.
- [32] A. Venot, *Informatique médicale, e-santé*. 2013.
- [33] R. Beuscart, E. Chazard, G. Ficheur, and S. Pelayo, "Télé médecine et e-santé," *Inform. Santé*, no. 20, pp. 125–134, 2017.
- [34] "[Jacob Gershon-Cohen] - Digital Collections - National Library of Medicine." <https://collections.nlm.nih.gov/catalog/nlm:nlmuid-101415961-img> (accessed Oct. 02, 2019).
- [35] *A Century of Telemedicine: Curatio Sine Distantia et Tempora*.
- [36] Y. Smith, "A Brief History of NASA's Contributions to Telemedicine," 2013, Accessed: Oct. 02, 2019. [Online]. Available: <https://www.nasa.gov/content/a-brief-history-of-nasa-s-contributions-to-telemedicine/>.
- [37] "NASA Telemedicine Kit | Download Scientific Diagram." https://www.researchgate.net/figure/NASA-Telemedicine-Kit_fig2_2563565 (accessed Oct. 02, 2019).
- [38] "LSDA Hardware - Telemedicine Instrumentation Pack (TIP)." <https://lsda.jsc.nasa.gov/Hardware/hardw/1166> (accessed Oct. 02, 2019).
- [39] "How Telemedicine Is Changing Health Care | Healthcare of Tomorrow | US News." <https://health.usnews.com/health-news/hospital-of-tomorrow/articles/2014/10/07/how-telemedicine-is-changing-health-care> (accessed Jun. 18, 2018).
- [40] "Doctoring From a Distance | Healthcare of Tomorrow | US News." <https://health.usnews.com/health-news/hospital-of-tomorrow/articles/2015/09/09/doctoring-from-a-distance#close-modal> (accessed Jun. 18, 2018).

- [41] "{CHRONIC} Act, which expands Medicare coverage for telemedicine, passes in Senate." Accessed: Oct. 21, 2017. [Online]. Available: <http://www.mobihealthnews.com/content/chronic-act-which-expands-medicare-coverage-telemedicine-passes-senate>.
- [42] O. G. Hatch, "S.870 - 115th Congress (2017-2018): Creating High-Quality Results and Outcomes Necessary to Improve Chronic (CHRONIC) Care Act of 2017," 2017, Accessed: Oct. 09, 2019. [Online]. Available: <https://www.congress.gov/bill/115th-congress/senate-bill/870/>.
- [43] "Report: Nearly every state has updated its telehealth legislation since last year." Accessed: Oct. 21, 2017. [Online]. Available: <http://www.mobihealthnews.com/content/report-nearly-every-state-has-updated-its-telehealth-legislation-last-year>.
- [44] "In-depth: Who owns telemedicine delivery — payers or providers? | MobiHealthNews." <http://www.mobihealthnews.com/content/depth-who-owns-telemedicine-delivery---payers-or-providers> (accessed Mar. 24, 2018).
- [45] "The ABCs of Telemedicine." <https://www.medscape.com/viewarticle/886086> (accessed Jun. 09, 2018).
- [46] "Telehealth Rule Forces Providers to Re-Think Care Management, Facility Plans - ERDMAN." <https://www.erdman.com/telehealth-rules-impact-care-management-and-facility-plans/> (accessed Sep. 21, 2020).
- [47] C. Courmont, "Pharmacie 3.0 : « L'ère connectée au service de notre métier. », " Université Lille 2 - Faculté de Pharmacie, 2016.
- [48] P. Costa Loureiro, "Télésanté, télémedecine en pharmacie et télépharmacie: les nouvelles technologies de l'information et de la communication au service de la santé," Université de Bordeaux, UFR des Sciences Pharmaceutiques, 2016.
- [49] "Efficience de la télémedecine: état des lieux de la littérature internationale et cadre d'évaluation RAPPORT D'ÉVALUATION MEDICO-ÉCONOMIQUE," 2013.
- [50] "Accueil | Catel." <https://catel-esante.fr/> (accessed Oct. 05, 2019).
- [51] "La Société Française de Télémedecine: qui sont-ils? - Télémedecine - site de la Société Française de Télémedecine." <https://www.sf-telemed.org/qui-sommes-nous.html> (accessed Oct. 07, 2019).
- [52] "Télémedecine." <http://www.eurtelemed.fr/presentationSociety> (accessed Oct. 07, 2019).
- [53] "Présentation du DIU – DIU Télémedecine." <http://www.diu-telemedecine.fr/presentation-diu/> (accessed Oct. 07, 2019).
- [54] "SYMPAD, l'outil de suivi des patients pour les pharmaciens." <https://web.archive.org/web/20190115074853/http://www.sympad.info/> (accessed Oct. 07, 2019).
- [55] "SYMPAD - Medicen." <http://www.medicen.org/projets-finances/sympad/> (accessed Oct. 07, 2019).
- [56] "Success stories: SYMPAD à l'université d'été de la e-santé." <https://www.medecindirect.fr/sympad-success-universite-ete-2015/> (accessed Oct. 07, 2019).
- [57] "MédecinDirect - Un médecin à vos côtés, où que vous soyez." <https://www.medecindirect.fr/> (accessed Oct. 07, 2019).
- [58] "Télémedecine | Télémedinov la Télémedecine Interopérable en France." <https://telemedinov.fr/> (accessed Oct. 07, 2019).
- [59] M. Rioli, "Le Pharmacien d'Officine dans le Parcours de Soins." Accessed: Oct. 07, 2019. [Online]. Available: http://www.apima.org/img_bronner/Rapport_Rioli.pdf.
- [60] "Le Concours Médical." <http://www.concoursmedical.fr/initiatives/1710-telemedinov-la-telemedecine-en-direct-de-lofficine> (accessed Oct. 07, 2019).
- [61] "Télémedinov valorise la télémedecine en Vendée." <https://www.dsih.fr/article/421/telemedinov-valorise-la-telemedecine-en-vendee.html> (accessed Oct. 07, 2019).
- [62] Syntec Numérique and siapartners, "Lois et plans d'actions pluriannuels en santé Quels enseignements tirer des expériences internationales?," 2018. Accessed: Oct. 09, 2019. [Online]. Available: https://syntec-numerique.fr/sites/default/files/Documents/2018_Etude_Syntec_numerique_SIA_Partners_lois_et_plans_daction_en_sante.pdf.
- [63] "ÉTAPES: Expérimentations de Télémedecine pour l'Amélioration des Parcours En

- Santé - Ministère des Solidarités et de la Santé." <https://solidarites-sante.gouv.fr/soins-et-maladies/prises-en-charge-specialisees/telemedecine/article/etapes-experimentations-de-telemedecine-pour-lamelioration-des-parcours-en> (accessed Oct. 09, 2019).
- [64] "N° 313 - Avis de M. Éric Alauzet sur le projet de loi de financement de la sécurité sociale pour 2018 (n°269)." http://www.assemblee-nationale.fr/15/rapports/r0313.asp#P191_15988 (accessed Oct. 02, 2018).
- [65] Cour des comptes and Sécurité sociale, "Chapitre VII : La télémédecine : une stratégie cohérente à mettre en oeuvre," 2017. Accessed: Oct. 09, 2019. [Online]. Available: <https://www.ccomptes.fr/sites/default/files/2017-09/20170920-rapport-securite-sociale-2017-telemedecine.pdf>.
- [66] "Code de la santé publique - Article L6316-1 | Legifrance." <https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?cidTexte=LEGITEXT000006072665&idArticle=LEGIARTI000020891327&dateTexte=&categorieLien=cid> (accessed Oct. 17, 2019).
- [67] "LOI n° 2009-879 du 21 juillet 2009 portant réforme de l'hôpital et relative aux patients, à la santé et aux territoires | Legifrance." <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000020879475&dateTexte=20191017> (accessed Oct. 18, 2019).
- [68] "LOI n° 2002-303 du 4 mars 2002 relative aux droits des malades et à la qualité du système de santé | Legifrance." <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000227015&categorieLien=id> (accessed Oct. 17, 2019).
- [69] "Décret n° 2006-6 du 4 janvier 2006 relatif à l'hébergement de données de santé à caractère personnel et modifiant le code de la santé publique (dispositions réglementaires) | Legifrance." <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000264665&categorieLien=id> (accessed Oct. 17, 2019).
- [70] "Loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés | Legifrance." https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?sessionId=B8121E998D202A5E98A86876E03A0AF0.tplgfr43s_1?cidTexte=LEGITEXT000006068624&dateTexte=20200101 (accessed Oct. 17, 2019).
- [71] "Décret n° 2019-536 du 29 mai 2019 pris pour l'application de la loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés | Legifrance." https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?sessionId=FF4DD6554F8E7A5883BC85DE8F9608E3.tplgfr43s_1?cidTexte=JORFTEXT000038528420&dateTexte=&oldAction=rechJO&categorieLien=id&idJO=JORFCONT000038528273 (accessed Oct. 17, 2019).
- [72] "La loi « Informatique et Libertés » | CNIL." <https://www.cnil.fr/fr/la-loi-informatique-et-libertes> (accessed Oct. 17, 2019).
- [73] "Le règlement général sur la protection des données - RGPD | CNIL." <https://www.cnil.fr/fr/reglement-europeen-protection-donnees> (accessed Oct. 17, 2019).
- [74] "Code de la santé publique - Article L1110-4 | Legifrance." <https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000036515027&cidTexte=LEGITEXT000006072665&dateTexte=20191017> (accessed Oct. 17, 2019).
- [75] E. Chapel et al., *La révolution du pilotage des données de santé : Enjeux juridiques, éthiques et managériaux*. LEH Edition, 2019.
- [76] "LOI n° 2017-1836 du 30 décembre 2017 de financement de la sécurité sociale pour 2018 - Article 54 | Legifrance." https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexteArticle.do?sessionId=2ABED39E309F98104D67116E43F9EE11.tplgfr22s_1?idArticle=JORFARTI000036339175&cidTexte=JORFTEXT000036339090&dateTexte=29990101&categorieLien=id (accessed Oct. 23, 2019).
- [77] "Décret n° 2010-1229 du 19 octobre 2010 relatif à la télémédecine | Legifrance." <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000022932449&categorieLien=id> (accessed Oct. 23, 2019).
- [78] "Décret n° 2018-788 du 13 septembre 2018 relatif aux modalités de mise en œuvre des activités de télémédecine | Legifrance." <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000037399738&c>

- ategieLien=id (accessed Oct. 23, 2019).
- [79] D. de and information légale, "Décrets, arrêtés, circulaires TEXTES GÉNÉRAUX Arrêté du 1^{er} août 2018 portant approbation de l'avenant n° 6 à la convention nationale organisant les rapports entre les médecins libéraux et l'assurance maladie signée le 25 août 2016."
- [80] "La convention et ses avenants | ameli.fr | Médecin." <https://www.ameli.fr/indre-et-loire/medecin/textes-reference/convention-medicale-2016/convention-et-avenants> (accessed Oct. 23, 2019).
- [81] "CONVENTION NATIONALE ORGANISANT LES RAPPORTS ENTRE LES MEDECINS LIBERAUX ET L'ASSURANCE MALADIE SIGNEE LE 25 AOUT 2016 (Consolidée Février 2019)." https://www.ameli.fr/sites/default/files/Documents/375829/document/convention_medicale_cnam_version_consolidee_fevrier_2019.pdf (accessed Oct. 23, 2019).
- [82] "Arrêté du 1^{er} août 2018 portant approbation de l'avenant n° 6 à la convention nationale organisant les rapports entre les médecins libéraux et l'assurance maladie signée le 25 août 2016 | Legifrance." <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000037306389> (accessed Oct. 23, 2019).
- [83] "LR-DDGOS-73-2018."
- [84] "La téléconsultation - Ministère des Solidarités et de la Santé." <https://solidarites-sante.gouv.fr/soins-et-maladies/prises-en-charge-specialisees/telemedecine/article/la-teleconsultation> (accessed Oct. 23, 2019).
- [85] "Fiche Mémo-Qualité et sécurité des actes de téléconsultation et de téléexpertise | 1 Qualité et sécurité des actes de téléconsultation et de téléexpertise Fiche Mémo," 2018.
- [86] "Qualité et sécurité des actes de téléconsultation et de téléexpertise Guide de bonnes pratiques Guide HAS AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ ET DE LA SÉCURITÉ DES SOINS," 2019. Accessed: Oct. 23, 2019. [Online]. Available: www.has-sante.fr.
- [87] "Arrêté du 2 septembre 2019 portant approbation de l'avenant n° 15 à la convention nationale du 4 mai 2012, organisant les rapports entre les pharmaciens titulaires d'officine et l'assurance maladie | Legifrance." <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000039050631&categorieLien=id> (accessed Oct. 23, 2019).
- [88] "Arrêté du 11 octobre 2018 portant cahiers des charges des expérimentations relatives à la prise en charge par télésurveillance mises en œuvre sur le fondement de l'article 54 de la loi n° 2017-1836 de financement de la sécurité sociale pour 2018 | Legifrance." <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2018/10/11/SSAH1827742A/jo/texte> (accessed Oct. 23, 2019).
- [89] "Les dérives commerciales de plateformes de téléconsultation suscitent l'indignation des médecins | What's Up Doc." <https://www.whatsupdoc-lemag.fr/article/les-derives-commerciales-de-plateformes-de-teleconsultation-suscitent-lindignation-des> (accessed Oct. 23, 2019).
- [90] A. Boulouin and R. Boufillon, "Doctolib : 'Nous ne sommes qu'au début d'une histoire...,'" *Tech. Hosp.*, vol. Septembre-, no. 772, pp. 43–45, 2018.
- [91] "Téléconsultation médicale : optimisez votre temps médical." <https://info.doctolib.fr/teleconsultation.html> (accessed Oct. 23, 2019).
- [92] "Qare - Consultez un médecin généraliste ou spécialiste en vidéo 7 jours / 7." <https://www.qare.fr/> (accessed Oct. 23, 2019).
- [93] "Télémédecine: le Cnom épingle la plateforme de télésanté Qare pour sa campagne publicitaire." <https://www.ticsante.com/story/4283/telemedecine-le-cnom-epingle-la-plateforme-de-telesante-qare-pour-sa-campagne-publicitaire.html> (accessed Oct. 05, 2019).
- [94] "Leah - Je suis Patient." <https://www.leah.care/je-suis-patient.php> (accessed Oct. 28, 2019).
- [95] "Mike Meimoun, 21 ans, président de la startup Urgence Docteurs | What's Up Doc." <https://www.whatsupdoc-lemag.fr/article/mike-meimoun-21-ans-president-de-la-startup-urgence-docteurs> (accessed Oct. 28, 2019).
- [96] "Urgence Docteurs." <https://urgencedocteurs.com/fr/> (accessed Oct. 28, 2019).
- [97] "Hellocare Patient | Hellocare." https://hellocare.com/je-suis-patient/?__hstc=171150271.86c77349fd344aa39365d738f1906ab0.1571838560859.157

- 1838560859.1571838560859.1&__hssc=171150271.1.1571838560859&__hsfp=1869770181 (accessed Oct. 28, 2019).
- [98] "Centre Hospitalier Régional Universitaire de Tours - Offre en Télémédecine." <https://www.chu-tours.fr/loffre-en-telemedecine/> (accessed Oct. 28, 2019).
- [99] "Faute de médecin, une pharmacienne de Fleury installe des cabines de téléconsultation | What's Up Doc." <https://www.whatsupdoc-lemag.fr/article/faute-de-medecin-une-pharmacienne-de-fleury-installe-des-cabines-de-teleconsultation> (accessed Oct. 28, 2019).
- [100] "Bientôt de la télémédecine en pharmacie? - La pharmacie digitale." <https://lapharmaciedigitale.com/telemedecine-en-pharmacie/> (accessed Oct. 28, 2019).
- [101] "La télémédecine, un chantier de longue haleine pour la pharmacie." https://www.lequotidiendupharmacien.fr/gestion-et-marketing/article/2017/06/22/la-telemedecine-un-chantier-de-longue-haleine-pour-la-pharmacie_267015?dossier=267384&utm_source=facebook_qph&utm_medium=social&utm_campaign=fb_qph_20170825_1 (accessed Oct. 28, 2019).
- [102] "«C'est comme un petit cabinet de médecin!» : un pharmacien raconte la télémédecine dans son officine | Le Quotidien du médecin." <https://www.lequotidiendumedecin.fr/actus-medicales/esante/cest-comme-un-petit-cabinet-de-medecin-un-pharmacien-raconte-la-telemedecine-dans-son-officine> (accessed Oct. 28, 2019).
- [103] "Un service de télémédecine dans des officines pour le repérage des cancers cutanés." <https://www.ticpharma.com/story.php?story=624> (accessed Jun. 16, 2018).
- [104] "Premier anniversaire du remboursement de la téléconsultation."
- [105] "Santé: lentement mais sûrement, la téléconsultation s'installe dans nos habitudes." <https://www.franceinter.fr/societe/sante-lentement-mais-surement-la-teleconsultation-s-installe-dans-nos-habitudes> (accessed Sep. 21, 2020).
- [106] "Annexe 10 FICHES D'ÉVALUATION PREALABLE DES ARTICLES DU PROJET DE LOI PLFSS 2018." <http://www.assemblee-nationale.fr/15/pdf/projets/pl0269-ei.pdf> (accessed Oct. 30, 2019).
- [107] "Préconisations e-santé 2014 - Livre Blanc," 2014. Accessed: Oct. 07, 2019. [Online]. Available: <https://catel-esante.fr/wp-content/uploads/2018/10/livre-blanc-esante-catel-VF.pdf>.
- [108] Ministère des Affaires sociales et de la Santé, "Stratégie nationale e-santé 2020," 2016. Accessed: Oct. 07, 2019. [Online]. Available: https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/strategie_e-sante_2020.pdf.
- [109] Autorité de la concurrence, "Avis n° 19-A-08 du 4 avril 2019 relatif aux secteurs de la distribution du médicament en ville et de la biologie médicale privée," 2019. Accessed: Oct. 07, 2019. [Online]. Available: <http://www.autoritedelaconcurrence.fr/pdf/avis/19a08.pdf>.
- [110] P. Simon, "La télémédecine expliquée par le Dr Pierre Simon," *Tech. Hosp.*, vol. Septembre-, no. 772, pp. 71-72, 2018.
- [111] "L'informatisation des établissements de santé progresse lentement mais sûrement (Atlas des SIH)." [https://www.ticsante.com/l-informatisation-des-etablissements-de-sante-progresse-lentement-mais-surement-\(Atlas-des-SIH\)-NS_3525.html](https://www.ticsante.com/l-informatisation-des-etablissements-de-sante-progresse-lentement-mais-surement-(Atlas-des-SIH)-NS_3525.html) (accessed Oct. 29, 2019).
- [112] "Le numérique en santé - Partager l'état des lieux des SIH en France et les déterminants de son usage - 1. Contexte - Une politique visant au développement des systèmes." <http://numerique.anap.fr/publication/402-partager-des-reperes-sur-l-etat-des-lieux-des-sih-en-france-et-les-determinants-de-son-usage-dans-les-etablissements-de-sante/337-contexte-une-politique-visant-au-developpement-des-systemes> (accessed Oct. 29, 2019).
- [113] C. des comptes, "Chapitre VIII La modernisation des systèmes d'information hospitaliers: une contribution à l'efficacité du système de soins à renforcer," 2016. Accessed: Oct. 29, 2019. [Online]. Available: www.ccomptes.fr.
- [114] "Fighting physician burnout: How tech can undo the damage done by EHRs | Healthcare IT News." https://www.healthcareitnews.com/news/fighting-physician-burnout-how-tech-can-undo-damage-done-by-ehrs?mkt_tok=eyJpIjoiTWpGaFpXUTFaREJpTVRVMylsInQiOiRZStzR3VzTWFFFWXNiZ

- U10SjRCQ1RJQkY0TGY2bINLTG43eXczNU1hbW4rOHpyRkZKKzA1S0RaeG16OHpzK3
ZhcEhGbU95cm5GTjFzNWNWbWdBQzFYNWxiSFFDT0NJeEIPSEloSHIPQ2plcjdT3Zy
RFhLNzA5R1BwUmNXcTBEUyJ9 (accessed Oct. 29, 2019).
- [115] "Prescriptions informatisées : d'où viennent les erreurs ? - Fédération Hospitalière de France (FHF)." <https://www.fhf.fr/Offre-de-soins-Qualite/GDR-infections-associees-aux-soins/Prescriptions-informatisees-d-ou-viennent-les-erreurs> (accessed Oct. 29, 2019).
- [116] R. Fourgon, C. Vicrey, B. Blanchon, S. Vassort, and C. Blum-Boisgard, "Qualité rédactionnelle de la prescription médicamenteuse hospitalière," *Presse Med.*, vol. 34, no. 3, pp. 203–207, Feb. 2005, doi: 10.1016/s0755-4982(05)88248-x.
- [117] F. Michot, B. Launois, D. Bertrand, J. Bringer, L. Degos, and J.-P. Olie, "Rapport version 19_02_2019."
- [118] Bergman-, "Améliorer la qualité du système de santé et maîtriser les dépenses," 2018.
- [119] "Prescription électronique – tout savoir sur la PEM2D - Pharmagest." <https://pharmagest.com/prescription-electronique-savoir-pem2d/> (accessed Apr. 14, 2018).
- [120] "Téléservice PEM2D Expérimentation- Prescription électronique de médicaments."
- [121] "La prescription de la CNAM - mc²i Groupe: Conseil en transformation numérique." <http://www.mc2i.fr/La-prescription-de-la-CNAM> (accessed Oct. 29, 2019).
- [122] "Communiqué de presse du 18/03/18 | Syndicat de l'Union française pour une médecine libre." <https://www.ufml-syndicat.org/communique-de-presse-du-18-03-18/> (accessed Oct. 29, 2019).
- [123] "Standardised telemedicine for disease management | Insights." <https://web.archive.org/web/20180313065717/www.himssinsights.eu/standardised-telemedicine-disease-management> (accessed Oct. 30, 2019).
- [124] "Index - FHIR v4.0.0." <https://www.hl7.org/fhir/> (accessed Oct. 30, 2019).
- [125] "Hébergeurs de données de santé: ce qu'il faut retenir du passage à la certification." <https://www.ticpharma.com/story.php?story=531> (accessed Mar. 07, 2018).
- [126] "Liste des hébergeurs certifiés | esante.gouv.fr." <https://esante.gouv.fr/labels-certifications/hds/liste-des-herbergeurs-certifies> (accessed Oct. 30, 2019).
- [127] "Liste des hébergeurs agréés | esante.gouv.fr." <https://esante.gouv.fr/labels-certifications/hds/liste-des-herbergeurs-agrees> (accessed Oct. 30, 2019).
- [128] "Information Security Report Confidential patient data freely accessible on the internet Cyber Resilience Report." Accessed: Oct. 22, 2019. [Online]. Available: www.greenbone.net.
- [129] "L'ANSM ouvre une consultation publique sur la cybersécurité des dispositifs médicaux." <https://www.ticpharma.com/story.php?story=1027> (accessed Oct. 22, 2019).
- [130] "Bringing Blockchain Technology to Telemedicine - PikcioChain - Medium." <https://medium.com/pikciochain/bringing-blockchain-technology-to-telemedicine-4090d283922b> (accessed Oct. 30, 2019).
- [131] "How blockchain can protect telemedicine programs | Healthcare IT News." https://www.healthcareitnews.com/news/how-blockchain-can-protect-telemedicine-programs?mkt_tok=eyJpIjoiWmpKa05UWTBNamxrTW1WbCIsInQiOiJwSXlpS0JcL0V0K25EaVgycWRmeURHckY3SU54RDfGd2FzNHQ3V3hWbG1lVlJHa2oyNIJFSVJFVzN2UTlU1BIXC83Qlo0NGU1VDZ0TEFCdEs0Wnl1U09ZcVZUSXR5QytySEtHc0pSRjJIWXdzSUpic0xJN1NldHF5dGhOOOWQxK0kxln0%3D (accessed Oct. 22, 2019).
- [132] "Could Blockchain Be The Answer To Healthcare? - Blockgeeks." <https://blockgeeks.com/could-blockchain-be-the-answer-to-healthcare/> (accessed Oct. 30, 2019).
- [133] "Malware, hacking pose a threat to device safety | MobiHealthNews." <https://www.mobihealthnews.com/news/malware-hacking-pose-threat-device-safety> (accessed Oct. 30, 2019).
- [134] "Connected health devices pose increasing cyber threats, experts warn | British Journal of Healthcare Computing." <http://www.bj-hc.co.uk/connected-health-devices-pose-increasing-cyber-threats-experts-warn> (accessed Mar. 24, 2018).
- [135] K. Kidholm *et al.*, "A model for assessment of telemedicine applications: mast.," *Int. J. Technol. Assess. Health Care*, vol. 28, no. 1, pp. 44–51, Jan. 2012, doi: 10.1017/S0266462311000638.
- [136] P. Bardy, *L'humain à l'épreuve de la télémedecine: pour une éthique du télésoin*

- sensible à la personne. iSTE editions, 2019.
- [137] "Réalité augmentée — Wikipédia." https://fr.wikipedia.org/wiki/Réalité_augmentée (accessed Nov. 04, 2019).
 - [138] "Réalité virtuelle — Wikipédia." https://fr.wikipedia.org/wiki/Réalité_virtuelle (accessed Nov. 04, 2019).
 - [139] "First Friday: Ready Player One - Saint Louis Science Center." <https://www.slsc.org/event/first-friday-ready-player-one/> (accessed Nov. 06, 2019).
 - [140] "Pokémon Go a changé la réalité augmentée à tout jamais - CNET France." <https://www.cnetfrance.fr/news/pokemon-go-a-change-la-realite-augmentee-a-tout-jamais-39854920.htm> (accessed Nov. 06, 2019).
 - [141] B. Dougherty and S. M. Badawy, "Using Google Glass in Nonsurgical Medical Settings: Systematic Review," *JMIR mHealth uHealth*, vol. 5, no. 10, p. e159, Oct. 2017, doi: 10.2196/mhealth.8671.
 - [142] B. W. Munzer, M. M. Khan, B. Shipman, and P. Mahajan, "Augmented reality in emergency medicine: A scoping review," *Journal of Medical Internet Research*, vol. 21, no. 4. Journal of Medical Internet Research, Apr. 01, 2019, doi: 10.2196/12368.
 - [143] "Augmedix, Pristine: Glass in healthcare is stronger than ever." Accessed: Oct. 21, 2017. [Online]. Available: <http://www.mobihealthnews.com/39915/augmedix-pristine-glass-in-healthcare-is-stronger-than-ever>.
 - [144] "Augmedix | Remote Documentation Services." <https://augmedix.com/> (accessed Nov. 04, 2019).
 - [145] "Dignity Health using Google Glass to improve clinical efficiency." Accessed: Oct. 20, 2017. [Online]. Available: <http://www.mobihealthnews.com/content/dignity-health-using-google-glass-improve-clinical-efficiency>.
 - [146] "How does Google glass work? (Infographic)." <https://www.varifocals.net/google-glass/> (accessed Nov. 05, 2019).
 - [147] Z. W. Yuan *et al.*, "Mobile Stroke: An Experience of Intravenous Thrombolysis Guided by Teleconsultation Based on Google Glass," *CNS Neuroscience and Therapeutics*, vol. 21, no. 7. Blackwell Publishing Ltd, pp. 607–609, Jul. 01, 2015, doi: 10.1111/cns.12413.
 - [148] M. C. McCullough, L. Kulber, P. Sammons, P. Santos, and D. A. Kulber, "Google glass for remote surgical tele-proctoring in low- And middle-income countries: A feasibility study from Mozambique," *Plast. Reconstr. Surg. - Glob. Open*, vol. 6, no. 12, 2018, doi: 10.1097/GOX.0000000000001999.
 - [149] D. Wall, W. Ray, R. D. Pathak, and S. M. Lin, "A Google Glass Application to Support Shoppers With Dietary Management of Diabetes," *J. Diabetes Sci. Technol.*, vol. 8, no. 6, pp. 1245–1246, Nov. 2014, doi: 10.1177/1932296814543288.
 - [150] "Google Glass gets a surprise upgrade and new frames - CNET." <https://www.cnet.com/news/google-glass-enterprise-edition-2-gets-surprise-upgrade-and-new-frames/> (accessed Nov. 05, 2019).
 - [151] "Microsoft HoloLens | Mixed Reality Technology for Business." <https://www.microsoft.com/en-us/hololens> (accessed Nov. 05, 2019).
 - [152] S. Wang *et al.*, "Augmented reality as a telemedicine platform for remote procedural training," *Sensors (Switzerland)*, vol. 17, no. 10, Oct. 2017, doi: 10.3390/s17102294.
 - [153] "[ORTHOPÉDIE] – Implantation d’une prothèse totale d’épaule: une première utilisation européenne d’un casque de réalité mixte au CHRU de Tours - CHRU de Tours." https://www.chu-tours.fr/le-chru-et-ses-partenaires/publications-et-presse/communiqués-de-presse/orthopedie-implantation-dune-prothese-totale-depaule-une-premiere-utilisation-europeenne-dun-casque-de-realite-mixte-au-chru-de-tours/?fbclid=IwAR3Yc6EKUVRgW44cyPDof3h65y1Hx4WE_r4h0poAMbfaLTrhqqHxGH0Xjw (accessed Jul. 26, 2020).
 - [154] "Apple's Augmented Reality Glasses could come in 2020 | Digital Trends." <https://www.digitaltrends.com/computing/apple-augmented-reality-glasses-could-come-in-200/> (accessed Nov. 05, 2019).
 - [155] "Vuzix | Vuzix is a Leading Developer of Smart and Augmented Reality Glasses." <https://www.vuzix.com/> (accessed Nov. 06, 2019).
 - [156] "(6) Hodei Technology : À propos | LinkedIn." <https://www.linkedin.com/company/hodeitechnology/about/> (accessed Nov. 04, 2019).
 - [157] "Home - Hodei Technology." <https://hodeitech.com/> (accessed Nov. 06, 2019).

- [158] "Products - Hodei Technology." <https://hodeitech.com/products/#gemini> (accessed Nov. 06, 2019).
- [159] "Google Glass Isn't Just for Remote Scribes." <https://www.hcinnovationgroup.com/population-health-management/telehealth/blog/13029054/google-glass-isnt-just-for-remote-scribes> (accessed Nov. 04, 2019).
- [160] "Google Glass Reduces Workloads & Deliver First-Person Telehealth." <https://healthtechmagazine.net/article/2017/09/google-glass-cuts-workloads-and-delivers-better-patient-care> (accessed Nov. 04, 2019).
- [161] "Hodei Technology helps hospitals use Google Glass for surgical collaboration; rural telemedicine | MobiHealthNews." <https://www.mobihealthnews.com/content/hodei-technology-helps-hospitals-use-google-glass-surgical-collaboration-rural-telemedicine> (accessed Nov. 06, 2019).
- [162] F. Fatehi, N. R. Armfield, M. Dimitrijevic, and L. C. Gray, "Technical aspects of clinical videoconferencing: a large scale review of the literature," *J. Telemed. Telecare*, vol. 21, no. 3, pp. 160–166, Apr. 2015, doi: 10.1177/1357633X15571999.
- [163] I. De La Torre-Diéz, M. López-Coronado, C. Vaca, J. S. Aguado, and C. De Castro, "Cost-utility and cost-effectiveness studies of telemedicine, electronic, and mobile health systems in the literature: A systematic review," *Telemedicine and e-Health*, vol. 21, no. 2, Mary Ann Liebert Inc., pp. 81–85, Feb. 01, 2015, doi: 10.1089/tmj.2014.0053.
- [164] R. L. Bashshur, J. D. Howell, E. A. Krupinski, K. M. Harms, N. Bashshur, and C. R. Doarn, "The Empirical Foundations of Telemedicine Interventions in Primary Care," *Telemed. e-Health*, vol. 22, no. 5, pp. 342–375, May 2016, doi: 10.1089/tmj.2016.0045.
- [165] L. O. Nielsen *et al.*, "Telemedicine in Greenland: Citizens' Perspectives," *Telemed. e-Health*, vol. 23, no. 5, pp. 441–447, May 2017, doi: 10.1089/tmj.2016.0134.
- [166] "Patient Perceptions of Telehealth Primary Care Video Visits." <https://www.medscape.com/viewarticle/880242> (accessed Jun. 17, 2018).
- [167] Z. Agha, R. M. Schapira, P. W. Laud, G. McNutt, and D. L. Roter, "Patient satisfaction with physician-patient communication during telemedicine," *Telemed. e-Health*, vol. 15, no. 9, pp. 830–839, Nov. 2009, doi: 10.1089/tmj.2009.0030.
- [168] S. M. Albert, G. J. Shevchik, S. Paone, and G. D. Martich, "Internet-Based Medical Visit and Diagnosis for Common Medical Problems: Experience of First User Cohort," *Telemed. e-Health*, vol. 17, no. 4, pp. 304–308, May 2011, doi: 10.1089/tmj.2010.0156.
- [169] M. R. Gardner, S. M. Jenkins, D. A. O'Neil, D. L. Wood, B. R. Spurrier, and S. Pruthi, "Perceptions of Video-Based Appointments from the Patient's Home: A Patient Survey," *Telemed. e-Health*, vol. 21, no. 4, pp. 281–285, Apr. 2015, doi: 10.1089/tmj.2014.0037.
- [170] K. Bates, M. L. Antheunis, S. Kanters, T. E. Nieboer, and M. B. E. Gerritse, "The Effect of Screen-to-Screen Versus Face-to-Face consultation on doctor-patient communication: An experimental study with simulated patients," *J. Med. Internet Res.*, vol. 19, no. 12, Dec. 2017, doi: 10.2196/jmir.8033.
- [171] M. A. Iseli, R. Kunz, and E. Blozik, "Instruments to assess patient satisfaction after teleconsultation and triage: A systematic review," *Patient Prefer. Adherence*, vol. 8, pp. 893–960, Jun. 2014, doi: 10.2147/PPA.S56160.
- [172] "98point6 pulls in \$19.5M for chat-only telemedicine platform." Accessed: Oct. 21, 2017. [Online]. Available: <http://www.mobihealthnews.com/content/98point6-pulls-195m-chat-only-telemedicine-platform>.
- [173] H. Bavafa, L. M. Hitt, and C. Terwiesch, "Patient Portals in Primary Care: Impacts on Patient Health and Physician Productivity," *SSRN Electron. J.*, Dec. 2013, doi: 10.2139/ssrn.2363705.
- [174] A. Jetty, M. A. Moore, M. Coffman, S. Petterson, and A. Bazemore, "Rural Family Physicians Are Twice as Likely to Use Telehealth as Urban Family Physicians," *Telemed. e-Health*, vol. 24, no. 4, pp. 268–276, Apr. 2018, doi: 10.1089/tmj.2017.0161.
- [175] V. R. A. Call *et al.*, "Attitudes Toward Telemedicine in Urban, Rural, and Highly Rural Communities," *Telemed. e-Health*, vol. 21, no. 8, pp. 644–651, Aug. 2015, doi: 10.1089/tmj.2014.0125.
- [176] "Telehealth Is Improving Health Care in Rural Areas." <https://hbr.org/2019/05/telehealth-is-improving-health-care-in-rural-areas> (accessed Nov. 24, 2019).
- [177] S. P. West, C. Laguna, P. M. Trief, R. Izquierdo, and R. S. Weinstock, "Goal Setting Using

- Telemedicine in Rural Underserved Older Adults with Diabetes: Experiences from the Informatics for Diabetes Education and Telemedicine Project," *Telemed. e-Health*, vol. 16, no. 4, pp. 405–416, May 2010, doi: 10.1089/tmj.2009.0136.
- [178] L. Uscher-Pines, A. Mulcahy, D. Cowling, G. Hunter, R. Burns, and A. Mehrotra, "Access and Quality of Care in Direct-to-Consumer Telemedicine," *Telemed. e-Health*, vol. 22, no. 4, pp. 282–287, Apr. 2016, doi: 10.1089/tmj.2015.0079.
- [179] S. D. Ronis, K. M. McConnochie, H. Wang, and N. E. Wood, "Urban Telemedicine Enables Equity in Access to Acute Illness Care," *Telemed. e-Health*, vol. 23, no. 2, pp. 105–112, Feb. 2017, doi: 10.1089/tmj.2016.0098.
- [180] M. Ohta *et al.*, "How Accurate Are First Visit Diagnoses Using Synchronous Video Visits with Physicians?," *Telemed. e-Health*, vol. 23, no. 2, pp. 119–129, Feb. 2017, doi: 10.1089/tmj.2015.0245.
- [181] B. Noah *et al.*, "Impact of remote patient monitoring on clinical outcomes: an updated meta-analysis of randomized controlled trials," *npj Digit. Med.*, vol. 1, no. 1, Dec. 2018, doi: 10.1038/s41746-017-0002-4.
- [182] D. Halpren-Ruder, A. M. Chang, J. E. Hollander, and A. Shah, "Quality Assurance in Telehealth: Adherence to Evidence-Based Indicators," *Telemed. e-Health*, vol. 25, no. 7, pp. 599–603, Jul. 2019, doi: 10.1089/tmj.2018.0149.
- [183] R. L. Bashshur *et al.*, "The Empirical Foundations of Telemedicine Interventions for Chronic Disease Management," *Telemed. e-Health*, vol. 20, no. 9, pp. 769–800, Sep. 2014, doi: 10.1089/tmj.2014.9981.
- [184] K. M. Kew and C. J. Cates, "Remote versus face-to-face check-ups for asthma," *Cochrane Database of Systematic Reviews*, vol. 2016, no. 4. John Wiley and Sons Ltd, Apr. 18, 2016, doi: 10.1002/14651858.CD011715.pub2.
- [185] "Safety of Medical Abortion Provided Through Telemedicine Com...: Obstetrics & Gynecology." Accessed: Oct. 15, 2017. [Online]. Available: http://journals.lww.com/greenjournal/Citation/2017/10000/Safety_of_Medical_Abortion_Provided_Through.16.aspx.
- [186] M. Mäkinen, P. Rautava, J. Forsström, and M. Äärimaa, "Electronic Prescriptions Are Slowly Spreading in the European Union," *Telemed. e-Health*, vol. 17, no. 3, pp. 217–222, Apr. 2011, doi: 10.1089/tmj.2010.0111.
- [187] J. S. Hargreaves, "Will Electronic Personal Health Records Benefit Providers and Patients in Rural America?," *Telemed. e-Health*, vol. 16, no. 2, pp. 167–176, Mar. 2010, doi: 10.1089/tmj.2009.0063.
- [188] K. N. Ray, Z. Shi, C. A. Gidengil, S. J. Poon, L. Uscher-Pines, and A. Mehrotra, "Antibiotic Prescribing During Pediatric Direct-to-Consumer Telemedicine Visits," *Pediatrics*, vol. 143, no. 5, p. e20182491, May 2019, doi: 10.1542/PEDS.2018-2491.
- [189] C. B. Davis *et al.*, "Antibiotic Prescribing Patterns for Sinusitis Within a Direct-to-Consumer Virtual Urgent Care," *Telemed. e-Health*, vol. 25, no. 6, pp. 519–522, Jun. 2019, doi: 10.1089/tmj.2018.0100.
- [190] J. Sankaranarayanan, L. J. Murante, and L. M. Moffett, "A Retrospective Evaluation of Remote Pharmacist Interventions in a Telepharmacy Service Model Using a Conceptual Framework," *Telemed. e-Health*, vol. 20, no. 10, pp. 893–901, Oct. 2014, doi: 10.1089/tmj.2013.0362.
- [191] S. L. Cole, J. H. Grubbs, C. Din, and T. S. Nesbitt, "Rural Inpatient Telepharmacy Consultation Demonstration for After-Hours Medication Review," *Telemed. e-Health*, vol. 18, no. 7, pp. 530–537, Sep. 2012, doi: 10.1089/tmj.2011.0222.
- [192] H. N. Young, S. N. Havican, S. Griesbach, J. M. Thorpe, B. A. Chewning, and C. A. Sorkness, "Patient And pharmacist Telephonic Encounters (PARTE) in an Underserved Rural Patient Population with Asthma: Results of a Pilot Study," *Telemed. e-Health*, vol. 18, no. 6, pp. 427–433, Jul. 2012, doi: 10.1089/tmj.2011.0194.
- [193] R. L. Bashshur, E. A. Krupinski, R. S. Weinstein, M. R. Dunn, and N. Bashshur, "The Empirical Foundations of Telepathology: Evidence of Feasibility and Intermediate Effects," *Telemed. e-Health*, vol. 23, no. 3, pp. 155–191, Mar. 2017, doi: 10.1089/tmj.2016.0278.
- [194] G. Pare, J. Meyer, M.-C. Trudel, and B. Tetu, "Impacts of a Large Decentralized Telepathology Network in Canada," *Telemed. e-Health*, vol. 22, no. 3, pp. 246–250, Mar. 2016, doi: 10.1089/tmj.2015.0083.
- [195] R. J. Salgia, P. B. Mullan, H. McCurdy, A. Sales, R. H. Moseley, and G. L. Su, "The Educational Impact of the Specialty Care Access Network—Extension of Community

- Healthcare Outcomes Program," *Telemed. e-Health*, vol. 20, no. 11, pp. 1004–1008, Nov. 2014, doi: 10.1089/tmj.2013.0302.
- [196] C. Liddy, I. Moroz, A. Mihan, N. Nawar, and E. Keely, "A Systematic Review of Asynchronous, Provider-to-Provider, Electronic Consultation Services to Improve Access to Specialty Care Available Worldwide," *Telemed. e-Health*, vol. 25, no. 3, pp. 184–198, Mar. 2019, doi: 10.1089/tmj.2018.0005.
- [197] E. Keely, C. Liddy, and A. Afkham, "Utilization, benefits, and impact of an e-consultation service across diverse specialties and primary care providers," *Telemed. e-Health*, vol. 19, no. 10, pp. 733–738, Oct. 2013, doi: 10.1089/tmj.2013.0007.
- [198] S. Scalvini *et al.*, "The SUMMA Project: A Feasibility Study on Telemedicine in Selected Italian Areas," *Telemed. e-Health*, vol. 15, no. 3, pp. 261–269, Apr. 2009, doi: 10.1089/tmj.2008.0109.
- [199] B. J. Wakefield *et al.*, "Effect of Home Telemonitoring on Glycemic and Blood Pressure Control in Primary Care Clinic Patients with Diabetes," *Telemed. e-Health*, vol. 20, no. 3, pp. 199–205, Mar. 2014, doi: 10.1089/tmj.2013.0151.
- [200] "In first issue of Digital Medicine journal, study finds little evidence that remote patient monitoring improves outcomes | MobiHealthNews." https://www.mobihealthnews.com/content/first-issue-digital-medicine-journal-study-finds-little-evidence-remote-patient-monitoring?mkt_tok=eyJpIjoiT0RjM00yUmlNek5tWW1JdyIsInQiOiJQNlUdaVnl5amd1dUtyQIRiWFY0aEtIbXlOQ3JDU25YRnA5Z3B0a2VJZjAxY3E3a1pUSGo5SytLeUNhcmlySEdBO3A5MFRDMGpkK09uYW1UmVKTU5lUkJ6NXFLQnV5anZqTVYrSjdFMmdlNXlFUlVCdk5CdkRMeEpOVldubkhCZSJ9 (accessed Nov. 24, 2019).
- [201] R. C. Merrell and C. R. Doarn, "Geriatric Telemedicine," *Telemed. e-Health*, vol. 21, no. 10, pp. 767–768, Oct. 2015, doi: 10.1089/tmj.2015.29003.mer.
- [202] L. S. Wilson and A. J. Maeder, "Recent Directions in Telemedicine: Review of Trends in Research and Practice," *Healthc. Inform. Res.*, vol. 21, no. 4, pp. 213–22, Oct. 2015, doi: 10.4258/hir.2015.21.4.213.
- [203] R. F. Dixon and L. Rao, "Asynchronous Virtual Visits for the Follow-Up of Chronic Conditions," *Telemed. e-Health*, vol. 20, no. 7, pp. 669–672, Jul. 2014, doi: 10.1089/tmj.2013.0211.
- [204] E. Medeiros de Bustos, E. Berthier, D. Chavot, B. Bouamra, and T. Moulin, "Evaluation of a French Regional Telemedicine Network Dedicated to Neurological Emergencies: A 14-Year Study," *Telemed. e-Health*, vol. 24, no. 2, pp. 155–160, Feb. 2018, doi: 10.1089/tmj.2017.0035.
- [205] T. Rabinowitz, K. M. Murphy, J. L. Amour, M. A. Ricci, M. P. Caputo, and P. A. Newhouse, "Benefits of a telepsychiatry consultation service for rural nursing home residents," *Telemed. e-Health*, vol. 16, no. 1, pp. 34–40, Feb. 2010, doi: 10.1089/tmj.2009.0088.
- [206] "Nemours finds that pediatric telemedicine saved money and time for patients, health system." Accessed: Oct. 20, 2017. [Online]. Available: <http://www.mobihealthnews.com/content/nemours-finds-pediatric-telemedicine-saved-money-and-time-patients-health-system>.
- [207] J. Albritton, L. Maddox, J. Dalto, E. Ridout, and S. Minton, "The effect of a newborn telehealth program on transfers avoided: A multiple-baseline study," *Health Aff.*, vol. 37, no. 12, pp. 1990–1996, Dec. 2018, doi: 10.1377/hlthaff.2018.05133.
- [208] "Study calls cost savings from telehealth into question | MobiHealthNews." <https://www.mobihealthnews.com/content/study-calls-cost-savings-telehealth-question> (accessed Nov. 27, 2019).
- [209] N. W. Dullet *et al.*, "Impact of a University-Based Outpatient Telemedicine Program on Time Savings, Travel Costs, and Environmental Pollutants," *Value Heal.*, vol. 20, no. 4, pp. 542–546, Apr. 2017, doi: 10.1016/j.jval.2017.01.014.
- [210] C. Masino, E. Rubinstein, L. Lem, B. Purdy, and P. G. Rossos, "The Impact of Telemedicine on Greenhouse Gas Emissions at an Academic Health Science Center in Canada," *Telemed. e-Health*, vol. 16, no. 9, pp. 973–976, Nov. 2010, doi: 10.1089/tmj.2010.0057.
- [211] J. Whetten, J. Montoya, and H. Yonas, "ACCESS to Better Health and Clear Skies: Telemedicine and Greenhouse Gas Reduction," *Telemed. e-Health*, vol. 25, no. 10, pp. 960–965, Oct. 2019, doi: 10.1089/tmj.2018.0172.
- [212] "Le diabète en France en 2016: état des lieux."

- <https://www.santepubliquefrance.fr/les-actualites/2018/le-diabete-en-france-en-2016-etat-des-lieux> (accessed Jul. 22, 2019).
- [213] "Les 10 principales causes de mortalité." <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death> (accessed Jul. 22, 2019).
- [214] "Comparaisons internationales: regard sur le diabète." Accessed: Jul. 22, 2019. [Online]. Available: https://secure.cihi.ca/free_products/oecd-diabetes-report-2015_fr.pdf.
- [215] *Rapport Mondial sur le Diabète.* .
- [216] "Détails du produit CONTOUR®NEXT ONE Lecteur de Glycémie - shop en ligne pour les patients Ascensia Diabetes Care Switzerland AG." <https://www.ascensia-shop.ch/article.cfm?lang=3&articleID=contour-next-one-blutzucker-messgeraet> (accessed Jul. 29, 2019).
- [217] *Top Countries by Smartphone Penetration & Users - Newzoo.* .
- [218] "Patients - Better Therapeutics." <https://www.bettertherapeutics.io/patients> (accessed Jul. 27, 2019).
- [219] "Le top 10 des applications diabète - Sciences et Avenir." https://www.sciencesetavenir.fr/sante/e-sante/le-top-10-des-applications-diabete_112535 (accessed Aug. 02, 2019).
- [220] "Dossier: Santé connectée et diabète," *Equilib. Mon diabète moi*, no. 316, pp. 15–19, 2017, [Online]. Available: https://www.sfdiabete.org/files/files/Paramed/Equilibre/equilibre_316_bd.pdf.
- [221] "Dmd Santé lance mHealth Quality, label européen en santé mobile et connectée." https://www.ticsante.com/Dmd-Sante-lance-mHealth-Quality-label-europeen-en-sante-mobile-et-connectee-NS_2582.html (accessed Jul. 27, 2019).
- [222] "DMD SANTE (REIMS) Chiffre d'affaires, résultat, bilans sur SOCIETE.COM - 752489039." <https://www.societe.com/societe/dmd-sante-752489039.html> (accessed Aug. 09, 2019).
- [223] D. Godin-Ribuot, "Chapitre 2: Les compartiments liquidiens de l'organisme UE3-2-Physiologie rénale," 2011. Accessed: Aug. 25, 2019. [Online]. Available: http://unf3s.cerimes.fr/media/paces/Grenoble_1112/godin_ribuot_diane/godin_ribuot_diane_p02/godin_ribuot_diane_p02.pdf.
- [224] P. Lonnroth, P. A. Jansson, and U. Smith, "A microdialysis method allowing characterization of intercellular water space in humans," *Am. J. Physiol. Metab.*, vol. 253, no. 2, pp. E228–E231, Aug. 1987, doi: 10.1152/ajpendo.1987.253.2.E228.
- [225] E. Cengiz and W. V Tamborlane, "A tale of two compartments: interstitial versus blood glucose monitoring.," *Diabetes Technol. Ther.*, vol. 11 Suppl 1, no. Suppl 1, pp. S11–6, Jun. 2009, doi: 10.1089/dia.2009.0002.
- [226] N. S. Oliver, C. Toumazou, A. E. G. Cass, and D. G. Johnston, "Glucose sensors: a review of current and emerging technology," *Diabet. Med.*, vol. 26, no. 3, pp. 197–210, Mar. 2009, doi: 10.1111/j.1464-5491.2008.02642.x.
- [227] D. C. Klonoff, D. Ahn, and A. Drincic, "Continuous glucose monitoring: A review of the technology and clinical use," *Diabetes Res. Clin. Pract.*, vol. 133, pp. 178–192, Nov. 2017, doi: 10.1016/J.DIABRES.2017.08.005.
- [228] A. Basu *et al.*, "Time lag of glucose from intravascular to interstitial compartment in type 1 diabetes.," *J. Diabetes Sci. Technol.*, vol. 9, no. 1, pp. 63–8, Jan. 2015, doi: 10.1177/1932296814554797.
- [229] D. B. Keenan, J. J. Mastrototaro, G. Voskanyan, and G. M. Steil, "Delays in Minimally Invasive Continuous Glucose Monitoring Devices: A Review of Current Technology," 2009. Accessed: Aug. 25, 2019. [Online]. Available: www.journalofdst.org.
- [230] O. Moser, J. E. Yardley, and R. M. Bracken, "Interstitial Glucose and Physical Exercise in Type 1 Diabetes: Integrative Physiology, Technology, and the Gap In-Between.," *Nutrients*, vol. 10, no. 1, Jan. 2018, doi: 10.3390/nu10010093.
- [231] V. Moscardó, J. Bondia, F. J. Ampudia-Blasco, C. G. Fanelli, P. Lucidi, and P. Rossetti, "Plasma Insulin Levels and Hypoglycemia Affect Subcutaneous Interstitial Glucose Concentration," *Diabetes Technol. Ther.*, vol. 20, no. 4, pp. 263–273, Apr. 2018, doi: 10.1089/dia.2017.0219.
- [232] C. Cobelli, M. Schiavon, C. Dalla Man, A. Basu, and R. Basu, "Interstitial Fluid Glucose Is Not Just a Shifted-in-Time but a Distorted Mirror of Blood Glucose: Insight from an In Silico Study," *Diabetes Technol. Ther.*, vol. 18, no. 8, pp. 505–511, Aug. 2016, doi: 10.1089/dia.2016.0112.

- [233] T. Siegmund, L. Heinemann, R. Kolassa, and A. Thomas, "Discrepancies Between Blood Glucose and Interstitial Glucose-Technological Artifacts or Physiology: Implications for Selection of the Appropriate Therapeutic Target.," *J. Diabetes Sci. Technol.*, vol. 11, no. 4, pp. 766–772, 2017, doi: 10.1177/1932296817699637.
- [234] E. Biermann, "Discrepancies Between Blood Glucose and Interstitial Glucose: Technological Artifacts or Physiology: A Reply.," *J. Diabetes Sci. Technol.*, vol. 12, no. 4, pp. 898–899, 2018, doi: 10.1177/1932296818771396.
- [235] K. Rebrin, N. F. Sheppard, and G. M. Steil, "Use of subcutaneous interstitial fluid glucose to estimate blood glucose: revisiting delay and sensor offset.," *J. Diabetes Sci. Technol.*, vol. 4, no. 5, pp. 1087–98, Sep. 2010, doi: 10.1177/193229681000400507.
- [236] "FDA Executive Summary-Senseonics Eversense Continuous Glucose Monitoring System." Accessed: Aug. 26, 2019. [Online]. Available: <https://www.fda.gov/media/112110/download>.
- [237] A. Basu *et al.*, "Continuous Glucose Monitor Interference With Commonly Prescribed Medications: A Pilot Study," *J. Diabetes Sci. Technol.*, vol. 11, no. 5, pp. 936–941, Sep. 2017, doi: 10.1177/1932296817697329.
- [238] M. Schiavon, G. Acciaroli, M. Vettoretti, A. Giaretta, and R. Visentin, "A Model of Acetaminophen Pharmacokinetics and its Effect on Continuous Glucose Monitoring Sensor Measurements," in *2018 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, Jul. 2018, pp. 159–162, doi: 10.1109/EMBC.2018.8512257.
- [239] "Sensor Technology | FreeStyle." <https://provider.myfreestyle.com/sensor-technology.html> (accessed Aug. 30, 2019).
- [240] "Diabète et Contrôle du taux de glucose | Abbott - Freestyle Libre." <https://www.freestylelibre.fr/libre/> (accessed Aug. 09, 2019).
- [241] S. RUTENBERG Seattle, "Letter to Shareholders 6 This Is Abbott 12 Diabetes Care 14 Neuromodulation 16 Cardiac Rhythm Management 18 Heart Failure Management 20 Vascular Care and Structural Heart 22 Established Pharmaceuticals 24 Laboratory Diagnostics 26 Rapid Diagnostics 28 Adult Nutrition 30 Pediatric Nutrition 32 Financial Report." Accessed: Aug. 09, 2019. [Online]. Available: <https://www.abbottinvestor.com/static-files/9f7cf4e4-5ca1-43cf-9034-97cdd1256cf3>.
- [242] "Abbott gets CE Mark for Freestyle Libre 2, adds Bluetooth for real-time alerts | MobiHealthNews." <https://www.mobihealthnews.com/content/abbott-gets-ce-mark-freestyle-libre-2-adds-bluetooth-real-time-alerts> (accessed Jul. 22, 2019).
- [243] "Le capteur du freestyle libre décortiqué - Diabete-Infos.fr." <https://diabete-infos.fr/capteur-freestyle-libre-decortique/> (accessed Aug. 30, 2019).
- [244] B. Feldman, R. Brazg, S. Schwartz, and R. Weinstein, "A Continuous Glucose Sensor Based on Wired Enzyme™ Technology - Results from a 3-Day Trial in Patients with Type 1 Diabetes," *Diabetes Technol. Ther.*, vol. 5, no. 5, pp. 769–779, Oct. 2003, doi: 10.1089/152091503322526978.
- [245] U. Hoss, I. Jeddi, M. Schulz, E. Budiman, C. Bhogal, and G. McGarraugh, "Continuous Glucose Monitoring in Subcutaneous Tissue Using Factory-Calibrated Sensors: A Pilot Study," *Diabetes Technol. Ther.*, vol. 12, no. 8, pp. 591–597, Aug. 2010, doi: 10.1089/dia.2010.0051.
- [246] U. Hoss, E. S. Budiman, H. Liu, and M. P. Christiansen, "Feasibility of Factory Calibration for Subcutaneous Glucose Sensors in Subjects With Diabetes.," *J. Diabetes Sci. Technol.*, vol. 8, no. 1, pp. 89–94, Jan. 2014, doi: 10.1177/1932296813511747.
- [247] "Glu: FDA Approves Eversense CGM for Non-Adjunctive Use." <https://myglu.org/articles/fda-approves-eversense-cgm-for-non-adjunctive-use> (accessed Aug. 23, 2019).
- [248] "CLINICAL TRIALS | Senseonics." <https://global.eversensedidiabetes.com/HCP/clinical-trials> (accessed Aug. 23, 2019).
- [249] R. Z. JAFRI *et al.*, "A Three-Way Accuracy Comparison of the Dexcom G5, Abbott Freestyle Libre Pro, and Senseonics Eversense CGM Devices in an Outpatient Study of Subjects with Type 1 Diabetes," *Diabetes*, vol. 67, no. Supplement 1, pp. 14-OR, May 2018, doi: 10.2337/db18-14-OR.
- [250] "Eversense Continuous Glucose Monitoring System - P160048/S006 | FDA." <https://www.fda.gov/medical-devices/recently-approved-devices/eversense-continuous-glucose-monitoring-system-p160048s006> (accessed Aug. 23, 2019).
- [251] "Eversense® Continuous Glucose Monitoring System Sponsor Executive Summary

- EVERSENSE[®] CONTINUOUS GLUCOSE MONITORING SYSTEM SPONSOR EXECUTIVE SUMMARY FDA ADVISORY COMMITTEE MEETING OF THE CLINICAL CHEMISTRY AND CLINICAL TOXICOLOGY DEVICES ADVISORY COMMITTEE," 2018. Accessed: Sep. 02, 2019. [Online]. Available: <https://www.fda.gov/media/112142/download>.
- [252] F. Reiterer *et al.*, "Significance and Reliability of MARD for the Accuracy of CGM Systems," *J. Diabetes Sci. Technol.*, vol. 11, no. 1, pp. 59–67, 2017, doi: 10.1177/1932296816662047.
- [253] "Glooko's Mobile Insulin Dosing System - MIDS - is FDA Cleared! - Glooko | Diabetes Remote Monitoring | Population Management , Glooko | Diabetes Remote Monitoring | Population Management." <https://www.glooko.com/2018/02/glookos-mobile-insulin-dosing-system-mids-fda-cleared/> (accessed Aug. 23, 2019).
- [254] "A leader in AI solutions for personalized diabetes management." <https://dreamed-diabetes.com/> (accessed Aug. 23, 2019).
- [255] "Eli Lilly gets FDA clearance for insulin dose calculator app | MobiHealthNews." <https://www.mobihealthnews.com/content/eli-lilly-gets-fda-clearance-insulin-dose-calculator-app> (accessed Aug. 23, 2019).
- [256] "Roche launches FDA-cleared diabetes app with insulin calculator in US | MobiHealthNews." <https://www.mobihealthnews.com/45130/roche-launches-fda-cleared-diabetes-app-with-insulin-calculator-in-us> (accessed Aug. 23, 2019).
- [257] "Sanofi gets FDA clearance for insulin dose calculator app | MobiHealthNews." <https://www.mobihealthnews.com/content/sanofi-gets-fda-clearance-insulin-dose-calculator-app> (accessed Aug. 23, 2019).
- [258] "LISTE DES PRODUITS ET PRESTATIONS REMBOURSABLES . ." Accessed: Jul. 23, 2019. [Online]. Available: https://www.ameli.fr/sites/default/files/Documents/443783/document/lpp_juin_2019_assurance_maladie.pdf.
- [259] "Présentation des pompes à insuline externes - La pompe à insuline, parlons-en!" <https://pompeainsuline.federationdesdiabetiques.org/comment-choisir/les-pompes-a-insuline/> (accessed Aug. 11, 2019).
- [260] "MiniMed[™] 670G | Medtronic Diabete Canada." <https://www.medtronic.com/ca-fr/diabetes/home/products/minimed-670g.html> (accessed Jul. 23, 2019).
- [261] "Guardian Connect | Medtronic HCP." <https://hcp.medtronic-diabetes.com.au/guardian-connect> (accessed Aug. 11, 2019).
- [262] "TNDM 63.87 0.37 0.58%: Tandem Diabetes Care, Inc. - Yahoo Finance." <https://finance.yahoo.com/quote/tndm?ltr=1> (accessed Aug. 11, 2019).
- [263] "Tandem Diabetes Care Raises Full-Year 2019 Revenue Guidance to \$358 Million." <https://finance.yahoo.com/news/tandem-diabetes-care-raises-full-151720649.html> (accessed Aug. 11, 2019).
- [264] "Pompe à insuline t-slim X2." <https://www.tandemdiabetes.com/fr-ca/products/t-slim-x2-insulin-pump> (accessed Jul. 23, 2019).
- [265] "GUARDIAN[™] CONNECT FACT SHEET," 2018. Accessed: Aug. 16, 2019. [Online]. Available: www.medtronicdiabetes.com.
- [266] "Dexcom G6 Continuous Glucose Monitoring (CGM) System | Zero Fingersticks." <https://www.dexcom.com/g6-cgm-system> (accessed Aug. 16, 2019).
- [267] "SmartGuard Technology | Medtronic." <https://professional.medtronicdiabetes.com/para/smartguard-technology> (accessed Aug. 16, 2019).
- [268] "Sugar.IQ[™] Diabetes Assistant | Exclusive to Guardian[™] Connect CGM." <https://www.medtronicdiabetes.com/products/sugar.iq-diabetes-assistant> (accessed Aug. 11, 2019).
- [269] "Tandem's Control-IQ Explained." <https://asweetlife.org/tandems-control-iq-explained/> (accessed Aug. 16, 2019).
- [270] "Tandem Diabetes Care Reports Successful Completion of First Pilot Study Using t:slim X2 Insulin Pump with TypeZero Hybrid Closed Loop Technology and Dexcom G6 Integration; Confirms IDCL Multi-site Study Timeline | Business Wire." <https://www.businesswire.com/news/home/20180108005568/en/Tandem-Diabetes-Care-Reports-Successful-Completion-Pilot> (accessed Aug. 16, 2019).
- [271] "Tandem Diabetes Care Reports Positive Results From Two Studies of the t:slim X2 Insulin Pump With Control-IQ Technology."

- https://finance.yahoo.com/news/tandem-diabetes-care-reports-positive-223000456.html?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLmNvYy58&guce_referrer_sig=AQAAAHfeBBm5S1KJR4xr-m2M1bign_RztxpRuU_RNhYjzTiC4JSptA-ftwjotLu906vC-zx8ODdrW-x6HuccXdEbiFg4ol (accessed Aug. 11, 2019).
- [272] "Tandem's Control-IQ Hybrid Closed Loop Algorithm Submitted to FDA | diaTribe." <https://diatribe.org/tandem-s-control-iq-hybrid-closed-loop-algorithm-submitted-fda> (accessed Aug. 16, 2019).
- [273] "FDA approves first automated insulin delivery device for type 1 diabetes | FDA." https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/fda-approves-first-automated-insulin-delivery-device-type-1-diabetes?source=govdelivery&utm_medium=email&utm_source=govdelivery (accessed Aug. 16, 2019).
- [274] "Closed-Loop Pump Technical Difficulties Can Lead to Disuse." <http://www.diabetesincontrol.com/closed-loop-pump-technical-difficulties-lead-to-high-rate-of-discontinuation/> (accessed Aug. 16, 2019).
- [275] "About Auto Mode | Medtronic Diabetes." <https://www.medtronicdiabetes.com/customer-support/minimed-670g-system-support/about-auto-mode> (accessed Aug. 16, 2019).
- [276] "Medtronic Minimed 670G Auto Mode Review - Below Seven." <https://www.below-seven.com/2018/01/31/medtronic-minimed-670g-auto-mode-review/> (accessed Aug. 16, 2019).
- [277] A. Haidar *et al.*, "Glucose-responsive insulin and glucagon delivery (dual-hormone artificial pancreas) in adults with type 1 diabetes: a randomized crossover controlled trial," *Can. Med. Assoc. J.*, vol. 185, no. 4, pp. 297–305, Mar. 2013, doi: 10.1503/cmaj.121265.
- [278] "Medtronic gets FDA nod for artificial pancreas system, preps to launch Watson-powered Sugar.IQ app | MobiHealthNews." <https://www.mobihealthnews.com/content/medtronic-gets-fda-nod-artificial-pancreas-system-preps-launch-watson-powered-sugariq-app> (accessed Jul. 27, 2019).
- [279] "MiniMed™ 670G | Medtronic Diabetes Canada." <https://www.medtronic.com/ca-fr/diabetes/home/products/minimed-670g.html> (accessed Aug. 11, 2019).
- [280] "Four NIH-backed projects aim to advance the artificial pancreas | MobiHealthNews." <https://www.mobihealthnews.com/content/four-nih-backed-projects-aim-advance-artificial-pancreas> (accessed Jul. 27, 2019).
- [281] M. Tauschmann *et al.*, "Closed-loop insulin delivery in suboptimally controlled type 1 diabetes: a multicentre, 12-week randomised trial," *Lancet (London, England)*, vol. 392, no. 10155, pp. 1321–1329, Oct. 2018, doi: 10.1016/S0140-6736(18)31947-0.
- [282] N. Lowres *et al.*, "Feasibility and cost-effectiveness of stroke prevention through community screening for atrial fibrillation using iPhone ECG in pharmacies: The SEARCH-AF study," *Thromb. Haemost.*, 2014, doi: 10.1160/TH14-03-0231.
- [283] S. A. Weinzimer, G. M. Steil, K. L. Swan, J. Dziura, N. Kurtz, and W. V Tamborlane, "Fully automated closed-loop insulin delivery versus semiautomated hybrid control in pediatric patients with type 1 diabetes using an artificial pancreas," *Diabetes Care*, vol. 31, no. 5, pp. 934–9, May 2008, doi: 10.2337/dc07-1967.
- [284] N. Allen and A. Gupta, "Current Diabetes Technology: Striving for the Artificial Pancreas," *Diagnostics (Basel, Switzerland)*, vol. 9, no. 1, Mar. 2019, doi: 10.3390/diagnostics9010031.
- [285] F. De Ridder, M. den Brinker, and C. De Block, "The road from intermittently scanned glucose monitoring to hybrid closed-loop systems: Part A. Keys to success: subject profiles, choice of systems, education," *Ther. Adv. Endocrinol. Metab.*, vol. 10, p. 2042018819865399, 2019, doi: 10.1177/2042018819865399.
- [286] M. Rendell, "Technosphere inhaled insulin (Afrezza)," *Drugs of Today*, vol. 50, no. 12, p. 813, 2014, doi: 10.1358/dot.2014.50.12.2233894.
- [287] H. Zisser *et al.*, "Clinical results of an automated artificial pancreas using technosphere inhaled insulin to mimic first-phase insulin secretion," *J. Diabetes Sci. Technol.*, vol. 9, no. 3, pp. 564–72, May 2015, doi: 10.1177/1932296815582061.
- [288] S. Deshpande *et al.*, "Design and Clinical Evaluation of the Interoperable Artificial Pancreas System (iAPS) Smartphone App: Interoperable Components with Modular

- Design for Progressive Artificial Pancreas Research and Development," *Diabetes Technol. Ther.*, vol. 21, no. 1, pp. 35–43, Jan. 2019, doi: 10.1089/dia.2018.0278.
- [289] A. A. Bremer and G. Arreaza-Rubin, "Analysis of 'Artificial Pancreas (AP) Systems for People With Type 2 Diabetes: Conception and Design of the European CLOSE Project,'" *J. Diabetes Sci. Technol.*, vol. 13, no. 2, pp. 268–270, Mar. 2019, doi: 10.1177/1932296818823770.
- [290] N. Taleb, A. C. Carpentier, V. Messier, M. Ladouceur, A. Haidar, and R. Rabasa-Lhoret, "Efficacy of Artificial Pancreas Use in Patients With Type 2 Diabetes Using Intensive Insulin Therapy: A Randomized Crossover Pilot Trial," *Diabetes Care*, vol. 42, no. 7, pp. e107–e109, Jul. 2019, doi: 10.2337/dc18-2406.
- [291] L. Bally *et al.*, "Fully closed-loop insulin delivery improves glucose control of inpatients with type 2 diabetes receiving hemodialysis," *Kidney Int.*, vol. 96, no. 3, pp. 593–596, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.kint.2019.03.006.
- [292] T. Namikawa, M. Munekage, T. Yatabe, H. Kitagawa, and K. Hanazaki, "Current status and issues of the artificial pancreas: abridged English translation of a special issue in Japanese," *J. Artif. Organs*, vol. 21, no. 2, pp. 132–137, Jun. 2018, doi: 10.1007/s10047-018-1019-4.
- [293] M. N. Munshi *et al.*, "Nonadherence to Insulin Therapy Detected by Bluetooth-Enabled Pen Cap Is Associated With Poor Glycemic Control," *Diabetes Care*, vol. 42, no. 6, pp. 1129–1131, Jun. 2019, doi: 10.2337/dc18-1631.
- [294] "How it works – Gocap." <https://gocap.me/how-it-works/> (accessed Aug. 25, 2019).
- [295] "Common Sensing Gocap Reveals Insulin Adherence Effects on Glycemic Control – Common Sensing." <https://common-sensing.com/common-sensing-gocap-reveals-insulin-adherence-effects-on-glycemic-control/> (accessed Aug. 25, 2019).
- [296] "Medtronic MiniMed improves glycemic outcomes for kids with T1 diabetes | MobiHealthNews." <http://www.mobihealthnews.com/content/medtronic-minimed-improves-glycemic-outcomes-kids-t1-diabetes> (accessed Mar. 24, 2018).
- [297] O. Byambasuren, S. Sanders, E. Beller, and P. Glasziou, "Prescribable mHealth apps identified from an overview of systematic reviews," *npj Digit. Med.*, vol. 1, no. 1, p. 12, Dec. 2018, doi: 10.1038/s41746-018-0021-9.
- [298] "EZSCAN ET SUDOSCAN." <http://www.espace-diabete.com/services/ezscan-et-sudoscanezscan-et-sudoscanezscan> (accessed Jul. 22, 2019).
- [299] K. Dovc *et al.*, "Young Children Have Higher Variability of Insulin Requirements: Observations During Hybrid Closed-Loop Insulin Delivery," *Diabetes Care*, vol. 42, no. 7, pp. 1344–1347, Jul. 2019, doi: 10.2337/dc18-2625.
- [300] "In study, Dexcom finds {CGMs} can benefit Type 2 patients, too." Accessed: Oct. 21, 2017. [Online]. Available: <http://www.mobihealthnews.com/content/study-dexcom-finds-cgms-can-benefit-type-2-patients-too>.
- [301] D. Kerr, C. Axelrod, C. Hoppe, and D. C. Klonoff, "Diabetes and technology in 2030: a utopian or dystopian future?," *Diabet. Med.*, vol. 35, no. 4, pp. 498–503, Apr. 2018, doi: 10.1111/dme.13586.
- [302] A. K. Yetisen *et al.*, "Dermal Tattoo Biosensors for Colorimetric Metabolite Detection," *Angew. Chemie Int. Ed.*, vol. 58, no. 31, pp. 10506–10513, Jul. 2019, doi: 10.1002/anie.201904416.
- [303] "Study finds wearable heart rate monitors feasible for early detection of hypoglycemia | MobiHealthNews." <http://www.mobihealthnews.com/content/study-finds-wearable-heart-rate-monitors-feasible-early-detection-hypoglycemia> (accessed Mar. 24, 2018).
- [304] "Arrêt des pompes à insuline implantées: panique chez les diabétiques - midilibre.fr." <https://www.midilibre.fr/2019/08/10/arret-des-pompes-a-insuline-implantees-panique-chez-les-diabetiques,8354722.php> (accessed Sep. 10, 2019).
- [305] "FDA warns consumers, providers of unvetted glucose management devices, systems | MobiHealthNews." <https://www.mobihealthnews.com/content/north-america/fda-warns-consumers-providers-unvetted-glucose-management-devices-systems> (accessed Jul. 23, 2019).
- [306] "Reports: Mobile health market to surpass \$28B in 2018; teleradiology gaining steam | MobiHealthNews." <http://www.mobihealthnews.com/content/reports-mobile-health-market-surpass-28b-2018-teleradiology-gaining-steam> (accessed Jun. 09, 2018).
- [307] A. A. Alian and K. H. Shelley, "Photoplethysmography," *Best Practice and Research:*

- Clinical Anaesthesiology*, vol. 28, no. 4. Bailliere Tindall Ltd, pp. 395–406, 2014, doi: 10.1016/j.bpa.2014.08.006.
- [308] "Oxymètre de pouls - principes - Urgences-Online." <https://urgences-serveur.fr/oxymetre-de-pouls-principes,2178.html> (accessed Dec. 04, 2019).
 - [309] Ds. A. Matti Huiku, "Development of a fractional multi-wavelength pulse oximetry algorithm School of Electrical Engineering," 2011.
 - [310] D. Biswas, N. Simoes-Capela, C. Van Hoof, and N. Van Helleputte, "Heart Rate Estimation from Wrist-Worn Photoplethysmography: A Review," *IEEE Sens. J.*, vol. 19, no. 16, pp. 6560–6570, Aug. 2019, doi: 10.1109/JSEN.2019.2914166.
 - [311] "Best heart rate monitor earbuds - Android Authority." <https://www.androidauthority.com/best-heart-rate-monitor-earbuds-1023454/> (accessed Dec. 06, 2019).
 - [312] "Motiv Ring | Fitness Tracking | Activity Tracking | Sleep Tracking Motiv Ring." <https://mymotiv.com/fitness-tracking/> (accessed Dec. 06, 2019).
 - [313] "Sensor Extension | SAMSUNG Developers." <https://developer.samsung.com/galaxy/sensor-extension> (accessed Dec. 06, 2019).
 - [314] R. Avram *et al.*, "Real-world heart rate norms in the Health eHeart study," *npj Digit. Med.*, vol. 2, no. 1, p. 58, Dec. 2019, doi: 10.1038/s41746-019-0134-9.
 - [315] A. V. Moço, S. Stuijk, and G. de Haan, "Skin inhomogeneity as a source of error in remote PPG-imaging," *Biomed. Opt. Express*, vol. 7, no. 11, p. 4718, Nov. 2016, doi: 10.1364/boe.7.004718.
 - [316] N. Watanabe *et al.*, "Development and Validation of a Novel Cuff-Less Blood Pressure Monitoring Device," *JACC Basic to Transl. Sci.*, vol. 2, no. 6, pp. 631–642, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.jacbts.2017.07.015.
 - [317] M. Elgendi *et al.*, "The use of photoplethysmography for assessing hypertension," *npj Digit. Med.*, vol. 2, no. 1, p. 60, Dec. 2019, doi: 10.1038/s41746-019-0136-7.
 - [318] "Électrocardiographie — Wikipédia." <https://fr.wikipedia.org/wiki/Électrocardiographie> (accessed Dec. 09, 2019).
 - [319] S. Meek and F. Morris, "Introduction. I—Leads, rate, rhythm, and cardiac axis," *BMJ*, vol. 324, no. 7334, pp. 415–418, Feb. 2002, doi: 10.1136/bmj.324.7334.415.
 - [320] "Alivecor - Wikipedia." <https://en.wikipedia.org/wiki/Alivecor> (accessed Dec. 09, 2019).
 - [321] A. Walker and J. Muhlestein, "Smartphone electrocardiogram monitoring: current perspectives," *Adv. Heal. Care Technol.*, vol. Volume 4, pp. 15–24, Jun. 2018, doi: 10.2147/ahct.s138445.
 - [322] "Comparison of handheld 1-lead ECG/EKG recorders." <https://www.ndsu.edu/pubweb/~grier/Comparison-handheld-ECG-EKG.html> (accessed Dec. 09, 2019).
 - [323] G. D. Giebel and C. Gissel, "Accuracy of mHealth devices for atrial fibrillation screening: Systematic review," *Journal of Medical Internet Research*, vol. 21, no. 6. Journal of Medical Internet Research, 2019, doi: 10.2196/13641.
 - [324] G. H. Tison *et al.*, "Passive detection of atrial fibrillation using a commercially available smartwatch," *JAMA Cardiol.*, vol. 3, no. 5, pp. 409–416, May 2018, doi: 10.1001/jamacardio.2018.0136.
 - [325] "New studies show AliveCor's KardiaBand can detect AFib, hyperkalemia with high accuracy | MobiHealthNews." <https://www.mobihealthnews.com/content/new-studies-show-alivecors-kardiaband-can-detect-afib-hyperkalemia-high-accuracy> (accessed Dec. 09, 2019).
 - [326] J. P. J. Halcox *et al.*, "Assessment of Remote Heart Rhythm Sampling Using the {AliveCor} Heart Monitor to Screen for Atrial Fibrillation: The {REHEARSE}-{AF} Study," p. CIRCULATIONAHA.117.030583, doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.117.030583.
 - [327] N. Isakadze and S. S. Martin, "How useful is the smartwatch ECG?," *Trends Cardiovasc. Med.*, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.tcm.2019.10.010.
 - [328] "With Cardiogram's AI, Apple Watch can detect sleep apnea, hypertension, study shows | MobiHealthNews." https://www.mobihealthnews.com/content/cardiograms-ai-apple-watch-can-detect-sleep-apnea-hypertension-study-shows?mkt_tok=eyJpIjoiWmpSaVpHWXpOR0poTkdlJdYlNQiOiJ6NDdLOFpEWXJTUHc3aTBmWEthYmk1UzBTc2dJVkxBYmxzMGIHMWU0YUxQdkFucmhnaTg1RFBcL2F4emNjV1RIWUI3XC9INDkzNjFpZTNYNTIjNXVIYTIOTEJQWXCwZUZ4anVJcjIwUIA5eTZxdUxOa2dUenlYV0tETEJHcklMRThqIn0%3D (accessed Dec. 10, 2019).
 - [329] "Cardiovascular Risk Stratification Using Off-the-Shelf Wearables and a Multi-Task

- Deep Learning Algorithm."
<https://www.abstractsonline.com/pp8/#!/4412/presentation/45220> (accessed Dec. 10, 2019).
- [330] "L'intelligence artificielle capable de détecter des signes imperceptibles d'une fibrillation atriale." <https://www.ticpharma.com/story.php?story=1053> (accessed Oct. 22, 2019).
- [331] A. Samol, K. Bischof, B. Luani, D. Pascut, M. Wiemer, and S. Kaese, "Single-lead ECG recordings including einthoven and wilson leads by a smartwatch: A new era of patient directed early ECG differential diagnosis of cardiac diseases?," *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 20, Oct. 2019, doi: 10.3390/s19204377.
- [332] A. Samol, K. Bischoff, B. Luani, D. Pascut, M. Wiemer, and S. Kaese, "Recording of bipolar multichannel ECGs by a smartwatch: Modern ECG diagnostic 100 years after Einthoven," *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 13, Jul. 2019, doi: 10.3390/s19132894.
- [333] "Novel Use of Apple Watch 4 to Obtain 3-Lead Electrocardiogram and Detect Cardiac Ischemia," *Perm. J.*, 2019, doi: 10.7812/tpj/19-025.
- [334] "KardiaMobile 6L | AliveCor." <https://www.alivecor.com/kardiamobile6l/> (accessed Dec. 09, 2019).
- [335] M. Shafique, P. A. Kyriacou, and S. K. Pal, "Investigation of photoplethysmographic signals and blood oxygen saturation values on healthy volunteers during cuff-induced hypoperfusion using a multimode PPG/SpO₂ sensor," *Med. Biol. Eng. Comput.*, vol. 50, no. 6, pp. 575–583, Jun. 2012, doi: 10.1007/s11517-012-0910-z.
- [336] J. Liu, J. O. Hahn, and R. Mukkamala, "Error mechanisms of the oscillometric fixed-ratio blood pressure measurement method," *Ann. Biomed. Eng.*, vol. 41, no. 3, pp. 587–597, Mar. 2013, doi: 10.1007/s10439-012-0700-7.
- [337] "Products – <https://www.biobeat.cloud/>." <https://www.biobeat.cloud/products/> (accessed Dec. 09, 2019).
- [338] "research2guidance - How the first FDA-cleared cuffless blood pressure solution is paving the way to new remote monitoring technologies? – Interview with Dr. Eisenkraft, Chief Medical Officer of Biobeat." <https://research2guidance.com/how-the-first-fda-cleared-cuffless-blood-pressure-solution-is-paving-the-way-to-new-remote-monitoring-technologies-interview-with-dr-eisenkraft-chief-medical-officer-of-biobeat/> (accessed Dec. 09, 2019).
- [339] "First-ever: FDA Clears Biobeat's Wearable Watch and Patch for Non-invasive Cuffless Monitoring of Blood Pressure." <https://www.prnewswire.com/il/news-releases/first-ever-fda-clears-biobeats-wearable-watch-and-patch-for-non-invasive-cuffless-monitoring-of-blood-pressure-300906765.html> (accessed Dec. 09, 2019).
- [340] "What is PWTT | Pulse wave transit time." <https://eu.nihonkohden.com/en/innovativetechnologies/pwtt/whatispwtt.html> (accessed Dec. 09, 2019).
- [341] "Cardiogram – What's your heart telling you?" <https://cardiogram.com/remote-patient-monitoring/> (accessed Dec. 10, 2019).
- [342] "Mobile Phone Detection of Atrial Fibrillation With Mechanocardiography | Circulation." <https://ahajournals.org/doi/full/10.1161/CIRCULATIONAHA.117.032804> (accessed Dec. 10, 2019).
- [343] J. Chan, T. Rea, S. Gollakota, and J. E. Sunshine, "Contactless cardiac arrest detection using smart devices," *npj Digit. Med.*, vol. 2, no. 1, p. 52, Dec. 2019, doi: 10.1038/s41746-019-0128-7.
- [344] "Beyond-Verbal-and-Mayo-Clinic-CAD-Poster.jpg (2048×1493)." <https://pr.blonde20.com/wp-content/uploads/2016/11/Beyond-Verbal-and-Mayo-Clinic-CAD-Poster.jpg> (accessed Dec. 10, 2019).
- [345] "Your heart rate. What it means, and where on Apple Watch you'll find it. - Apple Support." <https://support.apple.com/en-us/HT204666> (accessed Dec. 09, 2019).
- [346] "Ongoing Demand Fuels a Strong Growth Trajectory for Wearable Devices in Q1 2019 with Wrist-Worn and Ear-Worn Leading the Market, According to IDC." <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS45115019> (accessed Dec. 10, 2019).
- [347] "MA plan reimbursing Apple Watches, \$100M health tech fund established and more digital health news briefs | MobiHealthNews." <https://www.mobihealthnews.com/news/north-america/ma-plan-reimbursing-apple-watches-100m-health-tech-fund-established-and-more> (accessed Dec. 10, 2019).

- [348] "Apple Heart Study results: Notifications are rare, but often coincide with ECG-confirmed a-fib | MobiHealthNews." https://www.mobihealthnews.com/content/apple-heart-study-results-notifications-are-rare-often-coincide-ecg-confirmed-fib?mkt_tok=eyJpIjoiWTJkaE5XUXlaakk0TUdReClInQioiJUNmhqVU00cGVNV0hSU3lWSTM4S2VQSikrOTk4WjF4dXUyK2FvSEtiTETeEaHE3QzNcL0E0OUUranhxejQrY3hPU05tekTjT0w0RGJtZjI5MUxjZG5lOE9FVXBwckFkclNsN1B6MHo5WXZ1Uk5ETkY1RWdXW WNCVllrOGswZjBjU2QifQ%3D%3D (accessed Oct. 22, 2019).
- [349] "Apple announces three new Apple Watch health studies with big-name partners | MobiHealthNews." <https://www.mobihealthnews.com/news/north-america/apple-announces-three-new-apple-watch-health-studies-big-name-partners> (accessed Dec. 10, 2019).
- [350] "Apple files patent for stretchable health tracking band | MobiHealthNews." <https://www.mobihealthnews.com/news/north-america/apple-files-patent-stretchable-health-tracking-band> (accessed Dec. 10, 2019).
- [351] "It's official: Google acquires wearable giant Fitbit | MobiHealthNews." <https://www.mobihealthnews.com/news/north-america/its-official-google-acquires-wearable-giant-fitbit> (accessed Dec. 12, 2019).
- [352] "Fitbit users now have access to Cardiogram's heart condition-detecting deep neural network | MobiHealthNews." https://www.mobihealthnews.com/news/fitbit-users-now-have-access-cardiograms-heart-condition-detecting-deep-neural-network?mkt_tok=eyJpIjoiWIRVM05ERmxPVE0xTURZeSIsInQioiJPQzBCWkZ6NjF2OXhlnIl2KzVRbjZxSnBLMFpNTEtOdFM2bnVjdUJZCVGJHbFjdWR4Q3I2eHZZTck9EVjFDWmha (accessed Jul. 22, 2019).
- [353] "Nous voulons aider plus de gens à devenir en meilleure santé." <https://www.huami.com/> (accessed Dec. 12, 2019).
- [354] "Xiaomi — Wikipédia." <https://fr.wikipedia.org/wiki/Xiaomi> (accessed Dec. 12, 2019).
- [355] "Xiaomi Amazfit Health Band Review - Is an ECG Chip Worth it? - Gizchina.com." <https://www.gizchina.com/2017/06/27/xiaomi-amazfit-health-band-review/> (accessed Dec. 12, 2019).
- [356] "Amazfit GTS." <https://en.amazfit.com/gts.html> (accessed Dec. 12, 2019).
- [357] "Amazfit Health Watch." <https://cn.amazfit.com/health-watch.html> (accessed Dec. 12, 2019).
- [358] "AliveCor teams up with Huami to develop medical-grade wearables | MobiHealthNews." <https://www.mobihealthnews.com/news/north-america/alivecor-teams-huami-develop-medical-grade-wearables> (accessed Dec. 12, 2019).
- [359] "Alphabet Inc. - Wikipedia." https://en.wikipedia.org/wiki/Alphabet_Inc. (accessed Dec. 12, 2019).
- [360] "Verily - Wikipedia." <https://en.wikipedia.org/wiki/Verily> (accessed Dec. 12, 2019).
- [361] "Alphabet funds Verve to protect people from heart disease." <https://www.cnn.com/2019/05/15/alphabet-funds-verve-to-protect-people-from-heart-disease.html> (accessed Dec. 12, 2019).
- [362] "Verily Blog: Eyes: a window into heart health." <https://blog.verily.com/2018/02/eyes-window-into-heart-health.html> (accessed Dec. 12, 2019).
- [363] "Study Watch | Verily Life Sciences." <https://verily.com/projects/sensors/study-watch/> (accessed Dec. 12, 2019).
- [364] "Peerbridge's wireless multi-channel {ECG} cleared by {FDA}." Accessed: Oct. 20, 2017. [Online]. Available: <http://www.mobihealthnews.com/content/peerbridge's-wireless-multi-channel-ecg-cleared-fda>.
- [365] "With new FDA clearances, ZIO is poised to finally add realtime, connected monitoring | MobiHealthNews." <https://www.mobihealthnews.com/content/new-fda-clearances-zio-poised-finally-add-realtime-connected-monitoring> (accessed Dec. 09, 2019).
- [366] "Study: iRhythm's Zio patch streamlines a-fib diagnosis, care, but no word yet on outcomes | MobiHealthNews." <http://www.mobihealthnews.com/content/study-irhythms-zio-patch-streamlines-fib-diagnosis-care-no-word-yet-outcomes> (accessed Mar. 24, 2018).
- [367] "FDA clears Duo, a combination smart heart monitor and stethoscope from Eko," Jun. 2017. <http://www.mobihealthnews.com/content/fda-clears-duo-combination-smart-heart-monitor-and-stethoscope-eko> (accessed Oct. 24, 2017).

- [368] "FDA clears Abbott's smartphone-compatible cardiac monitor implant," Oct. 2017. <http://www.mobihealthnews.com/content/fda-clears-abbott's-smartphone-compatible-cardiac-monitor-implant> (accessed Oct. 24, 2017).
- [369] T. Harris *et al.*, "Effect of pedometer-based walking interventions on long-term health outcomes: Prospective 4-year follow-up of two randomised controlled trials using routine primary care data," *PLOS Med.*, vol. 16, no. 6, p. e1002836, Jun. 2019, doi: 10.1371/journal.pmed.1002836.
- [370] J. Chan, S. Raju, R. Nandakumar, R. Bly, and S. Gollakota, "Detecting middle ear fluid using smartphones.," *Sci. Transl. Med.*, vol. 11, no. 492, p. eaav1102, May 2019, doi: 10.1126/scitranslmed.aav1102.
- [371] R. Merchant *et al.*, "Digital Health Intervention for Asthma: Patient-Reported Value and Usability.," *JMIR mHealth uHealth*, vol. 6, no. 6, p. e133, Jun. 2018, doi: 10.2196/mhealth.7362.
- [372] "{FDA} clears Adherium's third inhaler sensor, for {AstraZeneca}'s Symbicort inhaler." Accessed: Oct. 14, 2017. [Online]. Available: <http://www.mobihealthnews.com/content/fda-clears-adheriums-third-inhaler-sensor-astrazenecas-symbicort-inhaler>.
- [373] "Teva's digital inhaler cleared by FDA | MobiHealthNews." <https://www.mobihealthnews.com/content/tevas-digital-inhaler-cleared-fda> (accessed Jul. 22, 2019).
- [374] "Sanner, Amiko detail partnership targeting novel medication adherence strategies | MobiHealthNews." <http://www.mobihealthnews.com/content/sanner-amiko-detail-partnership-targeting-novel-medication-adherence-strategies> (accessed Feb. 24, 2018).
- [375] "Review: Detection of mood disorders from smartphone voice analysis has a long way to go." Accessed: Oct. 20, 2017. [Online]. Available: <http://www.mobihealthnews.com/content/review-detection-mood-disorders-smartphone-voice-analysis-has-long-way-go>.
- [376] "Google taps National Alliance on Mental Illness to add depression screener to search." Accessed: Oct. 14, 2017. [Online]. Available: <http://www.mobihealthnews.com/content/google-taps-national-alliance-mental-illness-add-depression-screener-search>.
- [377] "Joyable launches its digital depression therapeutic for consumers." Accessed: Oct. 09, 2017. [Online]. Available: <http://www.mobihealthnews.com/content/joyable-launches-its-digital-depression-therapeutic-consumers>.
- [378] "Review: Depression therapy apps make a difference." Accessed: Oct. 21, 2017. [Online]. Available: <http://www.mobihealthnews.com/content/review-depression-therapy-apps-make-difference>.
- [379] "Phone detection of Parkinson's approaches 99 percent accuracy." Accessed: Oct. 20, 2017. [Online]. Available: <http://www.mobihealthnews.com/20068/phone-detection-of-parkinsons-approaches-99-percent-accuracy>.
- [380] "Video game trains people with schizophrenia to block verbal hallucinations | MobiHealthNews." <http://www.mobihealthnews.com/content/video-game-trains-people-schizophrenia-block-verbal-hallucinations> (accessed Feb. 19, 2018).
- [381] "Avella debuts new mobile app to assist physicians treating chronic pain, opioid addiction." Accessed: Oct. 15, 2017. [Online]. Available: <http://www.mobihealthnews.com/content/avella-debuts-new-mobile-app-assist-physicians-treating-chronic-pain-opioid-addiction>.
- [382] "Medtronic gets {FDA} clearance for pain management implant that interfaces with Samsung tablet." Accessed: Oct. 20, 2017. [Online]. Available: <http://www.mobihealthnews.com/content/medtronic-gets-fda-clearance-pain-management-implant-interfaces-samsung-tablet>.
- [383] "Amazon's Alexa now offers health advice from the Mayo Clinic." Accessed: Oct. 21, 2017. [Online]. Available: <http://www.mobihealthnews.com/content/amazons-alexa-now-offers-health-advice-mayo-clinic>.
- [384] "Developers talk promise, pitfalls of voice assistants in healthcare | MobiHealthNews." http://www.mobihealthnews.com/content/developers-talk-promise-pitfalls-voice-assistants-healthcare?mkt_tok=eyJpIjoiTURBeE16SXINakkzT1RneCIsInQiOiJYSXNzYVBDQ2taT1wvMmJ5R3dnenJqVktGUVNkM2hcL0xCcCtLUmN6b2ozOUprcHNUazM3eFduYzFBU

- PhoeG5kSkJYWG40V0tsRDVDMFY1SjFV (accessed Nov. 02, 2017).
- [385] "Doctor's assistant Robin Healthcare emerges from stealth mode | MobiHealthNews." <https://www.mobihealthnews.com/content/doctors-assistant-robin-healthcare-emerges-stealth-mode> (accessed Sep. 11, 2018).
- [386] "{DRG}: 23 percent of {US} physicians use voice assistants at work." Accessed: Oct. 15, 2017. [Online]. Available: <http://www.mobihealthnews.com/content/drg-23-percent-us-physicians-use-voice-assistants-work>.
- [387] "Oculus, VRHealth partner to develop VR pain management, anxiety management therapies | MobiHealthNews." <https://www.mobihealthnews.com/content/oculus-vrhealth-partner-develop-vr-pain-management-anxiety-management-therapies> (accessed Sep. 28, 2018).
- [388] "Isreal's OrCam raises \$30.4M to use computer vision to help the blind | MobiHealthNews." <http://www.mobihealthnews.com/content/isreals-ocam-raises-304m-use-computer-vision-help-blind> (accessed Feb. 22, 2018).
- [389] "Electronic Glasses for Blind People | From 20/200 Vision to 20/20! | eSight." <https://esighteyewear.com/> (accessed Dec. 29, 2019).
- [390] "Fitness app users are 'trying to cheat step counters' | Metro News." <https://metro.co.uk/2019/05/16/fitness-app-users-trying-cheat-step-counters-simple-hack-9570167/> (accessed Jan. 13, 2020).
- [391] "5,000 steps a day to avoid paying higher health insurance costs? When money talks, people walk -- ScienceDaily." <https://www.sciencedaily.com/releases/2013/05/130508092406.htm> (accessed Jan. 13, 2020).
- [392] "Parcours du dispositif médical en France Guide pratique," 2017. Accessed: Jan. 13, 2020. [Online]. Available: www.has-sante.fr.
- [393] "Le marquage «CE» | Direction Générale des Entreprises (DGE)." <https://www.entreprises.gouv.fr/libre-circulation-marchandises/marquage-CE> (accessed Jan. 13, 2020).
- [394] "Haute Autorité de Santé - Commission nationale d'évaluation des dispositifs médicaux et des technologies de santé." https://www.has-sante.fr/jcms/c_419486/fr/commission-nationale-d-evaluation-des-dispositifs-medicaux-et-des-technologies-de-sante (accessed Oct. 30, 2019).
- [395] "Haute Autorité de Santé - Spécificités méthodologiques d'évaluation clinique des dispositifs médicaux connectés." https://www.has-sante.fr/jcms/c_2845863/fr/specificites-methodologiques-d-evaluation-clinique-des-dispositifs-medicaux-connectes (accessed Oct. 30, 2019).
- [396] "What is Technology Penetration | IGI Global." <https://www.igi-global.com/dictionary/reexamining-digital-divide/38557> (accessed Mar. 08, 2020).
- [397] "L'acceptabilité sociale : la prise en compte des déterminants sociaux dans l'analyse de l'acceptabilité des systèmes technologiques | Cairn.info." <https://www.cairn.info/revue-le-travail-humain-2009-4-page-383.htm?contenu=resume> (accessed Mar. 08, 2020).
- [398] "Hofstede's cultural dimensions theory - Wikipedia." https://en.wikipedia.org/wiki/Hofstede%27s_cultural_dimensions_theory (accessed Mar. 08, 2020).
- [399] "Understanding the acceptance factors of an Hospital Information System: evidence from a French University Hospital." <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4765578/> (accessed Mar. 08, 2020).
- [400] "Comparison of user groups' perspectives of barriers and facilitators to implementing electronic health records: a systematic review | BMC Medicine | Full Text." <https://bmcmmedicine.biomedcentral.com/articles/10.1186/1741-7015-9-46> (accessed Mar. 08, 2020).
- [401] "A meta-analysis of the technology acceptance model - ScienceDirect." <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378720606000528> (accessed Mar. 08, 2020).
- [402] "La télésanté : des technologies au service du bien-être des malades ?" <https://journals.openedition.org/sociologies/6646> (accessed Mar. 08, 2020).
- [403] "Des ménages et des entreprises de plus en plus connectés, mais des disparités persistantes | Insee." <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4126596> (accessed Mar. 08, 2020).

- [404] J.-P. Dubrulle, "Les Français et leur carte bancaire," 2019.
- [405] R. Bigot, S. Bourdon, P. Croutte, I. Delakian, S. Hoibian, and F. C. Recours R E D O C, "CONDITIONS DE VIE ET ASPIRATIONS DES FRANÇAIS Rapport réalisé à la demande de: Le Conseil Général de l'Industrie, de l'Energie et des Technologies (CGIET) L'Autorité de Régulation des Communications Electroniques et des Postes (ARCEP) Le département « Conditions de vie et Aspirations des Français » est composé de."
- [406] "Fracture numérique: l'illectronisme touche 17% de la population | Vie publique.fr." <https://www.vie-publique.fr/en-bref/271657-fracture-numerique-lillelectronisme-touche-17-de-la-population> (accessed Jul. 06, 2020).
- [407] "Bluetooth — Wikipédia." <https://fr.wikipedia.org/wiki/Bluetooth> (accessed Jul. 23, 2019).
- [408] "hype — Wiktionnaire." <https://fr.wiktionary.org/wiki/hype> (accessed Sep. 10, 2019).
- [409] "What is Data Analysis? - Big Data vs Deep Data." <https://www.innoplexus.com/blog/what-is-data-analysis/> (accessed Dec. 10, 2019).

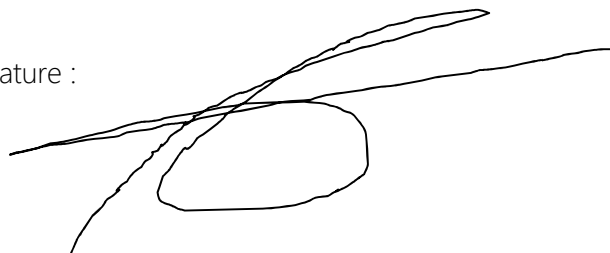
ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT

Je, soussigné (e) Armand Gries.

Déclare être pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. (*Décret n°92-657 du 13 juillet 1992*).

En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce mémoire.

Signature :

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and a long horizontal stroke extending to the right.

SIGNATURES DU DIRECTEUR DE THESE ET DU DOYEN

N° Étudiant : 21301492

N° Thèse : 5

Nom et Prénom : Gries Armand

Sujet : Quelles sont les nouvelles technologies connectées de la santé ? Dans quelle mesure ces dernières peuvent-elles répondre aux besoins des déserts médicaux ?

Tours, le : 27 janvier 2021

.....
Le(s) Directeur(s) de Thèse :

M. Côme Pasqualin - Maître de conférences, Faculté de Pharmacie – TOURS



Vu et Transmis : Le Doyen

La Directrice de l'U.F.R.
des Sciences Pharmaceutiques



Pr V. MAUPOIL-DAVID

QUELLES SONT LES NOUVELLES TECHNOLOGIES CONNECTEES DE LA SANTE ?
DANS QUELLE MESURE CES DERNIERES PEUVENT-ELLES REpondre AUX BESOINS
DES DESERTS MEDICAUX ?

AVEC LE DEVELOPPEMENT DES NOUVELLES TECHNOLOGIES CONNECTEES EN SANTE,
NOTAMMENT LA TELEMEDECINE, OBSERVE-T-ON DE NOUVELLES FAÇONS
D'EXERCER LA MEDECINE QUI POURRAIENT REpondre AUX BESOINS DES DESERTS
MEDICAUX ?

NOUS DEFINIRONS TOUT D'ABORD CE QUE SONT LES DESERTS MEDICAUX EN
FRANCE, ET EGALEMENT AUX ETATS-UNIS ET AU CANADA.

PUIS NOUS EXPOSERONS LES DIFFERENTS DOMAINES DES TECHNOLOGIES
CONNECTEES DE LA SANTE. LA TELEMEDECINE : SON HISTOIRE, SES CHAMPS
D'APPLICATIONS ET LA LEGISLATION ENTOURANT SON REMBOURSEMENT. NOUS
VERRONS DANS QUELLES MESURES ELLE PEUT REMPLACER LA MEDECINE
CONVENTIONNELLE ET ENFIN, QUELLES SONT LES PRATIQUES LES PLUS
INNOVANTES EN TELEMEDECINE. ENSUITE, LA DIABETOLOGIE CONNECTEE, EN
QUOI ELLE MODIFIE FONCIEREMENT LE VECU DU PATIENT DIABETIQUE. NOUS
NOUS CONCENTRERONS SUR LES CAPTEURS DE GLUCOSE INTERSTITIEL
(FREESTYLE LIBRE, EVERSENSE) AINSI QUE SUR LES SYSTEMES DE PANCREAS
ARTIFICIELS, EN CONCLUANT SUR L'APPORT QUE CES NOUVELLES TECHNOLOGIES
PEUVENT AVOIR POUR LA PRISE EN CHARGE DE PATIENTS DANS LES DESERTS
MEDICAUX. ENFIN NOUS DISCUTERONS DE LA CARDIOLOGIE CONNECTEE, EN
ENUMERANT LES TECHNOLOGIES QUI LA CONSTITUE ET EN CITANT SES ACTEURS
INDUSTRIELS MAJEURS.

NOUS CONCLURONS A UNE DICHOTOMIE FORTE ENTRE LA REALISATION
TECHNIQUE (AVEC DE NOUVELLES TECHNOLOGIES TOUJOURS PLUS INGENIEUSES
ET PERFORMANTES), ET LA REALITE DE TERRAIN, EMPREINTE DE FREINS
SOCIOLOGIQUES.

DONC, EN L'ETAT, LES TECHNOLOGIES CONNECTEES NE SONT PAS LA SOLUTION
AUX PROBLEMATIQUES DES DESERTS MEDICAUX.

DESERTS MEDICAUX ; TELEMEDECINE ; TELECONSULTATION ; E-SANTE ;
DIABETOLOGIE CONNECTEE ; CARDIOLOGIE CONNECTEE

JURY

PRESIDENT : MME MAUPOIL, PROFESSEUR, FACULTE DE PHARMACIE - TOURS
MEMBRES :

M. PASQUALIN, MAITRE DE CONFERENCES, FACULTE DE PHARMACIE - TOURS
M. DE LA BARDONNIE, PHARMACIEN TITULAIRE - JOUE-LES-TOURS

LE 27 JANVIER 2021 - FACULTE DE PHARMACIE DE TOURS