

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

VERS UN SYSTEME OPTIMAL DE GESTION DE LA PRISE EN CHARGE DES PATIENTS AU CANADA :
APPORT DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

MÉMOIRE

PRÉSENTÉE

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAITRISE ES SCES DE LA GESTION (STRATEGIE, AVEC MEMOIRE)

PAR

INÈS TALOUT

JUIN 2023

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.07-2011). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

A l'éternel Dieu tout puissant, qui m'a doté d'intelligence ; et m a maintenu en santé, à qui je dois la vie et sans lui je ne serais parvenu à la réalisation de ce travail.

J'offre tout d'abords mes sincères et chaleureux remerciements à mon directeur de recherche, Mme. Soumaya Ben Letaifa pour son encadrement, son orientation, ses conseils qu'elle m'a témoignés pour me permettre de mener à bien ce travail.

Ma gratitude s'adresse également à mes enseignants durant ma dernière session d'études. Notamment Mme. Camélia Dumitriu Qui a été d'un soutien et d'une attention exceptionnels.

Je tiens à remercier également mon très chère fiancé K. Meliani pour son amour, son aide, son écoute et sa présence malgré les moments difficiles qu'on a dû traverser et de m'avoir encouragé dans tout ce que j'entreprends.

A ma famille et mes amis qui par leurs prières et leurs encouragements, j'ai pu surmonter tous les obstacles.

Enfin, que toutes les personnes qui ont permis que ce travail voie le jour soient assurées de ma profonde reconnaissance.

DÉDICACE

Gloire soit rendue à Dieu tout puissant le très
miséricordieux pour tous ses bienfaits dont il m'a comblé et
de m'avoir donné le courage et la force pour réaliser ce
modeste travail que je dédie le cœur plein de joie :

A mes très chers parents,

Que je remercie du fond du cœur pour m'avoir soutenue
tout au long de mon parcours scolaire, et d'avoir cru en
moi, pour leur orientation, leur encouragement ainsi que
leur immense amour et affection, sans eux je n'en serai pas
là.

A ma plus grande source d'inspiration, ma bien aimée et
unique tante pour son soutien indéfectible, son
encouragement pour que j'aie loin et ses conseils.

A ma vie, ma grand-mère adorée,

A mon défunt grand père,

A mes deux frères Samy et Yassine,

A mon cher cousin Sammy,

A mon Amour,

Mes mots ne suffisent pas pour exprimer toute la gratitude
que mon cœur contient pour vous qui êtes si patients et
aimables envers moi.

J'espère que ce travail satisfera la confiance que vous avez
en moi, ma joie aura été votre attention qui m'a poussé à
aller de l'avant.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	ii
DÉDICACE	iii
TABLE DES MATIERES	iv
LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES TABLEAUX	viii
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	ix
RESUME	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1	5
Revue de la littérature	5
1.1. INNOVATION	5
1.1.1. Généralités sur l'innovation.....	5
1.1.2. Open innovation	9
1.2. INTELLIGENCE ARTIFICIELLE	12
<u>1.2.1.</u> DÉFINITION	12
<u>1.2.2.</u> HISTORIQUE.....	12
1.3. Innovation et Intelligence artificielle	14
1.4. CLASSIFICATION DES SYSTÈMES D'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE EN SANTÉ	16
1.4.1. Classification selon la dimension « technologie »	17
1.4.2. Classification selon la dimension « utilisation »	18
1.4.3. Classification basée sur le degré d'autonomie	22
1.5. APPLICATIONS PRATIQUES DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE DANS LE DOMAINE DE LA SANTÉ.....	23
1.5.1. Prévion de l'apparition du sepsis	23
1.5.2. Systèmes de surveillance dans l'unité de soins intensifs.....	24
1.5.3. Détection de tumeurs à partir de l'analyse d'images	25
1.5.4. Triage des patients et vérificateurs de symptômes.....	25
1.5.5. Prédiction des risques cardiovasculaires	26
1.5.6. Robots de soins à domicile	26

1.5.7. Biomécatronique	27
1.5.8. Utilisation de robots pour contrôler l'efficacité du traitement	27
1.6. DOSSIERS MÉDICAUX ÉLECTRONIQUES ET INTELLIGENCE ARTIFICIELLE	28
1.6.1. Comparaison des dossiers médicaux électroniques et papiers	28
1.6.2. L'impact de l'intégration de l'intelligence artificielle dans les dossiers médicaux électroniques (DME)	30
1.6.3. Défis de l'IA utilisant les données du DME	32
CHAPITRE 2.....	34
METHODOLOGIE	34
2.1. TYPE DE METHODE.....	34
2.2. CHOIX DES EXPERTS	36
2.3. COLLECTE DES DONNEES.....	36
2.4. ANALYSE DES DONNEES	37
2.5. CONSIDERATIONS ETHIQUES	37
CHAPITRE 3.....	38
RESULTATS.....	38
3.1. DONNEES PRIMAIRES.....	38
3.2. DONNEES SECONDAIRES.....	56
3.2.1. Étapes de l'intervention de l'IA dans la prise en charge des patients.....	56
3.2.2. L'IA pour améliorer l'efficacité opérationnelle.....	57
3.2.3. L'intelligence artificielle pour prévoir le flux de patients.....	57
3.2.4. Modèles de prévision des flux de patients.....	58
3.2.5. Prédiction de la progression de la maladie à l'aide de modèles de forêt aléatoire	60
3.2.6. Aide à la prise de décisions complexes dans les soins intensifs.....	61
3.2.7. Erreurs pouvant survenir dans l'utilisation de l'IA	62
3.2.8. Solutions possibles	64
CHAPITRE 4	66
ANALYSE QUALITATIVE DES ENTRETIENS.....	66
4.1. LES CHAMPS D'APPLICATION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE EN SANTE.....	66
4.2. ETAPES D'INTERVENTION DE L'IA LORS DE LA PRISE EN CHARGE DES PATIENTS.....	66
4.3. IMPACT DE L'IA SUR LES ETAPES DE LA PRISE EN CHARGE DES PATIENTS	66
4.4. ERREURS DE L'IA LORS DE LA PRISE EN CHARGE DES PATIENTS.....	67

4.5. PROPOSITIONS POUR UNE GESTION OPTIMALE DE LA PRISE EN CHARGE DES PATIENTS EN UTILISANT L'IA67

4.6. ENJEUX OU DEFIS LIES A L'USAGE DE L'IA.....67

4.7. LIMITES DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE68

4.8. CONTRAINTES ETHIQUES DANS L'UTILISATION DE L'IA68

4.9. GESTION DES CONTRAINTES ETHIQUES.....68

4.10.AVENIR DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE POUR LA SANTE69

4.11.DOMAINE OU L'IA EST PLUS IMPLANTE AU CANADA ET AU QUEBEC ?69

4.12.QUESTIONS IMPORTANTES A TRAITER AUJOURD'HUI EN IA EN SANTE69

4.13.VALIDITE DE L'ETUDE69

4.14.LIMITES DE L'ETUDE70

CONCLUSION..... 71

ANNEXE A 72

ANNEXE B 74

ANNEXE C 75

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... 76

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Categorization of systems based on AI and robotics in health care.....	16
Figure 1.2 : Levels of autonomy of robotic and AI systems.....	23

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1 : Résultats des entretiens..... 38

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

DME	:	Dossiers Médicaux Electroniques
ECG	:	Electrocardiogramme
IA	:	Intelligence Artificielle
IC	:	Insuffisance Cardiaque
NASA	:	National Aeronautics and Space Administration
USI	:	Unité de Soins Intensifs
SADC	:	Système d'Aide à la Décision Clinique

RESUME

L'intelligence artificielle (IA) en santé est l'utilisation des algorithmes et logiciels pour imiter la cognition humaine dans l'analyse, la présentation et la compréhension de données médicales et de soins de santé complexes. L'IA offre ainsi un grand potentiel pour améliorer les soins médicaux et soutenir le personnel médical dans un contexte d'augmentation de la démographie et de pénurie du personnel médical. Le Canada s'inscrivant dans les pays utilisant l'IA, la présente étude visait à savoir l'apport de l'intelligence artificielle dans la gestion de la prise en charge des patients dans ce pays. Plusieurs hypothèses ont été émises : l'intelligence devrait aider les professionnels et les parties prenantes à gérer les nombreuses données et à les transformer en informations susceptibles de sauver des vies ; permettrait d'optimiser le flux des patients. Une méthode qualitative a été utilisée avec des entretiens semi-directifs au niveau de trois experts en domaine d'intelligence artificielle et santé. Nous avons réalisé les entretiens par zoom ou par appels téléphoniques. De ces entretiens, il ressort que l'IA intervient dans la prise en charge préventive, l'orientation du patient, le tri, et dans le diagnostic des pathologies des patients. Pour d'autres experts, elle intervient au niveau de la recherche, la clinique et le système de gestion en santé. Toutes fois des erreurs peuvent survenir lors de l'utilisation de l'intelligence artificielle en santé et sont surtout liées à des biais algorithmiques. Plusieurs défis ont été soulignés donc à savoir : la responsabilité en cas d'erreur, le risque de délégation de la décision médicale à l'IA et enfin la manière d'associer le patient à la prise de décision. Former les professionnels de santé à son utilisation est une façon de maîtriser les erreurs éthiques pouvant survenir. Ainsi, des réflexions doivent être faites pour une utilisation judicieuse de l'IA en soins de santé.

Mots clés : intelligence artificielle- prise en charge- patients- Canada

ABSTRACT

Artificial intelligence (AI) in healthcare is the use of algorithms and software to mimic human cognition in the analysis, presentation and understanding of complex medical and healthcare data. AI thus offers great potential to improve medical care and support medical personnel in a context of increasing demographics and shortage of medical personnel. As Canada is one of the countries using AI, the present study aimed to find out the contribution of artificial intelligence in the management of patient care in this country. Several hypotheses were put forward: intelligence should help professionals and stakeholders manage the large amount of data and transform it into life-saving information; it would optimize patient flow. A qualitative method was used with semi-structured interviews with three experts in the field of artificial intelligence and health. We conducted the interviews by zoom or by phone calls. From these interviews, it appears that AI intervenes in preventive care, patient orientation, triage, and in the diagnosis of patient pathologies. For other experts, it intervenes at the level of research, the clinic, and the health management system. However, errors can occur when using artificial intelligence in health care and are mainly related to algorithmic biases. Several challenges have therefore been highlighted: the responsibility in case of error, the risk of delegating medical decisions to AI and finally the way to involve the patient in the decision-making process. Training health professionals to use AI is a way to control the ethical errors that can occur. Thus, reflections must be made for a judicious use of AI in health care.

Keywords : artificiel intelligence- care- patients- Canada

INTRODUCTION

L'intelligence artificielle est sur le point de transformer la médecine, en proposant de nouvelles technologies d'assistance qui permettront aux médecins de mieux servir leurs patients. Pour preuve, en 2023, dans une structure sanitaire de Toronto, le chirurgien Michael Zywiell a réussi une intervention chirurgicale à l'aide d'un Robot baptisé Velys¹. Cet appareil a permis au praticien d'effectuer des incisions très précises avec pour avantage la réduction des lésions ligamentaires et musculaires. Alors, l'apprentissage automatique a des dizaines de domaines d'application possibles, mais les soins de santé se démarquent comme une opportunité remarquable de bénéficier aux gens². L'intelligence artificielle est un terme général qui implique l'utilisation d'un ordinateur pour modéliser un comportement intelligent avec une intervention humaine minimale. Selon Kerstin, l'intelligence artificielle est utilisée pour décrire l'utilisation d'ordinateurs et de technologies pour simuler un comportement intelligent et une pensée critique comparables à ceux d'un être humain³. Elle est identifiée comme un outil prometteur pour soutenir l'administration des soins de santé⁴. La recherche sur les applications de l'intelligence artificielle dans les soins de santé et au sein des hôpitaux est un domaine d'innovation crucial⁵. Des soins de santé intelligents avec le soutien de technologies d'IA, telles que le « *learning machine* », sont nécessaires en raison de défis identifiés dans la fourniture d'un soutien médical dans les pays européens ainsi que dans le reste du monde. Ce n'est pas seulement l'apparition de la pandémie de COVID-19 qui révèle les problèmes et les défis actuels des hôpitaux européens⁶. En raison d'une espérance de vie plus longue, les progrès de la médecine au cours des dernières décennies ont eu pour effet de rendre les patients plus âgés, plus fragiles et plus multimorbides. Ceci s'accompagne du fait que les soins médicaux et les maladies deviennent de plus

¹ ICI Toronto, « Un hôpital de Toronto utilise un robot pour une opération de remplacement du genou », Radio-Canada.ca (Radio-Canada.ca, 2023), <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1949705/chirurgie-genou-robot-toronto-premiere>.

² Junaid Bajwa et al., « Artificial intelligence in healthcare: transforming the practice of medicine », *Future Healthcare Journal* 8, n° 2 (juillet 2021): e188-94, <https://doi.org/10.7861/fhj.2021-0095>.

³ Kerstin Denecke et Claude R. Baudoin, (Juillet 2022) « A Review of Artificial Intelligence and Robotics in Transformed Health Ecosystems », *Frontiers in Medicine*

⁴ Bajwa et al., « Artificial intelligence in healthcare ».

⁵ Matthias Klumpp et al., « Artificial Intelligence for Hospital Health Care : Application Cases and Answers to Challenges in European Hospitals », *Healthcare (Basel, Switzerland)* 9, n° 8 (29 juillet 2021) : 961, <https://doi.org/10.3390/healthcare9080961>.

⁶ Matthias Klumpp et al., « Artificial Intelligence for Hospital Health Care: Application Cases and Answers to Challenges in European Hospitals », *Healthcare (Basel, Switzerland)* 9, n° 8 (29 juillet 2021): 961, <https://doi.org/10.3390/healthcare9080961>.

en plus complexes⁷. En raison de l'évolution de la science médicale, le professionnel de la santé est de plus en plus spécialisé, ce qui ne peut généralement pas être entièrement pris en charge par les petits hôpitaux. À cela s'ajoute le changement démographique qui se dessine déjà en Europe, par exemple, la population des plus de 80 ans dans l'UE27 doublera, passant de 6,1% en 2020 à 12,5% en 2060. Par conséquent, davantage de personnes âgées, avec leurs problèmes de santé spécifiques, utiliseront les systèmes de soins de santé. En revanche, le nombre de jeunes médecins bien formés est actuellement en baisse et une pénurie de personnel qualifié, comme les médecins et les infirmières, se fait déjà sentir dans de nombreuses nations⁸. Dans les unités de soins intensifs (USI) le résultat de cette situation est souvent l'allongement de l'attente du patient qui est source, d'anxiété et de conséquences pouvant être néfastes pour les patients, et également une augmentation de la pression sur le personnel⁹. On pourrait penser que la solution est dans l'augmentation du nombre de lits ou de personnel, mais en réalité ce problème n'est pas seulement un problème de ressources. Proposition est faite alors d'optimiser la gestion des lits disponibles. Le véritable défi devient celui du flux des patients : il s'agit d'anticiper et de savoir quand faire passer un patient d'un établissement de soins à un autre ou encore d'une unité de soins à une autre. Bref, des défis d'orchestration très complexes et dynamiques : Quel patient en attente aux urgences devrait obtenir le prochain lit en soins intensifs ? Quel patient hospitalisé en soins intensifs peut-on déplacer vers une unité de soins secondaires pour libérer un lit ? Quel patient est prêt à être libéré pour une poursuite des soins à domicile ? La gestion du flux de patients nécessite une vue d'ensemble à travers les différentes parties de l'hôpital ou du réseau hospitalier. Or, c'est précisément ce qui manque dans nos hôpitaux actuellement¹⁰. Les données cliniques et opérationnelles sont dispersées, les équipes soignantes n'ont pas une vision globale de la situation au-delà de leur unité ou de leur service¹¹. C'est cette insuffisance d'informations rapidement disponibles et utilisables qui peut enrayer la hiérarchisation des patients (c'est-à-dire quel patient doit être vu en premier), ralentir les transitions des patients et entraver le processus de gestion des flux des patients. La pandémie liée à la COVID-19 a mis en avant nombre de ces défis. Mais, elle a aussi donné vie à des nouveaux moyens de les relever. Les professionnels de santé ont adopté des modèles

⁷ Klumpp et al.

⁸ Klumpp et al.

⁹ « La force de la prédiction : comment l'IA peut aider les hôpitaux à prévoir et gérer les flux de patients », Philips, consulté le 1 septembre 2022, <https://www.philips.fr/a-w/about/news/archive/standard/news/articles/20211029-the-power-of-prediction-how-ai-can-help-hospitals-forecast-and-manage-patient-flow.html>.

¹⁰ « La force de la prédiction : comment l'IA peut aider les hôpitaux à prévoir et gérer les flux de patients », Philips, consulté le 1 septembre 2022, <https://www.philips.fr/a-w/about/news/archive/standard/news/articles/20211029-the-power-of-prediction-how-ai-can-help-hospitals-forecast-and-manage-patient-flow.html>.

¹¹ « La force de la prédiction ».

de collaboration centralisée en matière de soins, partageant des données en temps réel pour visualiser les capacités inexploitées et faciliter les transferts de patients. Et, ils ne se contentent pas de s'appuyer sur ces données pour avoir une vue d'ensemble de ce qui se passe au jour le jour. Ils les utilisent également pour prévoir, préparer et répondre à la demande future. Par ailleurs, les défis liés à l'augmentation simultanée du nombre de patients âgés et multimorbides souffrant de maladies complexes et à la pénurie de personnel qualifié sont également entravés par les contraintes économiques croissantes qui pèsent sur les hôpitaux¹². Afin de ne pas mettre en péril le niveau de vie et de santé des nations européennes, il sera nécessaire de développer des solutions d'IA appliquées pour réduire la charge de travail et contribuer à fournir des soins de santé efficaces et efficaces.¹³ L'adaptabilité et l'agilité des hôpitaux sont des conditions préalables majeures dans ce contexte, et limiter l'application de l'IA à la seule optimisation revient à passer à côté de l'essentiel dans de nombreux cas. En ouvrant un éventail plus large d'options exploitables, allant du diagnostic et du traitement médical personnalisé au choix en matière de soins, d'approvisionnement et de logistique, les applications de l'IA fourniront des soutiens plus importants que les seules améliorations de l'efficacité. Selon Badjwa (2022) « À long terme, les systèmes d'IA deviendront plus intelligents, ce qui permettra aux systèmes de soins de santé d'IA d'atteindre un état de médecine de précision, ainsi, les soins de santé passeront de la forme traditionnelle à une gestion préventive et personnalisée »¹⁴. L'IA offre ainsi un grand potentiel pour améliorer les soins médicaux et soutenir le personnel médical. Actuellement que la crise liée au Covid-19 commence par être maîtrisée, l'opportunité nous ait offerte d'inclure ces pratiques axées sur les données dans la gestion journalière du flux des patients, allant de l'admission à l'hôpital, à la sortie de l'hôpital incluant le suivi à domicile. Utilisant l'intelligence artificielle et la modélisation prédictive, nous pouvons obtenir des modèles pertinents et des informations sur le flux des patients et leurs besoins en matière de soins à partir de grandes quantités de données hospitalières historiques et en temps réel¹⁵. Ainsi, des algorithmes peuvent être mis en place et mis à jour régulièrement pour tenir compte des tendances et des circonstances récentes, optimisant donc la valeur prédictive. Les gestionnaires hospitaliers et les coordinateurs du flux de patients pourront ainsi optimiser les soins dans tous les établissements et s'adapter rapidement à l'évolution des circonstances

¹² « La force de la prédiction ».

¹³ Optimiser, c'est arbitrer entre l'efficacité et l'efficience, Donabedian, 1991.

¹⁴ Bajwa et al., « Artificial intelligence in healthcare ».

¹⁵ « La force de la prédiction ».

Plusieurs études ont montré que les algorithmes d'intelligence artificielle sont capables de gérer un nombre important de patients afin d'augmenter les soins cliniques en réduisant les demandes administratives des cliniciens¹⁶. Si la pandémie associée au Covid-19 a mis la lumière sur les soins intensifs, les hôpitaux du monde entier sont depuis longtemps confrontés à des pénuries de lits et de personnel pour répondre à la demande de soins aigus. Dans de nombreux pays dont le Canada, les services d'urgence doivent faire face à des débordements d'occupation de façon chronique. Face à cette situation, les réflexions se sont orientées vers l'utilisation de l'IA, ainsi, nous avons décidé d'évaluer l'apport de cette dernière dans la gestion de la prise en charge des patients au Canada. Dans un premier temps dans ce mémoire, nous allons présenter une revue de littérature sur le sujet de question, ensuite présenter notre méthodologie. Le 3^e chapitre consistera à présenter les résultats de notre enquête, résultats que nous analyserons dans le chapitre 4, puis terminerons ce mémoire par une conclusion.

¹⁶ Bajwa et al., « Artificial intelligence in healthcare ».

CHAPITRE 1

Revue de la littérature

Dans ce chapitre, dans un premier temps, nous allons aborder d'abord la question de l'innovation. Nous allons ensuite définir l'intelligence artificielle et faire l'historique de ce concept, puis nous allons faire une classification des systèmes d'intelligence artificielle selon plusieurs dimensions. Les applications pratiques de l'IA en santé seront présentées et nous ferons ressortir enfin l'intérêt des dossiers médicaux électroniques lors de l'utilisation de l'IA.

1.1. INNOVATION

1.1.1. Généralités sur l'innovation

L'innovation a été la tâche principale des humains tout au long de l'histoire. Pour survivre et améliorer la qualité de vie, il est impératif de déployer des efforts constants en matière d'innovation. L'innovation est, de façon générale, l'émergence d'une nouveauté pour des fonctions ou des usages. Dans le manuel d'Oslo en 2005, elle est caractérisée comme la mise en œuvre d'un produit (bien ou service) ou d'un procédé (de production) nouveau ou sensiblement amélioré, d'une nouvelle méthode de commercialisation ou d'une nouvelle méthode organisationnelle dans les pratiques d'une entreprise, la gestion du lieu de travail ou les relations extérieures. Ce concept peut donc se retrouver dans les domaines de la technologie, l'économie, culturel, et, au-delà des entreprises, dans les institutions, les territoires ou encore les modes de vie et également en santé ¹⁷.

Toutes les grandes vagues révolutionnaires de l'histoire de l'humanité - agricole, industrielle, de l'information, et aujourd'hui de la convergence - sont toutes liées à l'innovation pour créer une valeur nouvelle et meilleure¹⁸. Les dirigeants politiques soulignent l'importance de l'innovation pour la justice sociale et un environnement de vie de meilleure qualité pour les citoyens. Les dirigeants internationaux soulignent l'importance de l'innovation continue pour de nouveaux produits/services et des initiatives pour les clients, mais 94 % d'entre eux se déclarent insatisfaits de leurs performances en matière

¹⁷ Marie-Françoise Chevallier-Le Guyader et Paul Maitre, « L'innovation : une injonction ? », *Raison présente* 206, n° 2 (2018): 3-10, <https://www.cairn.info/revue-raison-presente-2018-2-page-3.htm>.

¹⁸ Sang M. Lee, David L. Olson, et Silvana Trimi, « Co-innovation: Convergencomics, Collaboration, and Co-creation for Organizational Values », *Management Decision* 50, n° 5 (25 mai 2012): 817-31, <https://doi.org/10.1108/00251741211227528>.

d'innovation¹⁹. Les dirigeants d'organisations à but non lucratif poursuivent l'innovation pour lutter contre les maux sociaux que sont la fracture économique, la fracture numérique et la fracture des objectifs. L'objectif de l'innovation est bien plus profond que la simple création d'une plus grande valeur pour le client, d'un meilleur avantage concurrentiel pour les entreprises et d'un environnement propice à une meilleure qualité de vie. L'objectif ultime de l'innovation devrait être la création d'un avenir meilleur. Le "petit i" de l'innovation est celui d'un individu, d'une organisation, d'une société ou d'un pays. Toutefois, le "grand I" devrait être l'innovation pour créer un avenir intelligent²⁰.

1.1.1.1. Classification de l'innovation

L'innovation a été classée de différentes manières dans la littérature. Toutefois, de nombreuses études ont proposé les quatre grandes classifications suivantes : innovation incrémentale (exploitation), radicale (exploration), ambidextre et perturbatrice²¹. L'innovation incrémentale implique une amélioration continue de ce qui est déjà connu. Les entreprises japonaises ont fait de grands progrès dans l'expansion de leur présence sur le marché mondial en mettant l'accent sur le Kaizen (par exemple, Kawasaki, Sony, Toyota, etc.). Ce type d'innovation se déroule généralement sur des périodes relativement courtes. Des études ont montré que la majorité des innovations sont de ce type, mais qu'elles contribuent à moins d'un tiers des bénéfices totaux. Cela signifie que les entreprises ne peuvent pas maintenir leur compétitivité en se concentrant principalement sur les innovations incrémentales²².

L'innovation radicale implique l'exploration de l'inconnu. De nombreuses inventions, brevets ou modèles commerciaux représentent de telles innovations (par exemple, les systèmes de traitement parallèle, les appareils photo numériques, la technologie 3D, le séquençage de l'ADN, le commerce électronique, l'économie de partage, etc.) Ce type d'innovation nécessite généralement une longue période de recherche et développement, d'expérimentation, d'approbation réglementaire ou d'acceptation par le marché. L'innovation exploratoire peut être lancée pour le marché existant.

¹⁹ Sang M. Lee et Silvana Trimi, « Innovation for Creating a Smart Future », *Journal of Innovation & Knowledge* 3, n° 1 (janvier 2018): 1-8, <https://doi.org/10.1016/j.jik.2016.11.001>.

²⁰ Lee et Trimi.

²¹ Mary J. Benner et Michael L. Tushman, « Reflections on the 2013 Decade Award—“Exploitation, Exploration, and Process Management: The Productivity Dilemma Revisited” Ten Years Later », *Academy of Management Review* 40, n° 4 (octobre 2015): 497-514, <https://doi.org/10.5465/amr.2015.0042>.

²² Lee et Trimi, « Innovation for Creating a Smart Future ».

Toutefois, l'objectif ultime de ce type d'innovation est de devenir le premier acteur d'un nouveau marché océanique qui apporte de nouvelles valeurs au client et génère de nouveaux profits. Avec l'avènement de l'ère numérique, le lieu de l'innovation a dépassé les frontières des organisations pour s'étendre aux communautés mondiales d'innovation ouverte pour la co-innovation²³. La plupart des organisations ne peuvent pas se concentrer sur un seul type d'innovation, qu'il s'agisse d'innovation d'exploitation ou d'innovation exploratoire. De nombreuses organisations possèdent certaines compétences de base qui ont été développées au fil du temps. Ces compétences peuvent être améliorées en permanence afin d'accroître la productivité et de générer des rendements financiers supplémentaires²⁴. Toutefois, elles ne peuvent pas se contenter d'améliorer leurs compétences de base existantes dans un environnement de marché volatil et en évolution rapide. L'innovation exploratoire est donc impérative. La question stratégique cruciale est de savoir comment les organisations doivent équilibrer l'innovation d'exploitation et l'innovation exploratoire afin de pouvoir tirer parti de leurs compétences de base actuelles tout en s'efforçant de développer un nouvel avantage concurrentiel grâce à l'innovation exploratoire. Une organisation qui parvient à trouver un juste équilibre entre les deux types d'innovation ne peut pas seulement réduire les tensions entre les deux principaux courants d'innovation, mais aussi rechercher les effets synergiques de leurs forces²⁵. Ainsi, l'innovation ambidextre s'efforce de développer des capacités dynamiques afin que les stratégies organisationnelles soient en phase avec les situations de marché en évolution rapide, telles que les conditions mondiales, les avancées technologiques, l'évolution démographique, les tendances mondiales en matière d'urbanisation, les efforts de durabilité environnementale, etc²⁶, tout en améliorant continuellement son avantage concurrentiel existant²⁷.

L'innovation perturbatrice est un concept complexe. Toutefois, la notion de base est que les entreprises ont tendance à dépasser leurs marchés avec de nouvelles avancées technologiques pour le grand public, créant ainsi un marché pour les nouveaux venus qui peuvent même renverser les leaders du marché en place. Un bon exemple est celui de Xiaomi, qui a lancé des smartphones très bon

²³ Lee et Trimi.

²⁴ Benner et Tushman, « Reflections on the 2013 Decade Award—“Exploitation, Exploration, and Process Management ».

²⁵ Lee et Trimi, « Innovation for Creating a Smart Future ».

²⁶ Sebastian Raisch et al., « Organizational Ambidexterity: Balancing Exploitation and Exploration for Sustained Performance », *Organization Science*, 10 juin 2009, <https://doi.org/10.1287/orsc.1090.0428>.

²⁷ Lee et Trimi, « Innovation for Creating a Smart Future ».

marché mais excellents pour les clients soucieux d'économie et qui est devenu un leader du marché en Chine. Le modèle commercial de Xiaomi a perturbé le marché existant et les règles de la concurrence. Toutefois, récemment, d'autres nouveaux fabricants chinois de smartphones, tels que Vivo, Oppo et OnePlus, ont fait des percées significatives dans la part de marché de Xiaomi en utilisant leurs propres stratégies d'innovation perturbatrice²⁸.

1.1.1.2. Évolution de l'innovation

L'innovation a également été examinée en fonction de son évolution.

- L'innovation 1.0 peut être qualifiée d'innovation fermée. Dans cette phase, l'innovation est liée à l'organisation et la plupart des nouvelles idées sont donc le résultat de la R&D interne de l'organisation pour développer ses propres compétences de base²⁹. Dans le passé, de nombreux pionniers du marché se sont appuyés sur ce type d'innovation (par exemple, Bell Lab, Proctor and Gamble (inventé ici), la NASA (comme seule la NASA peut le faire), et ainsi de suite).
- L'innovation 2.0 représente l'innovation collaborative. Dans cette phase, les organisations collaborent avec des sources ou des partenaires externes pour l'innovation dans la chaîne de valeur. De nombreuses entreprises mondiales, telles que Apple, Dell, Mattel, Zara, Boeing, etc. s'appuient sur ce type d'innovations.
- L'innovation 3.0 est une innovation ouverte dans laquelle les organisations recherchent de nouvelles sources d'innovation à la fois internes et externes³⁰. Certains chercheurs suggèrent que l'innovation ouverte est assez similaire au crowdsourcing de l'innovation. Toutefois, nous pensons que l'innovation ouverte est beaucoup plus ciblée que l'intelligence collective au sens large ou le crowdsourcing. Il existe un très grand nombre d'intermédiaires de l'innovation ouverte (que nous appelons "innomédiaires") dans le monde des affaires. Parmi les plus connus, citons NineSigma, InnoCentive, YourEncore, Yet2.com, etc. La séduction de l'innovation ouverte n'est pas à négliger, même si des défis existent également³¹.

²⁸ Lee et Trimi.

²⁹ Lee, Olson, et Trimi, « Co-innovation ».

³⁰ Henry William Chesbrough, *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology* (Harvard Business Press, 2003).

³¹ Lee, Olson, et Trimi, « Co-innovation ».

- L'innovation 4.0, la co-innovation, consiste pour les organisations à développer un écosystème d'innovation pour évaluer et faire converger les idées générées par toutes les sources utiles telles que la R&D interne, la collaboration, l'approvisionnement ouvert, la co-crédation avec les clients et les organisations partenaires, etc. afin d'élaborer des plans d'innovation réalisables. La plateforme de co-innovation est la plaque tournante d'un réseau d'innovation comportant de nombreux nœuds et réseaux de capteurs d'innovation intelligents³².

1.1.2. Open innovation

Les entreprises s'appuient sur l'innovation pour se développer et rester compétitives face à l'évolution dynamique des conditions scientifiques, technologiques et sociétales. Traditionnellement, l'approche de l'industrie a consisté à générer l'innovation en interne, au sein de départements de recherche et de développement spécialisés. Toutefois, cette approche présente des inconvénients : d'une part, il y a toujours beaucoup d'innovations potentiellement précieuses générées en parallèle en dehors des entreprises et, d'autre part, les innovations générées en interne ne peuvent pas toujours être traduites en produits ou services commerciaux profitant à l'entreprise. C'est pourquoi on assiste depuis peu à un changement de paradigme en faveur de l'innovation ouverte, un modèle qui n'exclut pas l'innovation interne traditionnelle, mais qui est ouvert à l'intégration de l'innovation générée à l'extérieur³³. L'innovation ouverte, telle que définie par Chesbrough et Bogers³⁴, est "un processus d'innovation distribué basé sur des flux de connaissances gérés à dessein au-delà des frontières organisationnelles, en utilisant des mécanismes pécuniaires et non pécuniaires conformes au modèle d'entreprise de l'organisation." L'innovation dérivée de sources externes peut inclure des idées, des technologies, de la recherche et du développement. Dans le cadre de l'innovation ouverte, les entreprises sont passées de la protection de la propriété intellectuelle à la collaboration et à l'engagement entre l'industrie, les universités et l'industrie, d'une part, et le public, d'autre part. Les

³² Lee et Trimi, « Innovation for Creating a Smart Future ».

³³ Richard Hodson, « Open Innovation », *Nature* 533, n° 7602 (mai 2016): S53-S53, <https://doi.org/10.1038/533S53a>.

³⁴ Henry Chesbrough et Marcel Bogers, « Explicating Open Innovation: Clarifying an Emerging Paradigm for Understanding Innovation », in *New Frontiers in Open Innovation*, éd. par Henry Chesbrough, Wim Vanhaverbeke, et Joel West (Oxford University Press, 2014), 0, <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199682461.003.0001>.

premiers à adopter le concept d'innovation ouverte ont été les industries dites "de haute technologie" dans le domaine des technologies de l'information, de l'informatique et des produits pharmaceutiques.

Au-delà de ces premiers adeptes, d'autres secteurs industriels d'importance médicale ont peu après adopté le concept d'innovation ouverte, notamment les secteurs des dispositifs médicaux, des produits chimiques et des outils et services. En fonction de la direction du mouvement des nouvelles connaissances, trois types différents de processus d'innovation ouverte ont été distingués³⁵. Le processus extérieur-intérieur (inbound) implique l'intégration des connaissances internes d'une organisation avec des connaissances dérivées de sources externes ; le processus intérieur-extérieur (outbound) implique la génération de profits pour l'organisation en transférant des connaissances générées en interne ou de la propriété intellectuelle à des entités externes ; et le troisième processus, "couplé", implique une combinaison des processus intérieurs et extérieurs par la formation d'alliances avec des entités externes complémentaires³⁶. L'analyse de la littérature sur l'innovation ouverte dans les soins de santé a révélé que l'innovation ouverte entrante était l'approche la plus largement appliquée dans ce secteur³⁷. Dans les entreprises pharmaceutiques, l'innovation ouverte diffère selon les partenariats, les incitations et les objectifs. Schuhmacher et al. ont classé les modèles d'innovation ouverte en quatre catégories : le créateur de connaissances, le traducteur de connaissances, l'intégrateur de connaissances et l'exploitant de connaissances, et ont attribué les entreprises pharmaceutiques à ces modèles, en fonction de leur approche spécifique³⁸. Pour favoriser les interactions entre le monde universitaire et l'industrie, un grand nombre d'universités ont créé des centres académiques de découverte de médicaments (ADDC) officiels, qui incluent une collaboration industrielle. L'un des premiers centres, le centre Actar AB, a été créé à l'Institut Karolinska en Suède en 2000, suivi par le centre Harvard NeuroDiscovery aux États-Unis en 2001, et des dizaines d'autres ADDC ont été créés dans l'UE et aux États-Unis au cours de la décennie suivante³⁹. Sur la base du modèle ADDC, un autre concept a émergé dans l'interface université-industrie : celui du consortium

³⁵ Oliver Gassmann et Ellen Enkel, « Towards a Theory of Open Innovation: Three Core Process Archetypes », 7 juillet 2004, <https://www.alexandria.unisg.ch/handle/20.500.14171/67618>.

³⁶ Gassmann et Enkel.

³⁷ Andy Wai Kan Yeung et al., « Open Innovation in Medical and Pharmaceutical Research: A Literature Landscape Analysis », *Frontiers in Pharmacology* 11 (14 janvier 2021): 587526, <https://doi.org/10.3389/fphar.2020.587526>.

³⁸ « Models for Open Innovation in the Pharmaceutical Industry », *Drug Discovery Today* 18, n° 23-24 (1 décembre 2013): 1133-37, <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2013.07.013>.

³⁹ « Models for Open Innovation in the Pharmaceutical Industry ».

universitaire de découverte de médicaments (Academic Drug Discovery Consortium). L'un des premiers consortiums a été fondé dans l'UE, et la plus ancienne collaboration entre le monde universitaire et l'industrie est la création de la Division of Signal Transduction Therapy entre l'Université de Dundee, six entreprises pharmaceutiques et vingt équipes de recherche universitaire.

Ce type d'initiative collaborative peut aller au-delà du partage des coûts et peut améliorer l'efficacité du développement des médicaments et réduire la duplication des efforts. Les régulateurs et les gouvernements sont également de plus en plus engagés dans le soutien à la découverte de médicaments, par exemple en Suède où le gouvernement a réservé un financement de démarrage de 6 millions d'euros par an (2013-2016) pour la plateforme Science for Life Drug Discovery and Development (SciLifeLab DDD) créée en 2011. D'autres exemples d'engagement des régulateurs et des gouvernements sont l'initiative Critical Path aux États-Unis (FDA) et l'examen Cooksey du financement de la recherche en matière de santé au Royaume-Uni⁴⁰. Avec les progrès de la technologie Internet, le travail collaboratif à distance a pris une nouvelle importance et s'est manifesté sous différentes formes potentiellement bénéfiques pour l'innovation ouverte, notamment la formation d'organisations virtuelles, d'entreprises virtuelles et de laboratoires virtuels collaboratifs⁴¹. Le crowdsourcing est une approche d'innovation ouverte qui gagne du terrain et qui peut être utilisée pour trouver des solutions qui font progresser le domaine médical grâce à l'intelligence et aux ressources collectives et à l'engagement actif des patients et du grand public. Les approches de crowdsourcing utilisées dans le contexte de la recherche médicale comprennent les défis d'innovation (par exemple, les concours de prix), les hackathons (événements de courte durée rassemblant généralement les participants pendant quelques jours autour d'un thème commun dans le but de résoudre des défis définis, souvent dans le domaine de la programmation informatique) et les systèmes de collaboration en ligne (par exemple, les sites web soutenant l'engagement des visiteurs pour résoudre un problème défini⁴²). La participation directe de non-professionnels à la recherche scientifique, appelée "science citoyenne", est une approche collaborative très efficace pour acquérir de nouvelles connaissances. La science citoyenne est bien établie dans des domaines de recherche tels que l'écologie et l'astronomie, et dans le contexte de l'importance croissante de la médecine centrée sur le patient. Actuellement, de nombreux efforts sont déployés pour mettre en œuvre la science citoyenne dans le domaine de la

⁴⁰ Yeung et al., « Open Innovation in Medical and Pharmaceutical Research ».

⁴¹ Yeung et al.

⁴² Joseph D. Tucker et al., « Crowdsourcing in Medical Research: Concepts and Applications », *PeerJ* 7 (12 avril 2019): e6762, <https://doi.org/10.7717/peerj.6762>.

santé et de la recherche biomédicale, mais les progrès réalisés dans ces domaines se heurtent à certaines difficultés liées aux questions éthiques existantes, notamment la prise en compte des risques éventuels pour les scientifiques citoyens impliqués ou d'autres personnes⁴³.

1.2. INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

1.2.1. DÉFINITION

L'intelligence artificielle est un terme général qui implique l'utilisation d'un ordinateur pour modéliser un comportement intelligent avec une intervention humaine minimale. Selon Kerstin (2022), l'intelligence artificielle est utilisée pour décrire l'utilisation d'ordinateurs et de technologies pour simuler un comportement intelligent et une pensée critique comparables à ceux d'un être humain⁴⁴.

1.2.2. HISTORIQUE

L'intelligence artificielle est généralement acceptée comme ayant commencé par l'arrivée des robots. Le mot robot, orthographié « *robota* » en langue tchèque, a été introduit dans la littérature par l'écrivain Karel Capek dans sa pièce de 1921, "R.U. R" (*Rossum's Universal Robots*). Il désignait une usine où les machines biosynthétiques étaient utilisées en travail forcé. Au milieu du siècle dernier, Isaac Asimov⁴⁵ a immortalisé le mot "robot" dans une collection de nouvelles histoires courtes de science-fiction moderne⁴⁶.

La première mention d'un automate humanoïde remonte au troisième siècle en Chine, lorsqu'un ingénieur en mécanique, *Yan Shi*⁴⁷, a présenté à l'empereur *Mu de Zhou*⁴⁸, une figure de forme humaine construite avec du cuir, du bois et des organes artificiels⁴⁹. Au 12^e siècle, un savant musulman

⁴³ Jayaprakash G. Hugar, « Research Publication Trend in Pharmaceutical Sciences: A Bibliometric Analysis During 2013–2017 », SSRN Scholarly Paper (Rochester, NY, 9 avril 2018), <https://doi.org/10.2139/ssrn.3620176>.

⁴⁴ Kerstin Denecke et Claude R. Baudoin, (Juillet 2022) « *A Review of Artificial Intelligence and Robotics in Transformed Health Ecosystems* », *Frontiers in Medicine*

⁴⁵ Isaac Asimov est un écrivain américain d'origine russe, surtout connu pour ses œuvres de science-fiction, particulièrement connu pour son Cycle des Robots et ses fameuses trois lois de la robotique

⁴⁶ Pavel Hamet et Johanne Tremblay, « Artificial Intelligence in Medicine », *Metabolism* 69 (avril 2017) : S36-40, <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2017.01.011>.

⁴⁷ Yan Shi est un ingénieur en mécanique chinois, artificier, du 3^e siècle

⁴⁸ Mu de Zhu ou Zhou Muwang, de nom personnel Ji Man était le 5^e souverain de la Chine

⁴⁹ Pavel Hamet et Johanne Tremblay, « Artificial Intelligence in Medicine », *Metabolism* 69 (avril 2017): S36-40, <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2017.01.011>.

de l'âge d'or, polymathe, inventeur et ingénieur mécanique nommé *al-Jazari*⁵⁰ a créé un robot humanoïde capable de frapper des cymbales. Ensuite, pendant la période de la renaissance, *Léonard de Vinci*⁵¹ a fait une étude détaillée de l'anatomie humaine pour concevoir son robot humanoïde. Ses croquis, dessinés en 1495, ont été seulement redécouverts que dans les années 1950. Le robot de *Léonard* était un chevalier capable de se tenir debout, de s'asseoir, de bouger les bras et de bouger la tête et la mâchoire. Il était actionné par des poulies et des câbles. Plus important encore que ses réalisations dans ce domaine, les carnets de croquis de Léonard de Vinci ont été une source d'inspiration pour toute une génération de chercheurs en robotique, dont certains ont travaillé à la NASA (National Aeronautics and Space Administration)⁵².

L'évolution des robots a connu un changement de direction avec le premier robot à être reconnu comme révolutionnaire dans sa conception mécanique comme étant le « Joueur de flûte » ; conçu au 18^e siècle par l'inventeur français Jacques de *Vaucanson*⁵³. Il possédait un répertoire de 12 chansons. Deux siècles plus tard, *William Grey Walter*⁵⁴ est devenu célèbre en 1948 pour la fabrication du premier robot électronique autonome, qu'il a nommé *Machina Speculatrix*. Son objectif était de démontrer le fonctionnement du cerveau. Il a révélé que les connexions entre un petit nombre de « cellules cérébrales » pouvaient conduire à des comportements très complexes⁵⁵.

John McCarthy a inventé le terme « intelligence artificielle » en 1955, en le définissant comme « la science et l'ingénierie de la fabrication de machines intelligentes ». Il a été très influent dans les premiers développements de l'intelligence artificielle. Avec ses collègues, il a fondé le domaine de

⁵⁰ Al-Jazari (Nom complet Abu al-'Iz Ibn Isma'il ibn al-Razaz al-Jazari, 1136 - 1206) fut un mathématicien, inventeur et ingénieur en mécanique arabe, il est considéré comme le fondateur de la mécanique moderne. Il est l'auteur du traité Recueil sur la théorie et la pratique des arts mécaniques

⁵¹ Léonard de Vinci (italien : *Leonardo di ser Piero da Vinci*^{écouter}, dit *Leonardo da Vinci*), né le 14 avril 1452 à Vinci (Toscane) et mort le 2 mai 1519 à Amboise (Touraine), est un peintre italien polymathe, à la fois artiste, organisateur de spectacles et de fêtes, scientifique, ingénieur, inventeur, anatomiste, sculpteur, peintre, architecte, urbaniste, botaniste, musicien, philosophe et écrivain.

⁵² Pavel Hamet et Johanne Tremblay, « Artificial Intelligence in Medicine », *Metabolism* 69 (avril 2017) : S36-40, <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2017.01.011>.

⁵³ Jacques Vaucanson, ou Jacques de Vaucanson, né le 24 février 1709 à Grenoble et mort le 21 novembre 1782 à Paris, est un inventeur et mécanicien français. Il invente plusieurs automates dont le canard de Vaucanson.

⁵⁴ William Grey Walter, né le 19 février 1910 à Kansas City (Missouri) et mort le 6 mai 1977 à Clifton, dans la banlieue de Bristol (Royaume-Uni), est un neurophysiologiste britannique d'origine américaine. Pionnier de la cybernétique, de la neurophysiologie clinique et de la robotique, il est notamment connu pour avoir inventé des « robots tortues » capables de simuler un comportement autonome, les tortues de Bristol.

⁵⁵ Hamet et Tremblay.

l'intelligence artificielle en 1956 lors d'une conférence au Dartmouth College. Cette conférence a donné naissance à ce qui est devenu un nouveau domaine de recherche interdisciplinaire. Elle a fourni un cadre intellectuel pour tout effort ultérieur de recherche et de développement en informatique ⁵⁶.

Au cours des années suivantes, les ordinateurs ont commencé à résoudre de nombreux problèmes mathématiques complexes et sont rapidement devenus un intérêt pour le Département de la Défense des USA. Puis, après une période de ralentissement dans les années 80, une nouvelle ère d'or a redémarré avec l'utilisation de l'intelligence artificielle. Des instruments de plus en plus puissants ont été développés. Selon Hamet et Tremblay (2017) « aujourd'hui, l'intelligence artificielle est considérée comme une branche de l'ingénierie qui met en œuvre de nouveaux concepts et de nouvelles solutions pour résoudre des défis complexes. Grâce aux progrès constants de l'électronique dans, la rapidité, la programmation des logiciels ; les ordinateurs pourraient un jour être aussi intelligents que les humains »⁵⁷.

1.3. Innovation et Intelligence artificielle

L'intelligence artificielle est considérée comme une grande innovation de notre époque. Cependant, elle est également utilisée à des fins d'innovation. L'intérêt des chercheurs pour l'idée que l'intelligence artificielle (IA) et l'apprentissage automatique peuvent remplacer les humains, prendre en charge les rôles sur le lieu de travail et remodeler les processus organisationnels existants n'a cessé de croître. Le postulat central est que, compte tenu de certaines contraintes en matière de traitement de l'information, l'IA peut fournir une meilleure qualité, une plus grande efficacité et de meilleurs résultats que les experts humains⁵⁸. Compte tenu du potentiel de l'IA à assumer des tâches "humaines" traditionnelles dans les organisations, nous pouvons nous demander si l'IA peut jouer un rôle dans la poursuite de l'un des processus les plus importants affectant la survie à long terme et l'avantage concurrentiel d'une entreprise, à savoir l'innovation. À première vue, l'idée que l'IA et l'apprentissage automatique pourraient et devraient être utilisés par les entreprises à des fins d'innovation peut sembler presque farfelue. Après tout, l'innovation a toujours été considérée comme un domaine

⁵⁶ Hamet et Tremblay.

⁵⁷ Hamet et Tremblay, « Artificial Intelligence in Medicine ».

⁵⁸ Naomi Haefner et al., « Artificial Intelligence and Innovation Management: A Review, Framework, and Research Agenda ☆ », *Technological Forecasting and Social Change* 162 (1 janvier 2021): 120392, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120392>.

réservé aux humains, compte tenu de leur capacité "unique" à innover⁵⁹. Bien que l'IA puisse présenter des inconvénients par rapport aux humains, il existe plusieurs raisons non triviales pour lesquelles les entreprises peuvent vouloir utiliser l'IA dans leurs processus d'innovation. Parmi les facteurs exogènes au processus d'innovation figure le fait que les responsables de l'innovation sont de plus en plus confrontés à des environnements très volatils et changeants, à des marchés mondiaux toujours plus compétitifs, à des technologies rivales et à des paysages politiques en évolution spectaculaire⁶⁰. Dans le même temps, la disponibilité de l'information a augmenté et continue d'augmenter de manière significative. Ces tendances démontrent clairement que la base de la compétitivité repose sur les capacités d'information et de résolution de problèmes des organisations. Plus important encore peut-être, dans de nombreux domaines, les effets négatifs du caractère risqué de l'innovation sont aggravés par l'augmentation des coûts. En d'autres termes, le coût de chaque innovation a augmenté de façon spectaculaire. Par exemple, alors que la densité des transistors sur les circuits intégrés a augmenté de manière exponentielle conformément à la loi de Moore, cette avancée a nécessité des efforts toujours plus importants de la part d'entreprises telles qu'Intel. Les processus de développement de médicaments dans l'industrie pharmaceutique présentent des tendances similaires. Cela signifie que la manière dont l'innovation est organisée doit être remise en question par l'introduction de l'IA et de l'apprentissage automatique en raison de leurs avantages en termes de coûts dans le traitement de l'information⁶¹. Par conséquent, trouver des moyens d'appliquer l'IA et l'apprentissage automatique aux processus d'innovation des entreprises devraient présenter un intérêt considérable pour les gestionnaires de l'innovation. D'une part, cela pourrait permettre aux entreprises de mieux répondre à leur environnement de plus en plus concurrentiel et de gérer les quantités croissantes d'informations qui les entourent. D'autre part, le soutien du processus d'innovation par l'IA pourrait générer une valeur réelle pour les entreprises en réduisant à la fois le risque et le coût des processus d'innovation. Aujourd'hui, la gestion de l'innovation organisée par l'homme joue un rôle clé dans les entreprises et leur capacité à se réinventer par le biais d'initiatives exploratoires. Cependant, l'IA peut fournir une assistance instrumentale qui dépasse le champ d'action des humains⁶². En effet, tant les universitaires que les praticiens ont affirmé que l'IA pourrait avoir un impact substantiel sur les processus

⁵⁹ Teresa M. Amabile, « Creativity, Artificial Intelligence, and a World of Surprises », *Academy of Management Discoveries* 6, n° 3 (septembre 2020): 351-54, <https://doi.org/10.5465/amd.2019.0075>.

⁶⁰ Jamie N. Jones, Jeff Cope, et Andy Kintz, « Peering into the Future of Innovation Management », *Research-Technology Management* 59, n° 4 (3 juillet 2016): 49-58, <https://doi.org/10.1080/08956308.2016.1185344>.

⁶¹ Haefner et al., « Artificial Intelligence and Innovation Management ».

⁶² Haefner et al.

d'innovation des entreprises à l'avenir. L'idée que l'IA pourrait potentiellement être appliquée dans des contextes d'innovation est également étayée par le développement rapide de l'IA et de l'apprentissage automatique, qui laisse présager des changements importants et intrigants. Cependant, notre connaissance des limites de l'IA dans le contexte de l'innovation est encore assez limitée. L'utilisation de l'IA et de l'apprentissage automatique pour la créativité et l'innovation est très différente des domaines établis où l'IA a remplacé la gestion traditionnelle⁶³.

1.4. CLASSIFICATION DES SYSTÈMES D'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE EN SANTÉ

Nous pouvons classer les systèmes d'IA dans le domaine de la santé selon différentes dimensions : utilisation, tâche et technologie. Au sein de la dimension « utilisation », nous pouvons encore distinguer le domaine d'application ou le contexte de soins. La dimension « tâche » est caractérisée par le degré d'autonomie du système. Enfin, concernant la dimension « technologie », nous considérons le degré d'intrusion dans le patient et le type de système⁶⁴. La figure 1 (Catégorisation des systèmes basés sur l'IA et la robotique dans les soins de santé) suivante illustre cette classification.

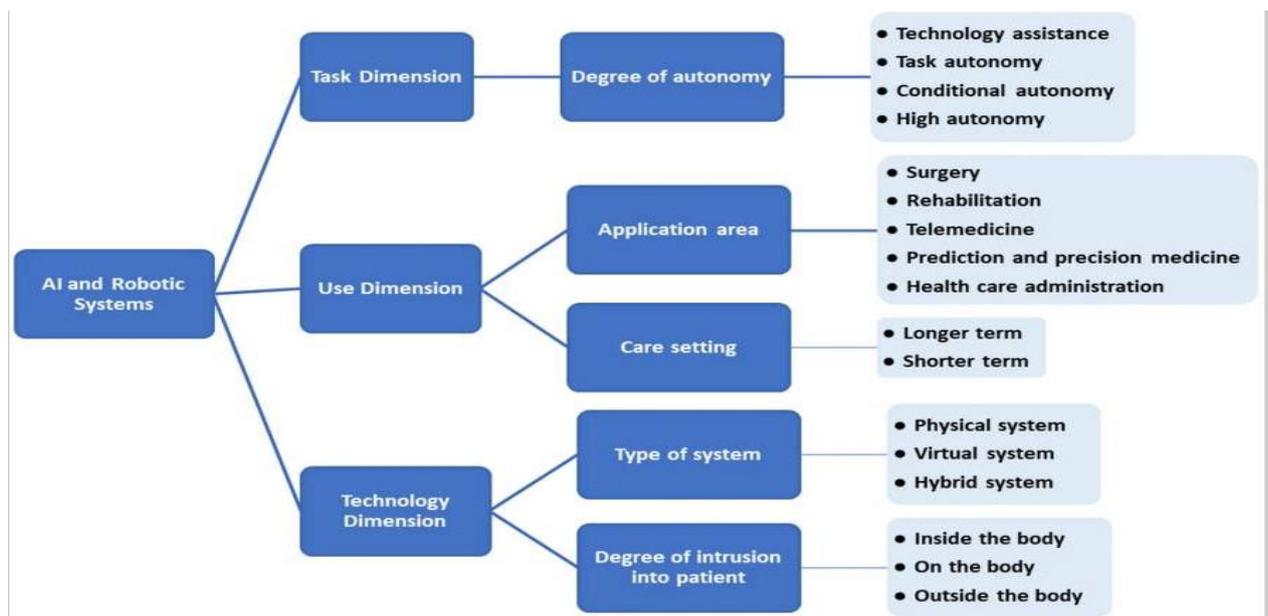


Figure 1.1 : Categorization of systems based on AI and robotics in health care⁶⁵

⁶³ Haefner et al.

⁶⁴ Denecke et Baudoin, « A Review of Artificial Intelligence and Robotics in Transformed Health Ecosystems ».

⁶⁵ Kerstin Denecke et Claude R. Baudoin, « A Review of Artificial Intelligence and Robotics in Transformed Health Ecosystems », *Frontiers in Medicine* 9 (6 juillet 2022): 795957, <https://doi.org/10.3389/fmed.2022.795957>.

1.4.1. Classification selon la dimension « technologie »

1.4.1.1. Selon le type de système

On peut distinguer deux types de systèmes : les systèmes virtuels et les systèmes physiques. Les systèmes virtuels vont des applications telles que les systèmes de dossiers médicaux électroniques (DME), ou les applications d'exploration de textes et de données, aux systèmes d'aide à la décision thérapeutique. La branche virtuelle est représentée par le « *Machine Learning* » aussi appelée « *Deep Learning* » (apprentissage automatique) représenté par des algorithmes mathématiques qui améliorent l'apprentissage par l'expérience⁶⁶. Les systèmes physiques sont liés à la robotique et comprennent des robots qui aident à réaliser des opérations chirurgicales, des prothèses intelligentes pour les personnes handicapées et des aides physiques pour les soins aux personnes âgées. Il peut également y avoir des systèmes hybrides combinant le système virtuel et la robotique, comme les robots sociaux qui interagissent avec les utilisateurs ou les microrobots qui administrent des médicaments à l'intérieur du corps⁶⁷.

1.4.1.2. Selon le degré d'intrusion dans le patient

Les systèmes robotiques peuvent être utilisés à l'intérieur du corps, sur le corps ou à l'extérieur du corps. Ceux appliqués à l'intérieur du corps comprennent les microrobots⁶⁸, les robots chirurgicaux et les robots d'intervention. Les microrobots sont des dispositifs non attachés submillimétriques qui peuvent être propulsés par des réactions chimiques⁶⁹ ou des champs physiques⁷⁰. Ils peuvent se déplacer sans entrave dans le corps et effectuer des tâches telles que la thérapie ciblée (administration localisée de médicaments)⁷¹. Les microrobots peuvent aider à la chirurgie physique, par exemple, en perçant un caillot de sang ou en ouvrant des obstructions dans les voies urinaires pour rétablir un flux normal⁷². Ils peuvent fournir un chauffage local dirigé des tissus pour détruire les cellules cancéreuses.

⁶⁶ Hamet et Tremblay, « *Artificial Intelligence in Medicine* ».

⁶⁷ Denecke et Baudoin, « A Review of Artificial Intelligence and Robotics in Transformed Health Ecosystems ».

⁶⁸ Hakan Ceylan et al., « *Translational Prospects of Untethered Medical Microrobots* », *Progress in Biomedical Engineering* 1, n° 1 (juillet 2019) : 012002, <https://doi.org/10.1088/2516-1091/ab22d5>.

⁶⁹ Samuel Sánchez, Lluís Soler, et Jaideep Katuri, « *Chemically Powered Micro- and Nanomotors* », *Angewandte Chemie (International Ed. in English)* 54, n° 5 (26 janvier 2015) : 1414-44, <https://doi.org/10.1002/anie.201406096>.

⁷⁰ S. Schuerle et al., « *Synthetic and Living Micropropellers for Convection-Enhanced Nanoparticle Transport* », *Science Advances* 5, n° 4 (avril 2019) : eaav4803, <https://doi.org/10.1126/sciadv.aav4803>.

⁷¹ Denecke et Baudoin, « A Review of Artificial Intelligence and Robotics in Transformed Health Ecosystems ».

⁷² Chungseon Yu et al., « *Novel Electromagnetic Actuation System for Three-Dimensional Locomotion and Drilling of Intravascular Microrobot* », *Sensors and Actuators A : Physical* 161, n° 1 (1 juin 2010) : 297-304, <https://doi.org/10.1016/j.sna.2010.04.037>.

Ils peuvent être implantés pour assurer une surveillance continue à distancer et une détection précoce d'une maladie émergente.

Les prothèses, orthèses et exosquelettes robotiques sont des exemples de systèmes robotiques portés sur le corps. Les exosquelettes sont des systèmes robotiques portables qui sont étroitement couplés physiquement à un corps humain pour fournir une assistance ou améliorer les capacités physiques du porteur ⁷³. Bien qu'ils aient souvent été mis au point pour des applications autres que les soins de santé, ils peuvent aider les travailleurs à effectuer des tâches physiquement exigeantes, comme le déplacement de patients, ou assister les personnes souffrant de faiblesse musculaire ou de trouble du mouvement. La technologie portable peut également être utilisée pour mesurer et transmettre des données sur les signes vitaux ou l'activité physique ⁷⁴.

Les systèmes robotiques appliqués à l'extérieur du corps peuvent contribuer à éviter le contact direct lors du traitement de patients atteints de maladies infectieuses ⁷⁵, aider à la chirurgie (comme nous l'avons déjà mentionné), y compris les procédures chirurgicales à distance qui tirent parti de la réalité augmentée ou aider les prestataires lors du déplacement des patients ⁷⁶

1.4.2. Classification selon la dimension « utilisation »

1.4.2.1. Selon le domaine d'application

La diversité des utilisateurs de l'IA et de la robotique dans les soins de santé implique un éventail tout aussi large de domaines d'application décrits ci-dessous.

- La chirurgie assistée par la robotique : « l'utilisation d'un dispositif mécanique pour assister la chirurgie à la place d'un être humain ou d'une manière semblable à l'homme », a un impact rapide sur de nombreuses procédures chirurgicales générales courantes, en particulier la chirurgie mini-invasive ⁷⁷. Trois types de systèmes robotiques sont utilisés en chirurgie :

⁷³ Gia Hoang Phan, Vijender Kumar Solanki, et Nguyen Ho Quang, « *Artificial Intelligence in Rehabilitation Evaluation-Based Robotic Exoskeletons : A Review* », in *Bio-Inspired Motor Control Strategies for Redundant and Flexible Manipulator with Application to Tooling Tasks*, éd. Par Gia Hoang Phan, Vijender Kumar Solanki, et Nguyen Ho Quang, *SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology (Singapore : Springer, 2022)*, 79-91, https://doi.org/10.1007/978-981-16-9551-3_6.

⁷⁴ Denecke et Baudoin, « *A Review of Artificial Intelligence and Robotics in Transformed Health Ecosystems* ».

⁷⁵ Gregory Hager et al., « *The Role of Robotics in Infectious Disease Crises* » (arXiv, 19 octobre 2020), <https://doi.org/10.48550/arXiv.2010.09909>.

⁷⁶ Denecke et Baudoin, « *A Review of Artificial Intelligence and Robotics in Transformed Health Ecosystems* ».

⁷⁷ Tim Lane, « *A Short History of Robotic Surgery* », *Annals of the Royal College of Surgeons of England* 100, n° 6_sup (mai 2018) : 5-7, <https://doi.org/10.1308/rcsann.sup1.5>.

- Les systèmes actifs : effectuent des tâches préprogrammées tout en restant sous le contrôle du chirurgien qui opère ;
- Les systèmes semi-actifs : permettent à un chirurgien de compléter la composante préprogrammée du système ;
- Les systèmes maître-esclave : sont dépourvus de tout élément autonome ; ils dépendent entièrement de l'activité du chirurgien. En chirurgie laparoscopique ou en téléopération, les mouvements de la main du chirurgien sont transmis aux instruments chirurgicaux, qui les reproduisent.

Les chirurgiens peuvent également être assistés par des systèmes de navigation, qui localisent les positions dans l'espace et aident à répondre aux questions d'orientation anatomique du chirurgien. Le suivi en temps réel de marqueurs, réalisé dans les systèmes modernes de navigation chirurgicale à l'aide d'une caméra stéréoscopique émettant une lumière infrarouge, peut déterminer la position en 3D de structures importantes ⁷⁸.

- Robotique et IA pour la réadaptation : divers systèmes d'IA et de robotique assurent des tâches de réadaptation telles que la surveillance, la prévention des risques ou le traitement ⁷⁹. Par exemple, les systèmes de détection des chutes utilisent des capteurs intelligents placés dans un environnement ou dans un dispositif portable, et alertent automatiquement le personnel médical, les services d'urgence ou les membres de la famille si une assistance est nécessaire. L'IA permet à ces systèmes d'apprendre les schémas comportementaux normaux et les caractéristiques des individus au fil du temps. En outre, les systèmes peuvent évaluer les risques environnementaux, tels que les lumières de la maison qui sont éteintes ou la proximité de risques de chute (par exemple, les cages d'escalier). Les systèmes physiques peuvent fournir une assistance physique (par exemple, soulever des objets, ouvrir des portes), une surveillance et des fonctions sociales thérapeutiques ⁸⁰. Les applications robotiques de réadaptation peuvent fournir un soutien physique et cognitif aux individus en surveillant les progrès physiologiques et en favorisant l'interaction sociale. Les robots peuvent aider les patients à récupérer des mouvements après un accident vasculaire cérébral à l'aide d'exosquelettes, ou

⁷⁸ Uli Mezger, Claudia Jendrewski, et Michael Bartels, « *Navigation in Surgery* », *Langenbeck's Archives of Surgery* 398, n° 4 (avril 2013) : 501-14, <https://doi.org/10.1007/s00423-013-1059-4>.

⁷⁹ David D. Luxton, « Chapter 1 - An Introduction to Artificial Intelligence in Behavioral and Mental Health Care », in *Artificial Intelligence in Behavioral and Mental Health Care*, éd. Par David D. Luxton (San Diego : Academic Press, 2016), 1-26, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-420248-1.00001-5>.

⁸⁰ K.N.V. Sriram et Suja Palaniswamy, « *Mobile Robot Assistance for Disabled and Senior Citizens Using Hand Gestures* », in *2019 International Conference on Power Electronics Applications and Technology in Present Energy Scenario (PETPES)*, 2019, 1-6, <https://doi.org/10.1109/PETPES47060.2019.9003821>.

à récupérer ou compléter une fonction perdue. Au-delà de l'assistance directe aux patients, les robots peuvent également aider les soignants. *Akbari et al. (2021)*, donnent un aperçu des robots de réadaptation à domicile. La réalité virtuelle et la réalité augmentée permettent aux patients de s'immerger dans un modèle 3D d'un monde réel ou imaginaire et d'interagir avec lui, ce qui leur permet de s'exercer à des tâches spécifiques. Ces techniques ont été utilisées pour l'entraînement des fonctions motrices, la récupération après un accident vasculaire cérébral et la gestion de la douleur ⁸¹.

- Robotique et IA pour la télémédecine : les systèmes de télémédecine assurent, entre autres, le triage, le diagnostic, le traitement non chirurgical, le traitement chirurgical, la consultation, la surveillance ou la fourniture de soins spécialisés. Le triage médical évalue les symptômes, les signes et les résultats des tests actuels pour déterminer la gravité de l'état d'un patient et la priorité du traitement. Un nombre croissant d'applications de santé mobile basées sur l'IA sont utilisées pour le diagnostic ou l'optimisation du traitement⁸². Les appareils mobiles et vestimentaires intelligents peuvent être intégrés dans des « maisons intelligentes » à l'aide des technologies de l'Internet des objets. Ils peuvent collecter des données sur les patients et des données contextuelles, aider les personnes à fonctionner au quotidien, suivre les progrès vers les objectifs de soins et de réadaptation individualisés, émettre des rappels et alerter les prestataires de soins si une assistance est nécessaire. La télémédecine pour les soins spécialisés comprend des outils supplémentaires pour suivre l'humeur et le comportement (par exemple, les journaux de la douleur), les chatbots⁸³ basés sur l'IA peuvent atténuer l'isolement social dans les environnements de soins à domicile en offrant de la compagnie et un soutien émotionnel aux utilisateurs, en notant s'ils ne dorment pas bien, s'ils ont mal ou s'ils sont déprimés, ce qui pourrait indiquer une condition mentale plus complexe ⁸⁴. Au-delà, il existe des systèmes physiques qui peuvent fournir des soins spécialisés : le robot *DE NIRO* ⁸⁵ peut interagir de manière naturelle, fiable et sûre avec les humains, naviguer de manière

⁸¹ Denecke et Baudoin, « *A Review of Artificial Intelligence and Robotics in Transformed Health Ecosystems* ».

⁸² Lucinda Lai et al., « Digital Triage : Novel Strategies for Population Health Management in Response to the COVID-19 Pandemic », *Healthcare (Amsterdam, Netherlands)* 8, n° 4 (décembre 2020) : 100493, <https://doi.org/10.1016/j.hjdsi.2020.100493>.

⁸³ Un chatbot est un programme informatique conçu pour simuler une conversation avec des utilisateurs humains, en particulier sur Internet, il est aussi appelé agent conversationnel ou “robot de discussion”, qui imite les conversations humaines et avec lequel vous interagissez via une interface de chat (ex. Facebook Messenger, Twitter, Telegram, site web)

⁸⁴ *End-User Development*, consulté le 7 août 2022, <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-79840-6>.

⁸⁵ Le Robot DE NIRO, un robot humanoïde autonome, collaboratif et destiné à la copie mobile. Il est conçu pour effectuer une grande variété de comportements de manipulation, en mettant l'accent sur les tâches de prise et de dépôt. Il est conçu pour être utilisé dans un environnement domestique, en particulier pour aider les soignants qui travaillent avec les personnes âgées.

autonome dans des environnements sur commande, récupérer ou déplacer intelligemment des objets ⁸⁶.

- Robotique et IA pour la prédiction et la médecine de précision : la médecine de précision prend en compte les patients individuels, leurs variations génomiques ainsi que les facteurs contributifs (âge, sexe, ethnicité, etc.), et adapte les interventions en conséquence. Les applications de santé numérique peuvent également intégrer des données telles que l'état émotionnel, l'activité, la consommation alimentaire, etc. Étant donné la quantité et la complexité des données que cela nécessite, l'IA peut apprendre à partir d'ensembles de données complets pour prédire les risques et identifier la stratégie de traitement optimale⁸⁷. Les systèmes d'aide à la décision clinique (SADC) qui intègrent l'IA peuvent fournir des diagnostics différentiels, reconnaître les signes précurseurs de morbidité ou de mortalité des patients, ou identifier des anomalies dans les images radiologiques ou les résultats des tests de laboratoire ⁸⁸. Ils peuvent accroître la sécurité des patients, par exemple, en réduisant les erreurs de médication ou de prescription ou les événements indésirables, et peuvent améliorer la cohérence et l'efficacité des soins. Ils peuvent soutenir la gestion clinique en assurant le respect des directives cliniques ou en automatisant les fonctions administratives telles que le codage clinique et diagnostique, le triage des patients ou la commande de procédures ⁸⁹.
- IA et agents pour les tâches de gestion et de soutien : les applications NLP, telles que la transcription vocale, se sont avérées utiles pour la prise de notes cliniques, la compilation de dossiers médicaux électroniques, la génération automatique de rapports médicaux à partir de conversations patient-médecin ou de rapports de diagnostic. Les algorithmes d'IA peuvent aider à récupérer les données des patients en fonction du contexte. La recherche d'informations basée sur des concepts peut améliorer la précision de la recherche et la vitesse de récupération⁹⁰. Les algorithmes d'IA peuvent améliorer l'utilisation et l'allocation des

⁸⁶ Denecke et Baudoin, « A Review of Artificial Intelligence and Robotics in Transformed Health Ecosystems ».

⁸⁷ Fei Jiang et al., « Artificial Intelligence in Healthcare: Past, Present and Future », *Stroke and Vascular Neurology* 2, n° 4 (1 décembre 2017), <https://doi.org/10.1136/svn-2017-000101>.

⁸⁸ Reed T. Sutton et al., « An Overview of Clinical Decision Support Systems : Benefits, Risks, and Strategies for Success », *NPJ Digital Medicine* 3 (2020) : 17, <https://doi.org/10.1038/s41746-020-0221-y>.

⁸⁹ Sutton et al. (2020)

⁹⁰ Georgia Kaoura, Konstantinos Kovas, et Basilis Boutsinas, « Ontology-Based Case Retrieval in an E-Mental Health Intelligent Information System », in *Ontology-Based Information Retrieval for Healthcare Systems* (John Wiley & Sons, Ltd, 2020), 167-91, <https://doi.org/10.1002/9781119641391.ch8>.

ressources hospitalières en prédisant la durée de séjour des patients ou le risque de réadmission.

1.4.2.2. Selon le lieu de soins

Une autre dimension de l'IA et de la robotique est la durée de leur utilisation, qui est en corrélation directe avec le lieu d'utilisation. Ces deux éléments peuvent influencer de manière significative les exigences, la conception et les composants technologiques de la solution. Dans un contexte de soins à long terme, la robotique peut être utilisée au domicile du patient (p. ex. pour surveiller les signes vitaux) ou pour le traitement dans une maison de soins infirmiers. Les soins de courte durée peuvent être dispensés dans des hôpitaux, des établissements de soins palliatifs ou des établissements psychiatriques pour patients hospitalisés ⁹¹.

1.4.3. Classification basée sur le degré d'autonomie

Les systèmes IA et robotiques peuvent être regroupés selon un axe allant de l'assistance à l'autonomie (figure 2). Les systèmes d'assistance augmentent les capacités de leur utilisateur en regroupant et en analysant des données, en exécutant des tâches concrètes sous la supervision d'un humain (par exemple, un échographe semi autonome ⁹²), ou en apprenant à exécuter des tâches à partir des démonstrations d'un professionnel de la santé. Par exemple, un robot peut apprendre d'un kinésithérapeute comment guider un patient dans des exercices de rééducation répétitifs⁹³

⁹¹ Denecke et Baudoin, (2022) « A Review of Artificial Intelligence and Robotics in Transformed Health Ecosystems ».

⁹² Jay Carriere et al., « An Admittance-Controlled Robotic Assistant for Semi-Autonomous Breast Ultrasound Scanning », in *2019 International Symposium on Medical Robotics (ISMR)* à la sortie de l'hôpital (le

⁹³ Ran Tao et al., « Modeling and Emulating a Physiotherapist's Role in Robot-Assisted Rehabilitation », *Advanced Intelligent Systems* 2, n° 7 (2020): 1900181, <https://doi.org/10.1002/aisy.201900181>.

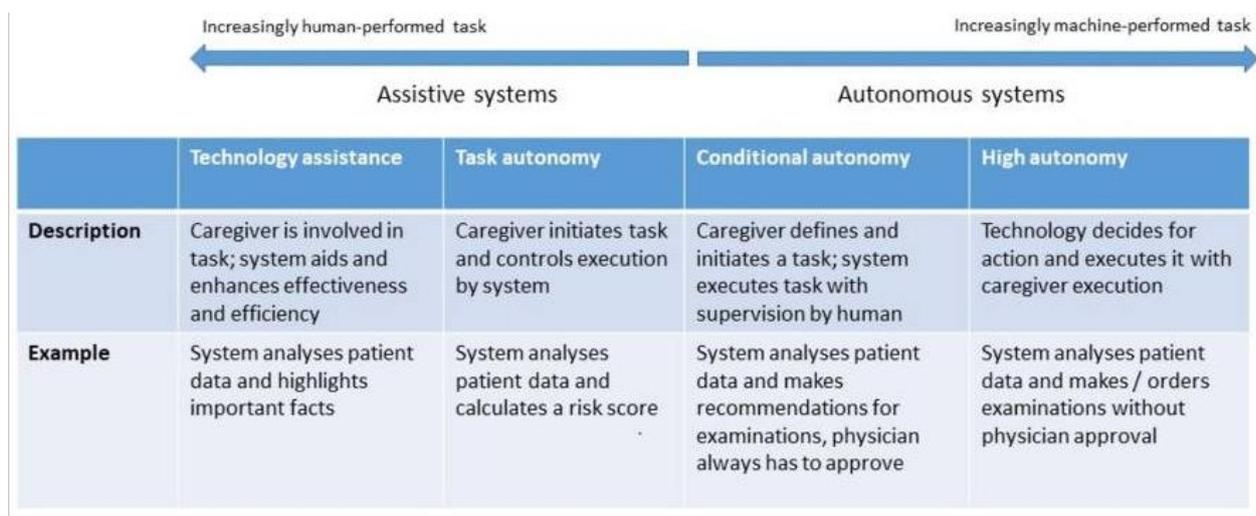


Figure 1.2 : Levels of autonomy of robotic and AI systems⁹⁴

1.5. APPLICATIONS PRATIQUES DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE DANS LE DOMAINE DE LA SANTÉ.

Après avoir vu comment classer les systèmes d'IA dans les soins de santé, nous nous tournons vers des réalisations concrètes récentes qui illustrent des réalisations déjà effectuées. Cette liste n'est certainement pas exhaustive, mais elle illustre le fait que nous ne sommes plus seulement au stade de la recherche ou de l'expérimentation : la technologie commence à porter ses fruits de manière très concrète, c'est-à-dire en améliorant les résultats (même si ce n'est que dans le cadre d'essais cliniques préalables à l'approbation réglementaire pour une utilisation générale).

1.5.1. Prévision de l'apparition du sepsis

Le sepsis est défini comme un dysfonctionnement des organes mettant en jeu le pronostic vital, causé par une réponse non régulée de l'hôte à l'infection⁹⁵. Le sepsis a récemment été identifié comme la principale cause de décès dans le monde, dépassant même le cancer ou les maladies cardiovasculaires. Et bien que le diagnostic et le traitement en temps opportun soient difficiles dans d'autres contextes de soins, il s'agit également de la principale cause de décès dans les hôpitaux aux États-Unis (*Sepsis*

⁹⁴ cette situation, les réflexions se sont orientées vers l'utilisation de l'IA, ainsi, nous avons décidé d'évaluer Denecke et Baudoin, « A Review of Artificial Intelligence and Robotics in Transformed Health Ecosystems ».

⁹⁵ Mervyn Singer et al., « The Third International Consensus Definitions for Sepsis and Septic Shock (Sepsis-3) », *JAMA* 315, n° 8 (23 février 2016): 801, <https://doi.org/10.1001/jama.2016.0287>.

Fact Sheet). Une raison essentielle est la difficulté de reconnaître les symptômes précurseurs suffisamment tôt pour mettre en place un traitement efficace⁹⁶. Par conséquent, la prédiction du début de la maladie promet de sauver des millions de vies chaque année. Voici quatre projets de ce type :

- *Bayesian Health5*, une startup fondée par un chercheur de l'université Johns Hopkins, a appliqué son modèle à une population test de patients hospitalisés et a identifié correctement 82 % des 9 800 patients qui ont ensuite développé une septicémie.
- *Dascena*, une startup californienne, teste son logiciel sur de grandes cohortes de patients depuis 2017, obtenant des améliorations significatives des résultats⁹⁷.
- *Patchd* utilise des dispositifs portables et l'apprentissage profond pour prédire la septicémie chez les patients à haut risque. Les premières études ont montré que cette technologie peut prédire la septicémie 8 h plus tôt, et avec plus de précision, que dans le cadre des normes de soins existantes.
- Une équipe de chercheurs de Singapour a mis au point un système qui combine les mesures cliniques (données structurées) avec les notes des médecins (données non structurées), ce qui permet d'améliorer la détection précoce tout en réduisant les faux positifs⁹⁸.

1.5.2. Systèmes de surveillance dans l'unité de soins intensifs

Pour les patients dans une unité de soins intensifs, le paradoxe est que de grandes quantités de données sont collectées, affichées sur des moniteurs et utilisées pour déclencher des alarmes. Cependant, ces différents flux de données sont rarement utilisés ensemble, et les médecins ou les infirmières ne peuvent pas non plus observer efficacement toutes les données de tous les patients, tout le temps. Il s'agit d'un domaine qui a fait couler beaucoup d'encre, mais la plupart des informations disponibles renvoient à des études qui n'ont pas abouti à des déploiements réels. Un article d'enquête fait notamment allusion au défi que représente la collaboration efficace entre le

⁹⁶ Denecke et Baudoin (2022), « *A Review of Artificial Intelligence and Robotics in Transformed Health Ecosystems* ».

⁹⁷ Hoyt Burdick et al., « *Effect of a Sepsis Prediction Algorithm on Patient Mortality, Length of Stay and Readmission : A Prospective Multicentre Clinical Outcomes Evaluation of Real-World Patient Data from US Hospitals* » Dans ce chapitre, dans un premier temps, nous allons définir l'intelligence artificielle et faire l'historique de ce concept. Nous allons ensuite faire une classification des systèmes d'intelligence artificielle selon plusieurs dimensions. Les applications pratiques de l'IA en santé seront présentées et nous ferons ressortir enfin *BMJ Health & Care Informatics* 27, n° 1 (avril 2020) : e100109, <https://doi.org/10.1136/bmjhci-2019-100109>.

⁹⁸ Kim Huat Goh et al., (2021) « *Artificial Intelligence in Sepsis Early Prediction and Diagnosis Using Unstructured Data in Healthcare* », Canada, premier pays à s'être doté d'une stratégie nationale d'IA est généralement acceptée comme ayant commencé par l'arrivée des° nous nous sommes posée la question de savoir

personnel des soins intensifs et les processus automatisés ⁹⁹. Dans un exemple d'application, l'apprentissage automatique aide à résoudre l'asynchronisme entre un ventilateur mécanique et les propres réflexes respiratoires du patient, qui peut causer de la détresse et compliquer le rétablissement ¹⁰⁰.

1.5.3. Détection de tumeurs à partir de l'analyse d'images

Il s'agit d'un autre domaine où la recherche a fourni des preuves de l'efficacité de l'IA, généralement pas employée seule, mais plutôt comme conseiller d'un professionnel de la santé. Ces applications diffèrent en fonction de la localisation des tumeurs, et donc des techniques d'imagerie utilisées pour les observer. L'IA rend l'interprétation des images plus fiable, généralement en signalant aux radiologues des zones qu'ils pourraient autrement négliger. Dans une étude réalisée en Corée, l'IA a semblé améliorer la reconnaissance du cancer du poumon sur les radiographies du thorax ¹⁰¹. L'IA en elle-même a donné de meilleurs résultats que les radiologues non assistés, et l'amélioration était plus grande lorsque l'IA était utilisée comme une aide par les radiologues. Il convient toutefois de noter que la taille de l'échantillon était relativement faible. Plusieurs efforts successifs ont visé à utiliser l'IA pour classer les images dermoscopiques afin de distinguer les nævus bénins des mélanomes ¹⁰².

1.5.4. Triage des patients et vérificateurs de symptômes

Si le mot « triage » évoque immédiatement des décisions urgentes concernant les interventions à effectuer sur des patients gravement malades ou des victimes d'accidents, il peut également s'appliquer à l'assistance à distance des patients (par exemple, les applications de télésanté), notamment dans les zones mal desservies par le personnel et les installations médicales. Dans un contexte de soins d'urgence, où les décisions de triage peuvent entraîner la survie ou la mort d'une personne, il existe une réticence naturelle à confier de telles décisions à des machines. Cependant, l'IA comme prédicteur des résultats pourrait servir d'assistant à un technicien ou à un médecin d'urgence. Une étude de 2017 sur le triage aux urgences de patients souffrant de douleurs abdominales aiguës

⁹⁹ S. Uckun, « *Intelligent Systems in Patient Monitoring and Therapy Management. A Survey of Research Projects* », *International Journal of Clinical Monitoring and Computing* 11, n° 4 (novembre 1994) : 241-53, <https://doi.org/10.1007/BF01139876>.

¹⁰⁰ Denecke et Baudoin (2022), « *A Review of Artificial Intelligence and Robotics in Transformed Health Ecosystems* ».

¹⁰¹ Ju Gang Nam et al., « *Undetected Lung Cancer at Posteroanterior Chest Radiography : Potential Role of a Deep Learning-Based Detection Algorithm* », *Radiology. Cardiothoracic Imaging* 2, n° 6 (décembre 2020) : e190222, <https://doi.org/10.1148/ryct.2020190222>.

¹⁰² Denecke et Baudoin, (2022) « *A Review of Artificial Intelligence and Robotics in Transformed Health Ecosystems* ».

n'a montré qu'un « niveau de précision acceptable »¹⁰³ mais plus récemment, la Mayo Clinic a introduit une « plateforme de triage numérique » basée sur l'IA de Diagnostic Robotics pour "effectuer l'accueil clinique des patients et suggérer des diagnostics et des scores de risque hospitalier." Ces solutions peuvent désormais être fournies par un site web ou une application pour smartphone, et ont évolué à partir d'arbres de décision conçus par des médecins pour intégrer l'IA.

1.5.5. Prédiction des risques cardiovasculaires

Google Research a annoncé en 2018 être parvenu à « prédire les facteurs de risque cardiovasculaire à partir de photographies du fond de la rétine via l'apprentissage profond » avec un niveau de précision similaire aux méthodes traditionnelles telles que les tests sanguins pour le taux de cholestérol¹⁰⁴. La nouveauté consiste en l'utilisation d'un réseau neuronal pour analyser l'image de la rétine, ce qui se traduit par plus de puissance au détriment de l'explicabilité. En pratique, l'avenir d'une telle solution n'est pas clair : certains facteurs de risque ont pu être évalués à partir de l'analyse de la rétine, mais il s'agit souvent de facteurs qui peuvent de toute façon être mesurés directement, comme la pression artérielle¹⁰⁵.

1.5.6. Robots de soins à domicile

Les robots qui fournissent une assistance aux personnes âgées ou malades font l'objet de travaux de recherche et de développement depuis plusieurs décennies, notamment au Japon en raison de l'importante population vieillissante du pays, dont la longévité est supérieure à la moyenne. Les « robots de soins aux personnes âgées » peuvent être déployés à domicile (le coût étant un problème évident pour de nombreux clients) ou dans des environnements de soins pour personnes âgées, où ils contribueront à pallier la grave pénurie d'infirmières et de travailleurs spécialisés, qui ne peut être facilement résolue par l'embauche d'une aide étrangère en raison de la barrière de la langue. Les types de robots utilisés dans ces environnements prolifèrent. Ils vont des robots qui aident les patients à se déplacer ou à faire de l'exercice aux robots qui aident à effectuer des tâches courantes comme ouvrir la porte d'entrée à un visiteur ou apporter une tasse de thé, en passant par les robots qui apportent

¹⁰³ Shervin Farahmand et al., « *Artificial Intelligence-Based Triage for Patients with Acute Abdominal Pain in Emergency Department ; a Diagnostic Accuracy Study* », . 1, n° 1 (2017) : e5, <https://doi.org/10.22114/AJEM.v1i1.11>.

¹⁰⁴ Ryan Poplin et al., « *Prediction of Cardiovascular Risk Factors from Retinal Fundus Photographs via Deep Learning* », *Nature Biomedical Engineering* 2, n° 3 (mars 2018) : 158-64, <https://doi.org/10.1038/s41551-018-0195-0>.

¹⁰⁵ Denecke et Baudoin (2022), « *A Review of Artificial Intelligence and Robotics in Transformed Health Ecosystems* ».

un confort psychologique et même une certaine forme de conversation. *PARO*, par exemple, est une baie robotisée développée pour fournir un traitement aux patients atteints de démence ¹⁰⁶.

1.5.7. Biomécatronique

La biomécatronique associe la biologie, l'ingénierie mécanique et l'électronique pour concevoir des dispositifs d'assistance qui interprètent les entrées des capteurs et envoient des commandes aux actionneurs, les capteurs et les actionneurs étant fixés d'une manière ou d'une autre au corps. Les capteurs, les actionneurs, le système de commande et le sujet humain forment ensemble un système de commande en boucle fermée. Les applications biomécatroniques se situent à la frontière de la prothétique et de la robotique, par exemple, pour aider les amputés à obtenir un mouvement proche de la normale d'un membre prothétique. Ces travaux ont été démontrés pendant de nombreuses années, avec des résultats impressionnants, au *MIT Media Lab* sous la direction du professeur Hugh Herr. Cependant, ces applications ont rarement quitté l'environnement du laboratoire en raison du coût du dispositif. Ce coût pourrait être réduit par une production en grandes quantités. Cependant, la couverture par les compagnies ou agences d'assurance maladie restera probablement problématique ¹⁰⁷.

1.5.8. Utilisation de robots pour contrôler l'efficacité du traitement

Un autre domaine dans lequel l'IA pourrait utilement être employée est l'administration guidée de médicaments à des organes, tissus ou tumeurs cibles. Par exemple, il est encourageant d'apprendre que le développement récent de nanorobots conçus pour résoudre les problèmes d'administration qui se posent lorsque la difficulté de diffusion de l'agent thérapeutique dans un site d'intérêt. Ce problème se pose lorsque le thérapeute tente de cibler le cœur d'une tumeur qui a tendance à être moins vascularisée, anoxique, mais le plus actif sur le plan de la prolifération. Pour surmonter les limites de la robotique mécanique ou radioactive, les chercheurs ont tenté d'exploiter un agent naturel avec les propriétés souhaitées en remplacement des seules nanoparticules « intelligentes ». Pour ce faire, ils étudient un type particulier de colibacille marin, appelé *Magnetococcus marinus*, qui se déplace spontanément vers les zones faiblement oxygénées. Le guidage initial est assuré par une source magnétique externe, puis les propriétés inhérentes aux nanorobots sont mises en jeu. Ces nanorobots

¹⁰⁶ Lihui Pu, Wendy Moyle, et Cindy Jones, « *How People with Dementia Perceive a Therapeutic Robot Called PARO in Relation to Their Pain and Mood : A Qualitative Study* », *Journal of Clinical Nursing* 29, n° 3-4 (février 2020) : 437-46, <https://doi.org/10.1111/jocn.15104>.

¹⁰⁷ Denecke et Baudoin (2022), « *A Review of Artificial Intelligence and Robotics in Transformed Health Ecosystems* ».

peuvent être liés de manière covalente à des nano liposomes¹⁰⁸ ayant des propriétés thérapeutiques. Les premières données ont révélé une augmentation significative du gradient du médicament souhaité dans les zones hypoxiques¹⁰⁹. La plupart de ces nouvelles applications de l'IA en médecine nécessitent des recherches plus approfondies.

1.6. DOSSIERS MÉDICAUX ÉLECTRONIQUES ET INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Les dossiers médicaux électroniques sont de plus en plus courants dans les pratiques de soins ambulatoires et dans les soins hospitaliers. Cette transition vers les dossiers numériques représente également une transition importante dans la manière dont les données des patients sont organisées et rendues accessibles pour des usages jamais imaginés avec les dossiers papier. En particulier, les dossiers numériques donnent accès à des données longitudinales qui peuvent constituer un atout unique en matière de soins cliniques et peuvent être utilisées pour prédire des résultats ou des diagnostics futurs, ouvrant des possibilités de personnaliser la prise de décision pour un patient donné.

1.6.1. Comparaison des dossiers médicaux électroniques et papiers

Les dossiers médicaux contiennent l'historique des traitements et les expériences pertinentes relatives aux soins de l'individu. Comme les dossiers médicaux sont continuellement actualisés, ils constituent une preuve écrite de la vie médicale d'un patient au fil du temps, ce qui peut aider les traitements futurs et fournir une aide à la décision. Traditionnellement, la documentation clinique est écrite à la main sur des formulaires et classée dans des dossiers médicaux papier. Cependant, les inconvénients des dossiers papier sont bien connus¹¹⁰. Les dossiers médicaux manuscrits peuvent être illisibles, incomplets et mal organisés, ce qui rend difficile la garantie de la qualité des soins¹¹¹. L'avènement de l'informatique a ouvert d'énormes possibilités pour la documentation électronique et l'utilisation des dossiers médicaux électroniques. Les dossiers médicaux électroniques sont définis comme des dossiers médicaux situés sur un réseau informatique partagé qui sont en même temps lus et écrits

¹⁰⁸Le nanoliposome, ou vésicule lipidique bicouche submicronique, est une nouvelle technologie d'encapsulation et d'administration d'agents bioactifs. Les nanoliposomes sont capables de renforcer les performances des agents bioactifs en améliorant leur solubilité et leur biodisponibilité, leur stabilité in vitro et in vivo, ainsi qu'en prévenant leurs interactions indésirables avec d'autres molécules. Un autre avantage des nanoliposomes est le ciblage cellulaire, qui est une condition préalable pour atteindre les concentrations de médicaments nécessaires à une efficacité thérapeutique optimale dans le site cible tout en minimisant les effets indésirables sur les cellules et les tissus sains

¹⁰⁹ Ouajdi Felfoul et al., « *Magneto-Aerotactic Bacteria Deliver Drug-Containing Nanoliposomes to Tumour Hypoxic Regions* », *Nature Nanotechnology* 11, n° 11 (novembre 2016) : 941-47, <https://doi.org/10.1038/nnano.2016.137>.

¹¹⁰ TSAI JACK et GARY BOND, « *A comparison of electronic records to paper records in mental health centers* » 20, n° 2 (12 décembre 2007) : 136-43.

¹¹¹ JACK et BOND. (2007)

électroniquement dans une base de données relationnelle par le biais d'une interface utilisateur graphique. Les avantages potentiels des dossiers électroniques dans les soins de santé, tels que l'amélioration de la communication entre les utilisateurs, la réduction de la paperasse, la diminution des erreurs médicales, sont largement débattus ¹¹². Les dossiers électroniques permettent l'accès « juste à temps » et ont conduit à des recherches de données plus rapides et à une augmentation de l'efficacité des médecins ¹¹³. De manière surprenante, les preuves directes des avantages des dossiers médicaux électroniques par rapport aux papiers sont maigres. Toutefois, nous pouvons en énumérer quelques-uns.

1.6.1.1. Prestation efficace de services de soins de santé

Les clients perdent confiance en leurs médecins lorsque le diagnostic et les options de traitement ne sont pas exécutés rapidement. Ce retard peut être attribué à des goulots d'étranglement tels que la collecte des résultats de laboratoire dans un cadre hospitalier traditionnel. En revanche, les médecins d'un établissement de santé doté de dossiers médicaux électroniques ont un accès illimité aux dossiers cliniques pertinents, ce qui accélère le diagnostic et la gestion des cas cliniques. De plus, les cliniciens ont accès à l'historique des traitements d'un client de sorte que la réponse clinique d'un patient peut être suivie en un seul endroit.

1.6.1.2. Amélioration de la sécurité et de la confidentialité des données cliniques

Les dossiers médicaux électroniques ont un accès limité, c'est-à-dire que seules les personnes disposant d'un identifiant de connexion peuvent accéder aux dossiers cliniques d'un client. Cela favorise la confidentialité et réduit l'accès non autorisé aux données des clients, chez les prestataires de soins de santé qui ne participent pas à la gestion d'un patient.

1.6.1.3. Amélioration de la coordination des soins cliniques

Les dossiers médicaux électroniques permettent de coordonner la prestation des services de soins de santé pour les clients qui sont pris en charge par plusieurs médecins. La gestion de certaines conditions cliniques par plusieurs spécialistes est plus facile, car ces derniers ont un accès égal aux rapports cliniques pertinents auxquels ils peuvent répondre en tout lieu et à tout moment. Il existe un réseau de communication amélioré entre les médecins et les autres prestataires de services de soins de santé.

¹¹² JACK et BOND. (2007)

¹¹³ JACK et BOND. (2007)

1.6.1.4. De meilleurs résultats en matière de santé

Les dossiers médicaux électroniques permettent d'avoir de bons résultats en matière de santé comme la diminution de la prévalence des décès évitables qui sont dus à des erreurs médicales et à des soins non coordonnés. Par exemple, les patients ne souffrent pas d'allergies médicamenteuses dues à l'administration de plusieurs médicaments grâce à des pratiques sûres de prescription de médicaments, renforcées par l'accès ininterrompu des médecins à l'historique des médicaments d'un patient. En outre, les informations contenues dans les dossiers médicaux électroniques sont lisibles et claires pour les prestataires de soins de santé. Ainsi, l'incidence des erreurs médicales et des surdoses de médicaments dues à une mauvaise interprétation des prescriptions écrites est réduite.

1.6.1.5. Réduction du coût d'exploitation

L'enregistrement numérique des données des patients évite l'utilisation de papier et d'autres supports d'écriture pour la tenue des dossiers, réduisant ainsi les dépenses.

1.6.2. L'impact de l'intégration de l'intelligence artificielle dans les dossiers médicaux électroniques (DME)

De nombreux hôpitaux dans le monde adoptent déjà activement la technologie de l'IA et tentent de se transformer en hôpitaux "intelligents. Cela devrait permettre d'accroître l'efficacité des opérations hospitalières, de la gestion des patients et des traitements. Grâce à l'IA, il serait possible de classer avec précision les maladies, de reclasser les catégories de maladies préexistantes en fonction des caractéristiques individuelles, d'analyser rapidement les images et les données médicales dans le DME et de fournir des services appropriés. Avec l'émergence d'une plateforme intégrée d'IA médicale capable de mettre en œuvre de nombreux algorithmes médicaux, l'IA est devenue essentielle pour la création de nouveaux services, tels que l'amélioration de la qualité médicale et la gestion de la santé en temps réel ¹¹⁴.

1.6.2.1. Développement de nouveaux médicaments grâce à l'IA

Pour utiliser les données médicales pour développer nouveaux médicaments, la normalisation des données est essentielle. Dans le cas des données des DME, diverses tentatives ont été faites pour normaliser les données, comme le « système de certification des DME », mais il n'existe pas de modèle

¹¹⁴ Suehyun Lee et Hun-Sung Kim, « *Prospect of Artificial Intelligence Based on Electronic Medical Record* », *Journal of Lipid and Atherosclerosis* 10, n° 3 (septembre 2021) : 282-90, <https://doi.org/10.12997/jla.2021.10.3.282>.

standard pour les données des essais cliniques pour développer nouveaux médicaments, ce qui limite l'utilisation des données. En outre, les données sur les essais cliniques de chaque établissement sont gérées par des systèmes différents, ce qui limite l'utilisation des données. Il convient de développer un modèle standard de données d'essais cliniques au niveau national qui combine le DME et les données d'essais cliniques, et de jeter les bases d'un partage de toutes les expériences. Diverses études sont en cours pour établir un système d'utilisation des données d'essais cliniques à l'échelle nationale par la diffusion de modèles standard pour les hôpitaux et de lignes directrices pour l'échange de données standard pour les essais cliniques pour le développement de nouveaux médicaments ¹¹⁵.

1.6.2.2. Service de gestion des soins de santé personnalisé

Le service médical personnalisé est une analyse complète et scientifique d'une variété d'informations médicales telles que les antécédents de maladie et de traitement d'un patient, son dossier médical personnel, ses caractéristiques génétiques, ses habitudes de vie quotidienne ou ses habitudes alimentaires, et fournit en fin de compte un diagnostic et/ou un traitement optimisé et personnalisé pour l'individu ¹¹⁶.

1.6.2.3. Autres utilisations de l'IA sur les dossiers médicaux électroniques

Diverses études d'IA ont déjà été menées à l'aide du DME. Sur la base de trois années de données de DME, un algorithme d'arrêt cardiaque a été mis au point en notant la pression artérielle, le pouls, la fréquence respiratoire et la température corporelle pour faire face aux situations d'urgence. Le programme d'IA pour prédire l'incidence du diabète sucré (DS) sur la base des dossiers d'exams de santé de routine a montré une précision de 95 %. L'algorithme d'IA a également été mis au point pour prédire le risque de développer une hypertension essentielle en utilisant les données de DME. Une étude a développé un algorithme d'intelligence artificielle basé sur le *deep learning* prédisant l'arrêt cardiaque qui a été validé en utilisant l'électrocardiogramme (ECG). Récemment, la recherche en intelligence artificielle utilisant les données des DME a été activement utilisée pour une gestion efficace de l'hypertension. Une étude réalisée par Chengyin Ye et al (2018) permet de prédire le risque d'hypertension grâce à l'IA ¹¹⁷. Il s'agit d'une étude visant à évaluer et à prévenir le risque d'hypertension grâce à l'IA afin de réduire la prévalence de l'hypertension tout en réduisant les

¹¹⁵ Lee et Kim. (2021)

¹¹⁶ Lee et Kim. (2021)

¹¹⁷ Chengyin Ye et al., « Prediction of Incident Hypertension Within the Next Year: Prospective Study Using Statewide Electronic Health Records and Machine Learning », *Journal of Medical Internet Research* 20, n° 1 (30 janvier 2018): e22, <https://doi.org/10.2196/jmir.9268>.

dépenses médicales liées à la gestion¹¹⁸. En outre, un nouveau modèle d'apprentissage automatique a été développé et validé pour prédire le risque d'insuffisance cardiaque (IC) en utilisant les données des patients. Un modèle a été développé pour prédire le risque d'insuffisance cardiaque en intégrant des variables cliniques, des valeurs expérimentales et des variables d'électrocardiogramme chez des patients atteints de diabète de type 2, et son efficacité a été vérifiée¹¹⁹.

1.6.3. Défis de l'IA utilisant les données du DME

Le cadre éthique des données est un ensemble d'orientations à suivre lors de la mise en œuvre d'un système de soins de santé. Il consiste à définir la clarté, la transparence, l'exactitude et la responsabilité des données et leur utilisation, afin d'éliminer les violations potentielles de la protection des données¹²⁰. Il a été observé que l'obtention des données du DME semble être l'un des inconvénients de la mise en œuvre d'un système intégré IA-DME¹²¹. Il est recommandé que les organisations gouvernementales et les industries travaillent ensemble pour développer une stratégie de confiance dans les données qui établirait un cadre fondamental pour le partage des données. Cette stratégie consisterait à rendre les données sûres et facilement accessibles. De même, pour qu'un système d'information sanitaire fonctionne bien, il est important que les cliniciens et le personnel de laboratoire unissent leurs forces pour établir un protocole commun de partage des données. Cela permettra de faciliter le partage des processus entre les entreprises technologiques et les prestataires de soins de santé¹²². Les sociétés de logiciels peuvent rencontrer des obstacles lorsqu'elles demandent l'accès au DME des patients. Cela peut être dû au fait qu'il est très difficile d'obtenir les dossiers des patients. L'adoption d'une approche moins rigide du partage des données du DME aurait été plus favorable à l'évolution de l'intégration de l'IA au DME. Il ressort d'études gouvernementales récentes qu'il a été conseillé aux fournisseurs d'IA d'adhérer aux directives correctes en matière de partage des données afin d'éviter que les diagnostics prédits par les patients ne soient pas partagés en dehors des établissements de santé. En outre, si de telles prédictions étaient faites sans l'accord du patient, par exemple, la conséquence pour lui d'en prendre connaissance pourrait lui être préjudiciable. Pour cette raison, il est essentiel de suivre les réglementations et les conseils gouvernementaux concernant le cadre éthique des données, car, cela peut être bénéfique pour la protection des données

¹¹⁸ Ye et al.

¹¹⁹ Lee et Kim.

¹²⁰ Yolande N'gbesso, « Integration of Artificial Intelligence in electronic health records : Impacts and challenges », décembre 2020.

¹²¹ Yolande N'gbesso. 2020

¹²² Yolande N'gbesso. 2020

des patients en toute sécurité et la protection de leur vie privée ¹²³. Il est désormais entendu que l'application des données ethniques joue un rôle prédominant dans la mise en œuvre d'un système intégré d'IA et de DME. Cependant, les questions éthiques entourant la capacité des machines à utiliser les données pour prédire l'état des patients et à stocker les résultats dans leur DME sont largement partagées par certains patients et médecins. Il peut être important de tenir compte de la vie privée des patients lors du développement de l'IA à partir des données des DME des patients. Le cadre gouvernemental suggère que les patients peuvent demander leurs dossiers en vertu de la loi sur la liberté de l'information. Par la suite, si les patients découvrent, par exemple, que leurs dossiers contiennent une condition médicale prédite dont ils n'ont pas été informés auparavant, cela peut avoir un énorme impact psychologique sur le patient. Il peut potentiellement être utilisé de manière négative par des tiers, comme les assurances. Déterminer si le risque de partager le DME du patient l'emporte sur les avantages de l'amélioration future de la santé numérique. Contrairement aux attentes de ces études, des études antérieures sur la prédiction de l'IA à l'aide des données du DME n'ont pas montré de résultats significatifs en matière de prédictibilité ¹²⁴. Il aurait été plus efficace que les études montrent également les prédictions négatives. Un exemple aurait été les erreurs humaines telles qu'une mauvaise correspondance du diagnostic du patient, par exemple, le mauvais nom du patient. De même, une prédiction erronée de l'IA pour le diagnostic d'un patient pourrait être très coûteuse et avoir un impact énorme, notamment des problèmes psychologiques sur les patients ¹²⁵.

¹²³ Yolande N'gbesso. 2020

¹²⁴ Yolande N'gbesso. 2020

¹²⁵ Yolande N'gbesso. 2020

CHAPITRE 2

METHODOLOGIE

Dans ce chapitre, nous aborderons le type de méthode que nous avons utilisé suivi de comment nous avons fait le choix des experts et la collecte des données. Nous allons expliciter également notre méthode d'analyse de données, puis, enfin, nous évoquerons les considérations éthiques.

2.1. TYPE DE METHODE

Pour cette question de recherche, nous avons utilisé une méthode qualitative. En effet, la recherche qualitative est un type de recherche scientifique qui consiste en une investigation qui :

- Cherche à répondre à une question
- Utilise systématiquement un ensemble prédéfini de procédures pour répondre à cette question
- Recueille des preuves
- Produit des résultats qui n'ont pas été déterminés à l'avance
- Produit des résultats qui sont applicables au-delà des limites immédiates de l'étude.

La recherche qualitative partage ces caractéristiques. En outre, elle cherche à comprendre un problème ou un sujet de recherche donné du point de vue de la population locale concernée. La recherche qualitative est particulièrement efficace pour obtenir des informations culturellement spécifiques sur les valeurs, les opinions, les comportements et les contextes sociaux de populations particulières. Sa force réside dans sa capacité à fournir des descriptions textuelles complexes de la façon dont les gens vivent une question de recherche donnée. Elle fournit des informations sur le côté "humain" d'une question, c'est-à-dire sur les comportements, les croyances, les opinions, les émotions et les relations souvent contradictoires des individus. Les méthodes qualitatives sont également efficaces pour identifier les facteurs intangibles, tels que les normes sociales, le statut socio-économique, les rôles des hommes et des femmes, l'ethnicité et la religion, dont le rôle dans la question de recherche peut ne pas être évident. Utilisée parallèlement aux méthodes quantitatives, la recherche qualitative peut nous aider à interpréter et à mieux comprendre la réalité complexe d'une situation donnée et les implications des données quantitatives.

Bien que les conclusions tirées des données qualitatives puissent souvent être étendues aux personnes présentant des caractéristiques similaires à celles de la population étudiée, l'acquisition d'une compréhension riche et complexe d'un contexte ou d'un phénomène social spécifique prime

généralement sur l'obtention de données pouvant être généralisées à d'autres zones géographiques ou populations. En ce sens, la recherche qualitative diffère légèrement de la recherche scientifique en général. La principale différence entre les méthodes quantitatives et qualitatives est leur flexibilité. En général, les méthodes quantitatives sont assez peu flexibles. Avec les méthodes quantitatives telles que les enquêtes et les questionnaires, par exemple, les chercheurs posent à tous les participants des questions identiques dans le même ordre. Les catégories de réponses parmi lesquelles les participants peuvent choisir « sont fermées » ou « sont fixes ». L'avantage de cette rigidité est qu'elle permet une comparaison significative des réponses entre les participants et les sites d'étude. Cependant, elle exige une compréhension approfondie des questions importantes à poser, de la meilleure façon de les poser et de l'éventail des réponses possibles.

Les méthodes qualitatives sont généralement plus souples, c'est-à-dire qu'elles permettent une plus grande spontanéité et adaptation de l'interaction entre le chercheur et le participant à l'étude. Par exemple, les méthodes qualitatives posent principalement des questions "ouvertes" qui ne sont pas nécessairement formulées exactement de la même manière avec chaque participant. Avec les questions ouvertes, les participants sont libres de répondre avec leurs propres mots, et ces réponses ont tendance à être plus complexes que de simples "oui" ou "non".

En outre, avec les méthodes qualitatives, la relation entre le chercheur et le participant est souvent moins formelle que dans la recherche quantitative. Les participants ont la possibilité de répondre de manière plus élaborée et plus détaillée que dans le cas des méthodes quantitatives. En retour, les chercheurs ont la possibilité de répondre immédiatement à ce que disent les participants en adaptant les questions suivantes aux informations fournies par le participant. Il est important de noter, cependant, qu'il existe une certaine souplesse parmi les méthodes utilisées dans la recherche quantitative et qualitative et que cette souplesse n'est pas une indication de la rigueur scientifique d'une méthode. Le degré de flexibilité reflète plutôt le type de compréhension du problème que l'on cherche à atteindre à l'aide de la méthode.

On distingue ainsi plusieurs avantages des méthodes qualitatives. L'un des avantages des méthodes qualitatives dans la recherche exploratoire est que l'utilisation de questions ouvertes et d'approfondissement donne aux participants la possibilité de répondre dans leurs propres mots, plutôt que de les forcer à choisir parmi des réponses fixes, comme le font les méthodes quantitatives. Les questions ouvertes ont la capacité de susciter des réponses qui sont :

- Significatives et culturellement importantes pour le participant
- Non anticipées par le chercheur
- Riches et explicatives par nature.

Un autre avantage des méthodes qualitatives est qu'elles offrent au chercheur la possibilité d'approfondir les réponses initiales des participants, c'est-à-dire de demander pourquoi ou comment. Le chercheur doit écouter attentivement ce que disent les participants, s'engager avec eux en fonction de leur personnalité et de leur style, et utiliser des "questions" pour les encourager à développer leurs réponses.

Il existe trois méthodes qualitatives courantes qui sont : l'observation participante, les entretiens approfondis et les groupes de discussion.

- L'observation participante est appropriée pour recueillir des données sur des comportements naturels dans leurs contextes habituels.
- Les entretiens approfondis sont optimaux pour la collecte de données sur les histoires personnelles, les perspectives et les expériences des individus, en particulier lorsque des sujets sensibles sont explorés.
- Les groupes de discussion sont efficaces pour obtenir des données sur les normes culturelles d'un groupe et pour obtenir une vue d'ensemble des questions qui préoccupent les groupes ou sous-groupes culturels représentés.

Dans ce présent mémoire, nous avons utilisé des entretiens semi-directifs. En effet, ces entretiens semi-structurés sont plus efficaces lorsque

- L'intervieweur a un certain nombre de domaines qu'il est sûr d'aborder
- Lorsqu'il n'y a qu'une seule chance d'interviewer une personne
- Lorsque plusieurs personnes peuvent être impliquées dans la réalisation des entretiens

Nous avons également utilisé dans le mémoire une recueille de données primaires et de données secondaires pour explorer correctement notre question de recherche.

2.2. CHOIX DES EXPERTS

Pour le choix des experts, j'ai envoyé des courriels à 35 experts en trouvant leurs Courriels sur le site web du CHUM. Sur les 35 sujets contactés, seulement 9 ont répondu. Parmi ces 09 sujets, trois étaient experts en intelligence artificielle et en santé. Les 05 autres étaient uniquement qu'experts en intelligence artificielle. J'ai donc retenu ces trois experts maîtrisant à la fois l'intelligence artificielle et le domaine de la santé. Ces trois derniers sont des experts chercheurs du centre MILA.

2.3. COLLECTE DES DONNEES

La collecte s'est déroulée du 12 janvier au 20 janvier 2022. Nous avons réalisé les entretiens par ZOOM et par appels téléphoniques, avec un enregistrement audio et téléphonique grâce à un smartphone. La raison pour laquelle j'ai choisi de réaliser mes entrevues en ligne plutôt qu'en présentiel, en raison

de la pandémie de COVID-19. Cette décision a été prise avec soin et prudence, dans le but de préserver la santé et la sécurité de tous les participants.

Les entretiens ont duré entre 30 à 45 minutes, voire une heure et demie. Nous avons fait une retranscription Ubiques IO.

Pour ces entretiens, nous avons confectionné un questionnaire que nous avons mis en annexe 1.

2.4. ANALYSE DES DONNEES

Pour analyser les données recueillies, nous avons utilisé un logiciel d'analyse de données qualitative. Ces logiciels d'analyse de données qualitatives fournissent des outils qui facilitent la recherche qualitative, tels que l'analyse de transcription, le codage et l'interprétation de texte, l'abstraction récursive, l'analyse de contenu et l'analyse de discours. Les logiciels d'analyse de données qualitatives permettent aux utilisateurs de gagner du temps, de gérer d'énormes quantités de données qualitatives, d'accroître la flexibilité et d'améliorer la validité et l'audibilité de la recherche qualitative, en s'affranchissant des tâches manuelles et administratives. Le logiciel d'analyse de données qualitatives fournit des outils d'aide à la recherche qualitative tels que l'analyse de transcription, le codage et l'interprétation de texte, l'abstraction récursive, l'analyse de contenu, l'analyse de discours et la méthodologie de la théorie fondée. Ces logiciels sont utilisés dans les domaines de la santé, du droit, de la sociologie, de l'anthropologie, de la musique, de la géographie, de la géologie, de la médecine légale, du tourisme, du marketing criminel, de l'éducation, de la théologie, de la philosophie, de l'histoire, des études de marché, de l'analyse des groupes de discussion et dans la plupart des autres domaines utilisant des approches de recherche qualitative.

Dans ce mémoire, nous avons utilisé le logiciel NVivo. NVivo est un programme qui soutient la recherche qualitative et les méthodes mixtes. Il est conçu pour aider les utilisateurs à organiser, analyser et trouver des informations dans des données non structurées ou qualitatives telles que des entretiens, des réponses à des enquêtes ouvertes, des articles, des médias sociaux et du contenu Web. Lorsque l'on travaille avec des données qualitatives sans NVivo, le travail des utilisateurs sera plus long, plus difficile à gérer et plus difficile à naviguer.

2.5. CONSIDERATIONS ETHIQUES

Nous avons fait ce mémoire en assurant la confidentialité des données. Le consentement oral des experts a été obtenu avant les entretiens.

CHAPITRE 3

RESULTATS

3.1. DONNEES PRIMAIRES

Dans ce chapitre, il s'agira de présenter les résultats de mes entretiens avec les experts, résultats que nous présentons dans le tableau suivant.

Tableau I : Résultats des entretiens

Experts	Expert 1	Expert 2	Expert 3
Questions			
Quels sont les champs d'application de l'intelligence artificielle en santé ?	C'est une grosse question ça, moi, j'ai travaillé assez longtemps sur l'intégration de système d'intelligence en base de règles pour essayer de définir les règles qui doivent servir de protocole de soins dans différents programmes de santé, où j'étais nous faisons de l'interaction avec des experts en santé, mais, aussi avec des dossiers médicaux, pour essayer de façon de définir les protocoles qui doivent être appliqués entre autres dans le contexte de dire quels sont les patients qui doivent être remboursés, quelles sont les caractéristiques des patients qui doivent être remboursés	Je pense qu'il y a plusieurs champs d'application c'est juste que ce n'est pas encore très développé, je sais qu'en médecine dentaire, les domaines ou en voit plus l'intelligence artificielle commence à avoir un peu	Il y aurait déjà un premier aspect qui est la compréhension des mécanismes des maladies et pour ça c'est plus l'utilisation de l'intelligence artificielle sur le plan de la recherche en médecine et en recherche biomédicale. Y a une application qui

	<p>par l'assurance, nous avons examiné des dossiers médicaux en cardiologie, donc on les a examinés pour être capable de définir et corriger les protocoles de soins qui seront implantés dans les milieux médicaux, c'est une recherche qui a duré assez longtemps, qui selon moi, a eu des répercussions, ça a été donc pour essayer de trouver des pratiques efficaces aux Etat-Unis et au Canada, ça doit être toujours en cours cette recherche-là, même si c'était assez difficile à mener comme recherche, ça a demandé beaucoup de travail, d'interprétation de dossiers.</p> <p>Dans mon service-là où, j'ai travaillé, les gens qui commençaient le projet, voulait d'une certaine façon remplacer le système humain, par un système informatisé, mais dans la pratique c'est vite révéler que c'est pratiquement impossible, puis la difficulté qu'on a présentement dans l'informatisation des soins, le support informatique aux soins, c'est qu'effectivement c'est très difficile, car dans une recherche qu'on avait faite, il y avait la description du problème standard. Elle était absolument absente des dossiers médicaux, parce qu'un médecin accepte de dire par exemple, c'est quoi une douleur intense, je veux dire ce n'est pas quelque chose qui est mesurable, donc tous les paramètres étaient effectivement utilisés par les médecins ne sont pas informatisés, parce qu'ils sont très qualitatifs et trop menaçants pour être automatisés, il y a beaucoup de choses qui sont difficiles à informatiser. Et, de ce que je connais de l'IA et les objections que j'ai par</p>	<p>d'impact et surtout au niveau de l'interprétation radiologique. A ma connaissance, ce sont des projets qui sont un peu en cours pour interpréter la radiographie à l'aide de l'intelligence artificielle. Mis à part la médecine dentaire, je ne suis pas au courant d'autres champs application pour l'instant, mais je suis certaine qu'il y en a d'autre, et que ça va un peu suivre si c'est en médecine aussi.</p>	<p>sera plus liée à la clinique et qui va dans le sens d'utiliser l' intelligence artificielle pour améliorer à la fois la détection pour le diagnostic et l' aide à la prise de décision clinique pour le choix de thérapie et le suivi de patient et enfin y a une application plus au niveau du système de santé, qui consisterait à optimiser les flux et la prise de décision à l' échelle des hôpitaux, donc ceci sont les 3 champs d'application interdisciplinaires pour la recherche, pour la clinique et pour le système de santé après, ces trois applications-là, elles peuvent être aussi faites en oncologie, en santé mentale.</p>
--	---	--	---

	<p>rapport à ce qui se fait maintenant, c'est que souvent, j'ai vu des systèmes pour reconnaître des maladies de poissons, vous pouvez montrer des tas de poissons et améliorer l'IA pour l'identification des maladies de poissons de la même manière, vous pouvez prendre des tonnes de description verbale de la température pour être capable de faire un système d'IA qui va faire un résumé de ce qu'il y a dans un rapport verbal, ça c'est possible mais, d'une certaine façon c'est la standardisation des principes de voix qui sont derrière qui sont difficiles. Nous avons aussi travaillé des diagnostics des enfants avec des problèmes de socialisation et de problème moraux, est-ce que tu vas traverser la rue, le médecin peut dire que l'interprétation que l'enfant fait par contre un système ne fera pas une interprétation sémantique, la sémantique qui est associée à la prise de décision morale, par exemple : comment on peut influencer les gens dans un groupe de discussion à distance, qu'est que les gens qui sont meilleurs pour arriver à un consensus, la faute tomber dans la sémantique, Juste pour dire que la dimension psychologique ou scientifique, mais cognitif qui est nécessaire pour mettre une IA efficace c'est beaucoup de recherches et on n'est pas tellement rendu au niveau de la sémantique, on n'est pas très avancé à mon gout</p>		
--	--	--	--

<p>Quelles sont les étapes où peut intervenir l'intelligence artificielle lors de la prise en charge des patients ?</p>	<p>Selon moi, pour être capable de développer une meilleure interaction entre le système et les humains il faut davantage de questions ouvertes et il faut qu'il ait des gens consacrés à l'analyse des réponses de question ouverte, par ce que le questionnaire fermé c'est un désastre. Par ce que faut laisser la place et le temps car l'expérience des gens n'est pas la même, faut avoir beaucoup d'usagers qui ont de l'expérience différents et qui font des commentaires différents et que l'analyse sur ses questions ça peut donner lieu à des changements sur l'interaction, et tu peux corriger le système de l'organisation</p>	<p>Comme j'ai mentionné pour les radiographies, après ça y'aurais potentiellement des applications avec l'intra oral, donc on regarde dans une bouche avec des caméras, parfois ça pourrait aider avec le diagnostic mais aussi avec les plans de traitement. Pour crée par exemple des simulations, de reconstruction dentaire, ça pourrait être une application à ce niveau-là</p>	<p>Pour la prise en charge des patients, comme je disais ça peut être à la fois, dans l'orientation du patient vers le bon expert, ou même quand les patients arrivent à l'hôpital, pour le triage pour savoir dans quel service ils vont aller, après ça peut être dans l'aide, dans leur prise en charge par les spécialiste et les médecins au sens ou dans le service de radiologie aider à la détection de certain aspect de la radio comme des tumeurs, etc. si c'est en santé mentale, déterminer des domaines cognitif sur lequel il faudrait travailler et enfin ça peut être aussi utile après, pour faire du suivi après la consultation pour comprendre est ce que la trajectoire de soins ça se passe bien ou pas et de manière plus générale, on pourrait penser que l'intelligence artificielle</p>
---	--	--	--

			pourrait même servir à une prise en charge préventive avant même que le patient ait consulté et donc d'éviter qu'il tombe malade
Comment l'intelligence artificielle peut-elle améliorer ces étapes ?	Par exemple par écrit, si on demande des questions ouvertes, le contenu de ses questions pourrait être analysé si y avait des bonnes questions sur le contexte, qu'est-ce qui s'est passé, quel contact avez-vous demandé, quel était le service pour lequel vouliez-vous le rendez-vous, tout ça c'est pour permettre de cerner d'une part le contexte, et c'est ce qui manque. Selon le contexte de l'interaction ou la personne donne un feedback, on peut vraiment améliorer les questions de les avoir plus ciblées, et de demander à la personne de répondre verbalement, par ce que on va demander à beaucoup de gens d'écrire ils vont pas écrire, alors que si on les enregistre audio, on pourra pas peut-être pas analyser avec un informatique tous les enregistrements vocaux, mais la personne pourra coder ce qui a dans l'enregistrement audio, mais l'IA pourrait analyser soit l'audio soit la transcription de l'audio en terme de paramètres, donc faudrait que les questions soit bien précises, pour aller chercher un bon feedback puis ensuite pouvoir l'analyser avec l'IA. Et ça serait très facile de définir des	J'envisage, que dans le futur en ayant avec l'IA pouvoir avoir des comparatifs selon ce qu'on voit dans une bouche, ou ce qu'on voit dans une radiographie et pouvoir le corréler avec un diagnostic. Enlever peut-être un peu le niveau subjectif de l'opérateur humain en utilisant des algorithmes. Je pense qu'on pourrait peut-être arriver à avoir des diagnostics plus précis, mais faudrait faire beaucoup de recherche et d'étude pour valider tout ça.	En améliorant la prise en compte de pleins d'informations qui ne sont pas forcément, facilement combinables par un être humain

	<p>programmes, vous prenez par exemple ce qu' on peut avoir comme interaction a la prise de rdv, ce qu'on peut avoir comme une interaction par rapport aux symptômes manifesté, « la personne c'est quoi qui lui arrive, qu'est qu' elle a comme symptômes, selon le contexte » ça pourrait être très ciblé, par exemple un patient a un problème en gynécologie ou un suivi d'un cancer, y a plein de domaine ou ça serait facile d'analyser, qu' es qui marche pas dans l'interaction en demandant aux gens qu'es qui n'a pas marché dans l'interaction finalement. Alors ça serait très facile d'améliorer ça. Et malgré tout, y a une partie dans le processus, n'y a pas suffisamment d'analyse des dossiers médicaux, c'est à dire qu'est qui est utilisé dans un dossier, pour être capable de faire l'informatique et de l'IA, ça prend des programmeurs, administrateurs qui définissent, pour voir dans un service qu'est qui marche bien et qu'es qui ne marche pas bien. Et je rajouterai aussi, j'ai travaillé beaucoup dans la recherche et je peux vous dire que ce qui a dans les dossiers des patients, c'est toujours très insuffisant, n'importe quelle infirmière vient à coté de votre lit, elle prend des notes manuscrites n'importe comment et puis personne ne relit ce qu'elle a pris dans ses notes manuscrites, donc si elle a besoin de retourner tant mieux mais sinon c'est perdu comme information.</p>		
--	---	--	--

	<p>Et donc là l'IA devrait aider, en fait, les parties prenantes à gérer les données et information susceptible de sauver des vies</p> <p>Mais aussi d'accumuler pour être capable de sauver et changer les protocoles des soins, le suivi, car on voit qu'il y a beaucoup d'efforts pour améliorer le suivi mais est ce que le suivi est efficace, je vous donne la mon expérience autant que patient</p> <p>Si je peux me permettre, est ce que l'infirmière fait avec vous le suivi nécessaire et transmet l'information le jour même à votre médecin ?</p> <p>La communication était loin d'être parfaite, l'infirmière était disponible entre fallait enfaite 11h-15h et que vous, vous soyez disponible à cette heure-là pour pouvoir appeler l'infirmière. Et une fois que vous laissez de message, et puis la personne la disait je vais décider si le médecin doit vous rappeler ou bien je vais faire suivre le message et vous pourrez ne pas avoir de réponse par ce qu'elle a décidé que ce que vous avez réussi à dire dans le message ça ne va pas être important et donc le médecin n'entendais pas du tout ce que vous aviez dit. Tout ce que je peux vous confirmer on est loin d'avoir une bonne organisation et peut être que l'IA si on aider à formaliser</p>		
--	---	--	--

	au moins ce que les médecins et les infirmières peuvent faire, pour aider à formaliser une meilleure interaction		
Des erreurs peuvent-elles survenir lors de la prise en charge des patients en utilisant l'IA ? Si oui, pouvez-vous nous donner des exemples ?	<p>Alors, par rapport à l'IA encore on est à l'âge de pierre la concernant</p> <p>Mais quelles sont les erreurs qui peuvent survenir ?</p> <p>Bah, il n'y a aucune déduction qui peut survenir, c'est comme si je vous demande de résonner sur un barbon, vous allez me dire c'est un barbon, vous n'allez pas essayer de dire qu'est que la personne a essayé d'exprimer là. L'IA peut juste fonctionner sur du langage qui peut être parlé ou écrit, mais tous les problèmes de surface que j'appellerais, c'est-à-dire si une personne avait un accent qui est incompréhensible, elle peut fonctionner, mais il faut quand même fournir une solution ou la majorité de médecins vont être capables d'utiliser le système sinon on ne peut pas se reposer sur des systèmes qui ne sont pas utilisables par des gens qui ne savent pas s'en servir. Il y avait aussi quelque chose qui ne marche pas au niveau de la pérennité du support, de la manière dont tu pouvais interagir, tu sais le fait que je ne puisse pas enregistrer un message automatisé qu'on m'envoie, ça n'a pas de sens, je devrais toujours pouvoir enregistrer le message qu'on</p>	<p>Je dirai que probablement oui, je ne pense pas qu'en va pouvoir du jour au lendemain être remplacé par l'intelligence artificielle, personnellement je vois ça plus comme un outil pour aider dans un diagnostic donc j'imagine que oui, elle a des erreurs et je ne pense pas que ça sera à 100%.</p> <p>De ce que je comprends de l'IA, on peut entraîner l'algorithme avec plus de DATA, et avec plus de data y a moins d'erreurs, mais j'ai de la difficulté à croire qu'on pourrait arriver à un taux de</p>	<p>Alors oui, ils peuvent avoir des erreurs liées au biais algorithmique, dans ce cas-là, justement c'est l'importance d'avoir une interprétabilité de prise de décision faite par des algorithmes en intelligence artificielle et de veiller à ce que les données d'apprentissages pour ses algorithmes ne soient pas biaisés de manières genre, raciale ou ethnique, etc. Par exemple en génétique, beaucoup des bases de données sont sur des occidentaux caucasiens et le code génétique des personnes d'origine africaines est beaucoup plus divers donc les algorithmes qu'on apprend sur les</p>

	<p>m'a envoyé, on devrait le faire par téléphone, et laisser le message pour que je puisse l'enregistrer mais quand c'est un message que je reçois en direct puisque je ne peux pas enregistrer par ce que je l'ai reçu et je voulais parler mais je parlais avec un robot, le fait que là je ne pouvais pas enregistrer ce que le robot m'avait dit, donc il y a plein d'erreurs à ce niveau-là qu'il faut vraiment examiner et corriger.</p>	<p>succès a 100%, on peut être approcher, mais a 100% je ne pense pas, après ça peut être prouver avec des études. Pour l'instant je ne pense qu'on a ses informations la</p>	<p>bases de données occidentales caucasiens pourraient conduire à des erreurs sur des génomes de personnes issues d'Afrique</p>
<p>Quelles sont vos propositions pour une gestion optimale de la prise en charge des patients en utilisant l'intelligence artificielle ?</p>	<p>Je dirai qu'il faut avoir plus de ressources pour que les gens qui doivent s'en occuper puissent faire quelque chose, et qu'il y ait quelqu'un qui sache ses propres responsabilités. Et, en médecine, il y a beaucoup de spécialités, chacun doit avoir un seul devoir, de voir ce que le médecin a le droit de faire, ce que l'infirmière doit faire, et ce que la préposée doit faire. De nos jours le système marche toute croche (à travers). Il y a toute sorte d'interaction et d'interprétation.</p> <p>Qu'il faut qu'il y ait beaucoup plus d'interactions et de possibilités pour les utilisateurs (médecins/infirmières/préposé) d'être capable de signaler les problèmes et de faire de façon relativement informelle et structurée. Il faut aussi développer des protocoles pour être capable de récolter de</p>	<p>Sur le plan humain, le plus qu'on utilise le plus qu'on donne de data aux algorithmes, le mieux ça va être et le plus précis ça va être selon moi ; et je pense qu'une des choses qu'on pourrait faire pour améliorer ça, c'est d'organiser des recherches multicentriques pour avoir plus de patient à inclure et là on pourrait donner beaucoup de data aux algorithmes pour avoir</p>	<p>Ouais, bah le fait d'avoir des professionnels de santé qui soient à la fois sensibiliser à l'intelligence artificielle et au potentiel biais justement, et pouvoir mettre du côté de l'intelligence artificielle tout ce qui est du côté rationnel, algorithmique, prise de décision, on va dire non humaine, pour que justement les professionnels de santé puissent se concentrer sur les aspects humains.</p>

	l'information sur la façon dont le système fonctionne et sur les choses à corriger sur le système.	de meilleur résultat. Je pense que ça, pourrait aider.	
Quels sont les enjeux ou les défis à l'usage de l'intelligence artificielle ? (Les obstacles)	C'est d'abord le côté très confidentiel des éléments à distinguer, la confidentialité est un problème pour les patients encore plus pour les médecins, comme je vous l'ai dit, le médecin ne dira pas que la douleur est importante, car s'il le fait, il sera critiqué, vous avez dit vous-même que la douleur est importante, et pourtant le patient a eu une crise cardiaque le lendemain, pourquoi n'avez-vous pas fait de suivi dans ce cas-là. Donc, vous voyez les gens n'aiment pas se compromettre. Donc, c'est pour cela qu'il faut ramasser les informations d'une façon confidentielle. Ceci est un obstacle pour l'IA	Je pense qu'il manque un peu le côté humain, le coté subjectifs des diagnostics aussi, j'imagine avec le temps et la recherche on va pouvoir intégrer ses notions là aussi à l'intelligence artificielle, mais pour l'instant si on parle de juste analyser une radiographie, par exemple ça ne donne pas toute l'image au complet, il faut tout de même corréler avec la clinique avec les symptômes de patient,	Outre les défis des biais algorithmiques dont je parlais, y a tout un défis du management de changement dans les système de santé pour que les personnes adoptent ces méthodes-là, ils les comprennent, donc il y a un enjeu de management de changement mais aussi doublé d'un enjeux pédagogique et de formation qui est extrêmement fort et enfin on a un gros défis qui est celui de la régulation et de la réglementation avec notamment les accès aux données et la responsabilité légale en cas d'erreur des algorithmes

Quelles sont les limites de l'intelligence artificielle ?	L'IA ne peut rien faire avec les informations qui sont imprécise, qui n'ont pas de sens, l'IA est basé sur la reconnaissance de pattern, qui est reconnaissable avec des mots etc. mais qui n'est pas tout à fait efficace parce que les mots qu' on peut utiliser pour désigner quelque chose y en a beaucoup, donc le système peut être capable de reconnaître un mot ou peu importe la formulation donc il la faut être capable de rentrer le sens de mots dans un domaine donné, et puisque les synonymes soient reconnus, comme retard ou attente, il faut qu'elle soit capable de savoir que ça veut dire la même chose	Je dirai qu'on est limité un peu dans l'application pour l'instant et ça prend quand même une prise en charge globale qui nécessitera à mon avis un professionnel	Bah, typiquement les aspects humains et le fait de pouvoir généraliser sur des populations que l'algorithme n'a jamais vues, n'a jamais était exposer donc ça, c'est deux grosses limitations
Quelles sont les contraintes éthiques qui apparaissent lors de la prise en charge des	D'abord, la question de confidentialité, le système pour faire faire de l'analyse intelligente a besoin d'éléments qui sont liés aux traitements des patients et a son identification, « il a quel âge, c'est quoi son numéro d'assurance maladie, et plein d'autres choses nominales qui définissent c'est qui la personne » il faut en fait assurer d'un point de vue éthique que jamais les données sur ce que la personne a dit, il faut l'assurer non	Je ne sais pas si ça diffère des contraintes éthiques dans un contexte de santé en général, je pense qu'on peut appliquer en général, le même principe. Ça prendrait le consentement des patients, il faudrait que le patient sache ce que sont les	Ça rejoint les biais algorithmiques, l'algorithme n'a pas de notions de ce qui est l'éthique donc c'est le médecin qui va interagir avec l'algorithme qui va devoir gérer ces aspects éthiques et du côté de développeur, la personne qui programme l'algorithme aussi doit

<p>patients en utilisant l'intelligence artificielle ?</p>	<p>seulement du plan informatique, mais aussi l'assurer à l'utilisateur lui-même. Qu'ils y auront seulement les données médicales qui seront analysées.</p>	<p>risques, les complications et les chances de succès. Je pense qu'il faut quand même préciser ça aux patients si on va utiliser l'intelligence artificielle surtout au début avant que ça soit le standard, je pense que le patient soit informé et soit d'accord avec ça.</p>	<p>minimiser au maximum les problèmes éthiques associés à son algorithme</p>
<p>Comment faire face à ces contraintes éthiques ?</p>	<p>Pour être capable de définir ce qu'on peut faire, alors ceci ça veut dire de s'assurer qu'il ne faut rien qui passe, que l'information ne va pas sortir, à moins qu'on soit certain que le patient et le médecin vont l'accepter</p>	<p>C'est d'avoir un protocole et d'expliquer aux patients les avantages d'utiliser la technologie et d'avoir de bonnes études qui démontre qu'on a de bons succès avec la technologie, et que c'est mieux ou en moins égale ou meilleures qu'un diagnostic humain par exemple.</p>	<p>Par la formation et l'éducation, justement nous avons monté à l'université de Montréal le premier cours en français, de médecine computationnelle pour apprendre aux jeunes cliniciens à se former à l'intelligence artificielle et aux enjeux technique et aux enjeux éthique, et ça ne s'invente pas, il faut avoir été exposé aux questionnements</p>

		Si on parle d'intelligence artificielle dans un diagnostic	éthiques et aux grandes thématiques éthiques en question pour que les personnes puissent y faire face. Donc, le principal problème c'est que les personnes sont tentées d'utiliser ça comme un outil boîte noire sans comprendre comment ça fonctionne, et c'est le pire des cas, dans ces cas-là, par ce que l'algorithme pourrait commettre des erreurs et avoir des problèmes éthiques et que la personne humaine qui l'utilise ne se rends pas compte.
Quel est l'avenir de l'intelligence artificielle pour la santé ?	L'IA de nos jours, ce qu'elle a permis de faire, c'est qu'elle a commencé par dire c'est quoi la différence entre un rat et une souris, puis elle a commencé à dire c'est quoi la différence entre un Alzheimer et un non Alzheimer, puis elle a fait la différence entre une personne qui est prédisposé a Alzheimer et qui l'a, et une personne qui est prédisposé a un Alzheimer et qui l'a pas, enfaite ce qui est fascinant c'est que l'IA elle ne s'applique non pas	En générale, ça va prendre de plus en plus d'ampleur, je pense que c'est un outils qui peut être intéressant, par ce que avec l'intelligence artificielle on est capable d'analyser, d'avoir plus	L'avenir serait de combiner à la fois des approches computationnelles et algorithmiques avec des approches plutôt de cliniques et humaines. De ne pas aboutir à une médecine qui soit entièrement automatisé ; vidé

	<p>seulement aux données qu' elle était l'objectif de la recherche c'est que maintenant les données entres les chercheurs sont partagé de manière à ce que un nouveaux chercheur peut appliquer des recherches, donc tous les données qu'on accumule sur la santé pour un problème, peuvent être utilisé par un autre groupe de personne qui cherche sur un autre problème dans la mesures ou les bonnes données ont était accumulés et puis la c est infinie la possibilité,</p> <p>En tous les cas l'IA à un avenir très prometteur.</p> <p>Oui, très prometteur, d'autant plus que tout repose en partie sur l'interprétation de ce que les gens font de l'interaction c'est à dire les gens font l'interprétation des interactions qui peuvent les amenés à être plus malade, et qui peuvent les amenés à changer leur interaction avec le système, donc si on veut que l'ensemble de système de santé s'améliore faut analyser la réaction que les gens ont à ce qui se passe dans l'interaction.</p> <p>Mais sinon selon moi y a beaucoup de potentiel</p>	<p>d'expérience avec des affaires qu' un humain, par ce que un ordinateur va pouvoir analyser plus de données donc je pense c'est un avantage d'utiliser ça mais faut l'appliquer comme même de façon responsable en santé, car on travaux comme même avec des êtres humain, et donc je pense qu' il faut d'abord valider les technologies, faire beaucoup d'études pour être sûr que c'est valable avant de l'appliquer de façon généraliser pour tous les patients</p> <p>Moi, enfaite j'avais pensé qu'en fait l'IA, pourquoi enfaite vouloir l'intégrer dans le domaine de la santé surtout enfaite pour réduire la charge de travaux, et contribuer à fournir des soins de</p>	<p>enfaite de sa substances empathique et humaine, ça c'est un gros défis pour les perspectives en intelligence artificielle, après moi je travaille beaucoup sur la dimension sociale et comment faire pour les algorithmes en intelligence artificielle deviennent plus sociaux ; ça on est très loin et enfin y a tout un avenir aussi a combiné les approches dites Top-down et l'approche Bottom-up design, et data Driven ou enfaite beaucoup d'algorithmes d'intelligence artificielle se basent sur les données pour créer des connaissances mais enfaite l'être humain aussi, historiquement la science de la médecine a déjà des connaissances sur le fonctionnement du corps humain et de l' humain en générale, et dans ce cas-là , c'est intégrer cette connaissance antérieure dans les</p>
--	--	---	---

		<p>santé efficaces à nos patients, car comme je vois ici, ça prend énormément de temps entre un rdv et un autre. Entre ce que l'infirmière va apporter aux médecins, est ce qu'elle va apporter le jour même ou dans un mois, ou plus. Tu peux attendre 1 an à 2 ans pour une radiographie, etc.</p> <p>Oui, mais je pense qu'il y a aussi au niveau de triage, ça peut être intéressant aussi, car si on est capable de faire, de poser un diagnostic provisoire avec l'intelligence artificielle qui va nous permettre de mieux trier les urgences, et à localiser les ressources en santé, je pense que ça pourrait être une autre</p>	<p>algorithme qui eux apprennent des données de manière un plus agnostique.</p>
--	--	---	---

		<p>application intéressante dans le contexte de la santé</p> <p>Certainement</p>	
<p>Au Canada et au Québec, où l'intelligence artificielle est la mieux implanté ?</p>	<p>C'est déjà trop vaste déjà aux Québec, mais si vous chercher dans quel domaine je pourrais déjà vous dire, sur les jeux vidéo, dans le domaine aussi du processus industriel, dans les maladies de poisson c'est quoi, de trouver c'est quoi les problèmes électriques dont il faut s'occuper. Dans tout le domaine industriel c'est très implanté, et il y a beaucoup de recherche là-dedans.</p>	<p>Je ne pourrais pas vous dire, je ne sais pas exactement, je sais qu'on a quand même des centres d'excellence en intelligence artificielle ici, on a par exemple le centre Mila, je sais qu'il y a beaucoup de travaux qui se fait, mais je ne sais pas exactement dans quel domaine.</p> <p>En santé ?</p> <p>C'est sûr que les projets en santé ça touche un peu à tous les</p>	<p>Bah je dirai la radiologie, par ce qu'historiquement c'est là où l'intelligence artificielle avait beaucoup d'avance par la vision, y a beaucoup d'algorithmes pour le computer vision et donc du coup la radiologie et la dermatologie sont les deux domaines, ou je pense qu'il y a eu le plus de développement récent</p>

		<p>domaines. En revanche je sais qu'en médecine dentaire qui est un peu plus mon domaine, ce n'est pas super avancer au niveau de l'intelligence artificielle. En santé, ce sont probablement les radiologues qui ont le plus d'expérience, car je pense que l'application, la transition est un peu plus facile par ce que ce sont des notes très informatiques qui font, il travaille avec des images, donc je pense qu'il y a plus d'application au niveau d'interprétation radiologique, pas juste en médecine dentaire, mais en santé générale. Donc c'est un point de départ pour l'intelligence artificielle en santé.</p>	
--	--	---	--

<p>Quelle question pensez-vous importante à traiter aujourd'hui en IA pour la santé ?</p>	<p>Améliorer les données d'enregistrement du contexte, de manière à respecter l'éthique ; Pour être capable de changer le système d'interaction, faut savoir qu'est-ce que la personne va faire, ça c'est une question qui faudrait demandé, faut investiguer qu'est qui c'était passé, car c'est selon ce que la personne va faire étant donnée l'interaction qu'elle vient d'avoir, c très pertinent pour être capable de changer le système d'interaction, incluant le système d'organisation et le système informatique et le suivi téléphonique. Tout ça peut changer mais faut avoir qu'est que la personne va faire</p>	<p>Je pense qu'on est vraiment au début, tout ce qu'on peut faire pour intégrer, bon premièrement pour valider les outils, puis de commencer à les intégré. Je pense aussi à la question de mieux organiser les soins c'est super important, surtout ici au Québec, donc toute la question de triages des patients et de location des ressources, c'est une très bonne application. Et sinon on diagnostic en radiologie liée en diagnostic clinique aussi. Ça pourrait être une aide</p>	<p>Comme j'ai dit, les enjeux éthiques ; de biais algorithmique et de formation</p>

3.2. DONNEES SECONDAIRES

Dans ce chapitre il s'agira de présenter les données issues d'autres études.

3.2.1. Étapes de l'intervention de l'IA dans la prise en charge des patients

Selon Nicholson et al, bien que le domaine soit relativement jeune, l'IA a le potentiel de jouer au moins quatre rôles majeurs dans le système de soins de santé :

- Repousser les limites de la performance humaine. L'utilisation la plus spectaculaire de l'IA médicale consiste à faire des choses que les prestataires humains - même excellents - ne peuvent pas encore faire. Par exemple, Google Health a mis au point un programme capable de prédire l'apparition d'une lésion rénale aiguë jusqu'à deux jours avant qu'elle ne se produise ; comparez cela à la pratique médicale actuelle, où la lésion n'est souvent remarquée qu'après qu'elle s'est produite. De tels algorithmes peuvent améliorer les soins au-delà des limites actuelles de la performance humaine.
- Démocratiser la connaissance et l'excellence médicales. L'IA peut également partager l'expertise et les performances des spécialistes pour compléter les prestataires qui, autrement, ne disposeraient pas de cette expertise. L'ophtalmologie et la radiologie sont des cibles populaires, en particulier parce que les techniques d'analyse d'images par l'IA sont depuis longtemps au cœur du développement. Plusieurs programmes utilisent des images de l'œil humain pour établir des diagnostics qui nécessiteraient autrement l'intervention d'un ophtalmologiste. Grâce à ces programmes, un médecin généraliste, un technicien ou même un patient peut parvenir à cette conclusion. Cette démocratisation est importante car les spécialistes, en particulier les experts hautement qualifiés, sont relativement rares par rapport aux besoins dans de nombreux domaines.
- Automatiser les tâches fastidieuses dans la pratique médicale. L'IA peut automatiser certaines des tâches informatiques qui occupent une grande partie de la pratique médicale aujourd'hui. Les prestataires passent énormément de temps à gérer les dossiers médicaux électroniques, à lire les écrans et à taper sur des claviers, même dans la salle d'examen. Si les systèmes d'IA peuvent mettre en file d'attente les informations les plus pertinentes dans les dossiers des patients, puis distiller les enregistrements des rendez-vous et des conversations en données structurées, ils pourraient faire gagner un temps considérable aux prestataires et augmenter le temps de présence entre les prestataires et les patients, ainsi que la qualité de la rencontre médicale pour les uns et pour les autres.
- Gestion des patients et des ressources médicales. Enfin, et de manière moins visible pour le public, l'IA peut être utilisée pour allouer des ressources et façonner l'activité. Par exemple,

les systèmes d'IA peuvent prédire quels services sont susceptibles d'avoir besoin de personnel supplémentaire à court terme, suggérer lequel de deux patients pourrait bénéficier le plus de ressources médicales limitées ou, de manière plus controversée, identifier les pratiques permettant de maximiser les revenus¹²⁶.

3.2.2. L'IA pour améliorer l'efficacité opérationnelle

L'optimisation des ressources et l'encombrement des patients dans les services d'urgence constituent un défi. La prévision des besoins en ressources est essentielle pour réduire l'augmentation des coûts de santé en optimisant l'utilisation et la disponibilité des ressources de santé. Yousefi et al. ont utilisé l'apprentissage automatique et l'algorithme génétique (AG) pour déterminer l'allocation optimale des ressources dans les services d'urgence. Yousefi et al. ont construit un méta-modèle avec trois approches d'apprentissage automatique (système d'inférence neuro-floue adaptatif, réseau neuronal à avance directe et réseau neuronal récurrent) en utilisant l'algorithme d'ensemble bootstrap aggregating (bagging) et adaptive boosting (AdaBoost). Appliqué à un service d'urgence, l'algorithme GA a permis de réduire la durée moyenne de séjour de 15 %¹²⁷.

3.2.3. L'intelligence artificielle pour prévoir le flux de patients

L'intelligence artificielle peut être utilisée pour prévoir le flux de patients et éviter les déplacements inutiles au service des urgences. L'interprétation rapide des données cliniques permettrait de séparer les patients et de prédire les résultats des opérations du service des urgences. Par conséquent, l'intelligence artificielle influence directement le coût, l'utilisation efficace des ressources, le coût et le temps, ainsi que la qualité des soins aux patients. Au moment de l'arrivée aux urgences, l'IA peut stratifier les patients en fonction du risque et donc faciliter l'allocation efficace des ressources, ce qui à son tour améliore les résultats pour les patients. Dans le service des urgences, l'IA peut établir un diagnostic commun sur la base des radiographies et ainsi accélérer le plan de soins du patient. À la

¹²⁶ W. Nicholson Price II, « Risks and Remedies for Artificial Intelligence in Health Care », *Brookings* (blog), 14 novembre 2019, <https://www.brookings.edu/research/risks-and-remedies-for-artificial-intelligence-in-health-care/>.

¹²⁷ Milad Yousefi et al., « Chaotic Genetic Algorithm and Adaboost Ensemble Metamodeling Approach for Optimum Resource Planning in Emergency Departments », *Artificial Intelligence in Medicine* 84 (1 janvier 2018): 23-33, <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2017.10.002>.

sortie de l'hôpital, l'IA peut prédire les résultats possibles, en particulier les événements indésirables, et fournir un plan de suivi personnalisé pour le patient¹²⁸.

Une étude pilote menée en Finlande a évalué l'impact d'un système intelligent de gestion des flux de patients (IPFM) sur la rationalisation des flux de patients à l'hôpital. Le fonctionnement du système basé sur le web reposait sur les informations préliminaires relatives aux problèmes de santé et sur la vérification des symptômes à l'aide d'un moteur de diagnostic médical intelligent utilisant des algorithmes d'intelligence artificielle et d'apprentissage automatique. L'objectif premier de l'IPFM était d'aider les patients à éviter les appels et les visites inutiles à leur centre de santé, d'améliorer efficacement la planification du traitement et de gérer le flux de patients. L'IPFM a eu un impact significatif sur les coûts des soins de santé. Il a été associé à une réduction moyenne de 552 000 euros du coût total moyen des services pour 17 943 patients. Une réduction unitaire des coûts de 31 euros s'est traduite par une réduction des coûts pour une visite de l'infirmière du service des urgences (34 euros) ; trois appels téléphoniques de l'infirmière du service des urgences (10 euros) ; près de trois appels téléphoniques de l'infirmière des soins primaires (12 euros) ; deux lettres ou contacts électroniques de l'infirmière des soins primaires ; une consultation du médecin du service des urgences (35 euros) ; plus d'un appel téléphonique du médecin du service des urgences (23 euros) ; plus d'un appel téléphonique du médecin des soins primaires (26 euros) ; et une lettre ou un contact électronique du médecin des soins primaires. Les chercheurs ont conclu qu'un IPFM pouvait réduire les coûts des services dans le cadre des soins primaires¹²⁹.

3.2.4. Modèles de prévision des flux de patients

La prévision du flux de patients permettra d'optimiser les ressources hospitalières, d'améliorer la planification opérationnelle, d'améliorer la qualité des soins de santé, de planifier et d'allouer les ressources hospitalières et d'accroître la satisfaction des patients. Diverses méthodes de prévision ont été utilisées pour prédire le flux de patients, notamment la régression linéaire, la méthode SARIMA, le lissage exponentiel, la régression des séries temporelles et les réseaux neuronaux artificiels]. Quelques études ont tenté de prédire le flux de patients aux urgences ou en ambulatoire à l'aide de l'IA. Connaître à l'avance les fluctuations du volume des arrivées de patients permettront d'alléger le stress du personnel soignant. Jiang et al. ont utilisé une sélection de caractéristiques basée sur l'AG pour

¹²⁸ Yosef Berlyand et al., « How Artificial Intelligence Could Transform Emergency Department Operations », *The American Journal of Emergency Medicine* 36, n° 8 (août 2018): 1515-17, <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2018.01.017>.

¹²⁹ Henni Tenhunen et al., « Intelligent Patient Flow Management System at a Primary Healthcare Center - The Effect on Service Use and Costs », *Studies in Health Technology and Informatics* 255 (2018): 142-46.

comparer les résultats avec les modèles de prévision traditionnels (GLM, moyenne mobile intégrée autorégressive [ARIMA] et réseau neuronal artificiel [RNA] classique peu profond). Toutefois, ces modèles fonctionnent bien lorsque la prédiction est basée sur les données historiques quotidiennes d'une semaine relative à l'arrivée des patients. La précision de la prédiction de ces modèles diminue si l'horizon de prédiction est supérieur à une semaine et ne répond donc pas à la demande de prise de décision à long terme. Dans ce contexte, Jiang et al. ont utilisé un cadre d'apprentissage profond (réseaux neuronaux profonds [DNN]) pour prédire le volume d'arrivée quotidien et horaire des patients sous différentes sévérités avec un horizon de prédiction de 28 jours. Les chercheurs ont consulté 245 377 dossiers de patients entre le 1er juillet 2009 et le 31 mars 2011 et ont obtenu le volume quotidien et horaire. Les données du 1er juillet 2009 au 22 octobre 2010 ont été utilisées pour la sélection des caractéristiques et la validation des hyperparamètres (environ 70 %) et le reste (du 23 octobre 2010 au 31 mars 2011) pour les tests de performance. Sur la base du système de triage de l'hôpital, les patients ont été divisés en cinq catégories. Comparé à d'autres modèles de prédiction largement utilisés, le modèle DNN-I (intégré)-GA a atteint la plus grande précision avec la plus faible variance, ce qui reflète sa grande robustesse ¹³⁰. L'algorithme de sélection des caractéristiques basé sur l'AG a été amélioré par l'incorporation d'un croisement basé sur la condition physique. L'algorithme amélioré de sélection des caractéristiques basé sur l'AG a été plus performant que l'AG classique et que quatre algorithmes de sélection des caractéristiques de pointe (algorithme de sélection avec cadre de redondance minimale et de pertinence maximale, algorithme de sélection des caractéristiques enveloppantes basé sur le recuit simulé, algorithme de classement des caractéristiques basé sur l'importance variable, algorithme de classement des caractéristiques basé sur la corrélation). Le cadre DNN-I-GA intégré proposé a atteint une plus grande précision de prédiction sur les mesures de l'erreur quadratique moyenne et du pourcentage d'erreur absolue moyenne par rapport aux modèles statistiques standard (GLM, saisonnier-ARIMA, moyenne mobile autorégressive (ARIMAX) et ANN) et aux modèles de machines modernes (SVM de prise de décision avec noyau de fonctions de base radiales (RBF) [SVM-RBF], machine à vecteur de support avec noyau linéaire [SVM-linéaire], forêt aléatoire, LASSO détendu [R-LASSO]) ¹³¹.

¹³⁰ Shancheng Jiang, Qize Liu, et Beichen Ding, « A systematic review of the modelling of patient arrivals in emergency departments », *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery* 13, n° 3 (1 mars 2023): 1957-71, <https://doi.org/10.21037/qims-22-268>.

¹³¹ Jiang, Liu, et Ding.

3.2.5. Prédiction de la progression de la maladie à l'aide de modèles de forêt aléatoire

La prédiction de la progression de la maladie est cruciale pour les patients gravement malades, car un retard dans la détection de l'instabilité clinique peut entraîner des dommages ou la mort. Un modèle de forêt aléatoire dynamique est un type d'algorithme d'apprentissage automatique qui peut être utilisé pour prédire les résultats dans le cadre des soins intensifs. Il fonctionne à l'aide d'un ensemble d'arbres de décision qui peuvent s'adapter et se mettre à jour en temps réel au fur et à mesure que de nouvelles données sont disponibles. Une étude réalisée par Yoon et ses collaborateurs a montré qu'un modèle dynamique utilisant la classification par forêt aléatoire pouvait prédire l'instabilité cardiorespiratoire, définie comme une combinaison d'hypotension, de tachycardie, de détresse respiratoire ou de diminution de la saturation en oxygène 90 minutes avant qu'elle ne se produise dans la réalité ¹³². L'utilisation de l'IA et de l'apprentissage automatique s'est étendue à divers domaines tels que la santé publique, la prédiction des maladies et le développement de médicaments, y compris la capacité de prédire les mutations virales avant qu'elles ne surviennent. La puissance des approches d'IA continue d'être utilisée dans un large éventail d'applications de prédiction des maladies et de développement de médicaments. Dans une étude de Davoudi et al., la tachycardie, qui précède souvent le choc, a été prédite 75 minutes avant son apparition à l'aide d'un modèle de forêt aléatoire ¹³³. Bien qu'il ne s'agisse pas de soins intensifs, l'hypotension a également été prédite avant son apparition en salle d'opération et confirmée par un essai contrôlé randomisé, réduisant le taux d'hypotension peropératoire à 1,2 % ¹³⁴. Dans le domaine des soins intensifs, la prédiction des événements d'hypotension en USI a déjà été réalisée à l'aide d'un modèle de forêt aléatoire qui a analysé les dossiers médicaux électroniques et les données relatives aux signes vitaux, avec une sensibilité de 92,7 %, 15 minutes avant même que l'événement ne se produise. L'évaluation de la douleur chez les patients gravement malades est un autre domaine dans lequel l'apprentissage automatique, un sous-ensemble technologique de l'intelligence artificielle, est utilisé. Dans une étude

¹³² Joo H. Yoon et Michael R. Pinsky, « Predicting Adverse Hemodynamic Events in Critically Ill Patients », *Current Opinion in Critical Care* 24, n° 3 (juin 2018): 196-203, <https://doi.org/10.1097/MCC.0000000000000496>.

¹³³ Anis Davoudi et al., « Intelligent ICU for Autonomous Patient Monitoring Using Pervasive Sensing and Deep Learning », *Scientific Reports* 9, n° 1 (29 mai 2019): 8020, <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44004-w>.

¹³⁴ Marije Wijnberge et al., « Effect of a Machine Learning-Derived Early Warning System for Intraoperative Hypotension vs Standard Care on Depth and Duration of Intraoperative Hypotension During Elective Noncardiac Surgery: The HYPE Randomized Clinical Trial », *JAMA* 323, n° 11 (17 mars 2020): 1052-60, <https://doi.org/10.1001/jama.2020.0592>.

réalisée par Kobayashi et ses collaborateurs, qui s'est concentrée sur l'utilisation de l'apprentissage automatique pour évaluer la douleur ressentie par les patients des unités de soins intensifs, il a été rapporté que les signes vitaux, qui sont mesurés en continu dans les unités de soins intensifs, peuvent être utilisés pour prédire la douleur avec une précision supérieure à 85 % à l'aide d'un modèle de forêt aléatoire (FA)¹³⁵. Cela montre que l'apprentissage automatique peut être utilisé pour évaluer la douleur en continu, ce qui est important pour la gestion de la douleur et l'utilisation d'analgésiques dans les unités de soins intensifs. L'étude suggère également que l'utilisation d'un algorithme automatisé et continu d'évaluation de la douleur peut aider à soulager la douleur chez les patients qui ne peuvent pas communiquer, ce qui pourrait améliorer leur espérance de vie¹³⁶. Tous ces exemples montrent que l'utilisation de ces modèles peut s'avérer très utile pour la prise en charge des patients gravement malades.

3.2.6. Aide à la prise de décisions complexes dans les soins intensifs

L'IA a le potentiel d'aider les médecins dans le processus complexe d'évaluation des niveaux de risque des patients pour les traitements, de déterminer ceux qui sont les plus susceptibles de subir une détérioration soudaine, et d'analyser de multiples petits résultats pour améliorer les résultats globaux des patients. Cependant, la complexité des techniques d'IA peut affecter la compréhension et l'interprétation des résultats par les médecins¹³⁷. Pour surmonter ce problème, il est important que l'enseignement médical implique les médecins dans la création de modèles et les forme dans ce domaine. Les plateformes d'IA ont le potentiel d'être plus efficaces à certains égards que les soignants. Par exemple, comparée à des consultants seniors, une plateforme d'IA telle que Childhood Cataract Cruiser s'est avérée plus efficace et plus rapide pour les diagnostics, avec des taux de satisfaction élevés chez les patients. De telles plateformes peuvent également être testées dans le cadre des soins intensifs. Si elles s'avèrent concluantes, elles pourraient améliorer considérablement l'efficacité de la prestation des soins dans les unités de soins intensifs. Les solutions uniques ne sont pas efficaces pour traiter les problèmes complexes, comme le montre l'absence d'amélioration des résultats du choc septique au cours des dernières années malgré les différentes directives de traitement. L'utilisation du concept d'apprentissage par renforcement peut offrir des solutions individualisées à la nature diverse

¹³⁵ Muhammad Saqib et al., « Artificial intelligence in critical illness and its impact on patient care: a comprehensive review », *Frontiers in Medicine* 10 (2023), <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmed.2023.1176192>.

¹³⁶ Saqib et al.

¹³⁷ Saqib et al.

du choc septique et aux réponses variables de l'hôte. Une étude de Komorowski et al. a utilisé l'apprentissage par renforcement sur des données de séries temporelles comportant 44 caractéristiques recueillies auprès de patients sous ventilation mécanique, ce qui a permis d'améliorer les résultats par rapport aux soins cliniques standard, en réduisant les taux de mortalité à 90 jours et en unité de soins intensifs¹³⁸. L'IA peut également analyser l'électrocardiogramme en temps réel pour détecter les infarctus du myocarde. Une étude de Chen et al. a fait état de l'utilisation de l'analyse en temps réel des électrocardiogrammes assistée par l'IA dans le cadre préhospitalier et a constaté qu'elle était réalisable et qu'elle pouvait réduire les délais de traitement des patients nécessitant une intervention coronarienne percutanée¹³⁹. Ces exemples démontrent l'efficacité de l'utilisation de l'IA pour l'orientation thérapeutique dans la prise de décision médicale pour les patients gravement malades.

3.2.7. Erreurs pouvant survenir dans l'utilisation de l'IA

Si l'IA présente un certain nombre d'avantages possibles, elle comporte également plusieurs risques :

- Blessures et erreurs. Le risque le plus évident est que les systèmes d'IA se trompent parfois et qu'il en résulte des blessures pour les patients ou d'autres problèmes de santé. Si un système d'IA recommande le mauvais médicament à un patient, ne remarque pas une tumeur sur un scanner ou attribue un lit d'hôpital à un patient plutôt qu'à un autre parce qu'il a prédit à tort quel patient en bénéficierait le plus, le patient pourrait être blessé. Bien entendu, de nombreuses blessures sont dues à des erreurs médicales dans le système de santé actuel, même sans l'intervention de l'IA. Les erreurs dues à l'IA sont potentiellement différentes pour au moins deux raisons. Premièrement, les patients et les prestataires de soins peuvent réagir différemment aux blessures résultant d'un logiciel et à celles résultant d'une erreur humaine. Deuxièmement, si les systèmes d'IA se généralisent, un problème sous-jacent dans un système d'IA pourrait causer des blessures à des milliers de patients - plutôt qu'au nombre limité de patients blessés par l'erreur d'un seul prestataire.
- Disponibilité des données. La formation des systèmes d'IA nécessite de grandes quantités de données provenant de sources telles que les dossiers médicaux électroniques, les dossiers

¹³⁸ Matthieu Komorowski et al., « The Artificial Intelligence Clinician Learns Optimal Treatment Strategies for Sepsis in Intensive Care », *Nature Medicine* 24, n° 11 (novembre 2018): 1716-20, <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0213-5>.

¹³⁹ Ke-Wei Chen et al., « Artificial intelligence-assisted remote detection of ST-elevation myocardial infarction using a mini-12-lead electrocardiogram device in prehospital ambulance care », *Frontiers in Cardiovascular Medicine* 9 (2022), <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fcvm.2022.1001982>.

pharmaceutiques, les dossiers de demande d'indemnisation ou les informations générées par les consommateurs, comme les trackers de fitness ou l'historique des achats. Mais les données de santé sont souvent problématiques. Elles sont généralement fragmentées entre de nombreux systèmes différents. Même en dehors de la variété que nous venons de mentionner, les patients consultent généralement différents prestataires et changent de compagnie d'assurance, ce qui entraîne une fragmentation des données dans de multiples systèmes et de multiples formats. Cette fragmentation augmente le risque d'erreur, réduit l'exhaustivité des ensembles de données et augmente le coût de la collecte des données, ce qui limite également les types d'entités qui peuvent développer une IA efficace dans le domaine des soins de santé.

- Préoccupations en matière de protection de la vie privée. Une autre série de risques concerne la protection de la vie privée : la nécessité de disposer de vastes ensembles de données incite les développeurs à collecter des données auprès de nombreux patients. Certains patients peuvent craindre que cette collecte porte atteinte à leur vie privée, et des actions en justice ont été intentées en raison du partage de données entre de grands systèmes de santé et des développeurs d'IA. L'IA pourrait impliquer la protection de la vie privée d'une autre manière : L'IA peut prédire des informations privées sur les patients même si l'algorithme n'a jamais reçu ces informations. (Par exemple, un système d'IA pourrait être capable d'identifier qu'une personne est atteinte de la maladie de Parkinson en se basant sur les tremblements d'une souris d'ordinateur, même si la personne n'a jamais révélé cette information à quelqu'un d'autre (ou ne le savait pas). Les patients pourraient considérer qu'il s'agit d'une violation de leur vie privée, en particulier si les conclusions du système d'IA étaient accessibles à des tiers, tels que des banques ou des compagnies d'assurance-vie.
- Préjugés et inégalités. L'IA dans le domaine de la santé comporte des risques de partialité et d'inégalité. Les systèmes d'IA apprennent à partir des données sur lesquelles ils sont formés, et ils peuvent intégrer des biais provenant de ces données. Par exemple, si les données disponibles pour l'IA sont principalement recueillies dans des centres médicaux universitaires, les systèmes d'IA qui en résulteront en sauront moins sur les patients issus de populations qui ne fréquentent généralement pas les centres médicaux universitaires, et les traiteront donc moins efficacement. De même, si des systèmes d'IA à reconnaissance vocale sont utilisés pour transcrire les notes de consultation, ces systèmes d'IA risquent d'être moins performants lorsque le prestataire est d'une race ou d'un sexe sous-représenté dans les données d'apprentissage. Même si les systèmes d'IA apprennent à partir de données précises et représentatives, des problèmes peuvent subsister si ces informations reflètent des préjugés et des inégalités sous-jacents dans le système de santé. Par exemple, les patients afro-américains reçoivent en moyenne moins de traitements contre la douleur que les patients blancs ; un

système d'IA apprenant à partir des dossiers du système de santé pourrait apprendre à suggérer des doses plus faibles d'analgésiques aux patients afro-américains, même si cette décision reflète un biais systémique et non la réalité biologique. Les systèmes d'IA d'allocation des ressources pourraient également exacerber les inégalités en affectant moins de ressources aux patients considérés comme moins désirables ou moins rentables par les systèmes de santé pour toute une série de raisons problématiques.

- Réorientation professionnelle. Les risques à plus long terme impliquent des changements dans la profession médicale. Certaines spécialités médicales, comme la radiologie, sont susceptibles d'évoluer considérablement à mesure qu'une grande partie de leur travail devient automatisable. Certains chercheurs craignent que l'utilisation généralisée de l'IA n'entraîne une diminution des connaissances et des capacités humaines au fil du temps, de sorte que les prestataires perdent la capacité de détecter et de corriger les erreurs de l'IA et de continuer à développer les connaissances médicales¹⁴⁰.

3.2.8. Solutions possibles

Il existe plusieurs moyens de faire face aux risques potentiels de l'IA dans le domaine de la santé :

- Production et disponibilité des données. Plusieurs risques découlent de la difficulté de rassembler des données de haute qualité tout en protégeant la vie privée des patients. Une série de solutions potentielles repose sur la mise à disposition par les pouvoirs publics de ressources infrastructurelles pour les données, allant de la définition de normes pour les dossiers médicaux électroniques à la fourniture directe d'une assistance technique pour les efforts de collecte de données de haute qualité dans les systèmes de santé qui ne disposent pas de ces ressources. Une option parallèle est l'investissement direct dans la création d'ensembles de données de haute qualité. Dans cette optique, l'initiative All of Us des États-Unis et la BioBank du Royaume-Uni visent toutes deux à collecter des données complètes sur les soins de santé d'un très grand nombre d'individus. La mise en place de mesures efficaces de protection de la vie privée pour ces ensembles de données à grande échelle sera probablement essentielle pour garantir la confiance et la participation des patients.
- Contrôle de la qualité. Le contrôle de la qualité des systèmes d'IA contribuera à réduire le risque de préjudice pour les patients. La Food and Drug Administration (FDA) supervise certains produits d'IA destinés aux soins de santé qui sont commercialisés. L'agence a déjà autorisé la mise sur le marché de plusieurs produits et réfléchit de manière créative à la

¹⁴⁰ II, « Risks and Remedies for Artificial Intelligence in Health Care ».

meilleure façon de superviser les systèmes d'IA dans le domaine de la santé. Toutefois, de nombreux systèmes d'IA dans le domaine de la santé ne relèveront pas de la FDA, soit parce qu'ils ne remplissent pas de fonctions médicales (dans le cas de l'IA de back-end ou d'allocation de ressources), soit parce qu'ils sont développés et déployés en interne par les systèmes de santé eux-mêmes - une catégorie de produits que la FDA ne supervise généralement pas. Ces systèmes d'IA dans le domaine de la santé présentent une certaine lacune en matière de surveillance. Les systèmes de santé et les hôpitaux, les organisations professionnelles telles que l'American College of Radiology et l'American Medical Association, ou les assureurs pourraient devoir intensifier leurs efforts de surveillance pour garantir la qualité des systèmes qui ne relèvent pas de l'autorité réglementaire de la FDA.

- L'engagement et l'éducation des prestataires. L'intégration de l'IA dans le système de santé modifiera sans aucun doute le rôle des prestataires de soins. Une vision optimiste est que les prestataires seront en mesure de fournir des soins plus personnalisés et de meilleure qualité, libérés pour passer plus de temps à interagir avec les patients en tant qu'êtres humains ; une vision moins optimiste serait que les prestataires luttent contre une mousson de prédictions et de recommandations ininterprétables émanant d'algorithmes concurrents. Dans l'un ou l'autre cas - ou dans toute option intermédiaire - la formation médicale devra préparer les prestataires à évaluer et à interpréter les systèmes d'IA qu'ils rencontreront dans l'environnement évolutif des soins de santé¹⁴¹.

¹⁴¹ II. *ibid*

CHAPITRE 4

ANALYSE QUALITATIVE DES ENTRETIENS

Afin d'analyser les propos recueillis lors des trois entretiens et d'effectuer le lien avec le cadre théorique, j'ai choisi de traiter un à un les questions abordées.

4.1. LES CHAMPS D'APPLICATION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE EN SANTE

Pour l'expert 1, ses fonctions consistaient à examiner, par exemple, des dossiers médicaux dans un service de cardiologie en vue d'établir des protocoles de soins qui seront implantés dans les milieux médicaux ; on en déduit donc que l'IA entre dans l'élaboration des protocoles en soin de santé et donc aide à la prise en charge des patients. Quant à l'expert 2, il existe plusieurs champs d'application de l'IA à savoir la médecine dentaire, la radiologie. Pour lui « *des projets sont en cours pour interpréter la radiographie à l'aide de l'intelligence artificielle* ». L'expert 3 donne une réponse plus précise. Pour lui l'IA intervient sur trois champs interdisciplinaires, la recherche « *c'est la compréhension des mécanismes des maladies et pour ça c'est plus l'utilisation de l'intelligence artificielle* » ; la clinique « *Y a une application qui sera plus liée à la clinique et qui va dans le sens d'utiliser l'intelligence artificielle pour améliorer à la fois la détection pour le diagnostic et l'aide à la prise de décision clinique pour le choix de thérapie et le suivi de patient* » ; et enfin dans le système de santé « *qui consisterait à optimiser les flux et la prise de décision à l'échelle des hôpitaux* ». On retient donc de ces réponses que l'IA intervient sur trois champs, la recherche, la clinique et le système de gestion en santé.

4.2. ETAPES D'INTERVENTION DE L'IA LORS DE LA PRISE EN CHARGE DES PATIENTS

La question suivante visait à savoir les étapes où peut intervenir l'IA lors de la prise en charge des patients. L'expert 1 ne donne pas vraiment de réponse à cette question. Pour l'expert 2, l'IA aiderait au diagnostic des maladies et pourrait permettre de faire, par exemple, des simulations de reconstruction dentaire. En revanche, l'expert 3 donne plus de précisions ; pour lui, l'IA intervient dans la prise en charge préventive, l'orientation du patient, le tri, et dans le diagnostic des pathologies. Cette dernière réponse paraît plus juste et concordant avec notre littérature.

4.3. IMPACT DE L'IA SUR LES ETAPES DE LA PRISE EN CHARGE DES PATIENTS

La question suivante visait à savoir comment l'IA peut améliorer les étapes de la prise en charge des patients. En analysant les réponses des experts, l'IA permettrait de gérer les informations et les données des patients, ce que ne peut faire l'être humain. En gérant donc ces données, plusieurs algorithmes peuvent être mis en place et ainsi faciliter la prise en charge des patients.

4.4. ERREURS DE L'IA LORS DE LA PRISE EN CHARGE DES PATIENTS

La question suivante visait à savoir si des erreurs peuvent survenir lors de la prise en charge des patients avec l'IA. Les experts sont tous unanimes que des erreurs peuvent survenir. Ces erreurs sont surtout liées à des biais algorithmiques. Par exemple pour l'expert 3, en génétique, beaucoup des bases de données sont sur des occidentaux et caucasiens, alors que le code génétique des personnes d'origine africaine est beaucoup plus divers, donc les algorithmes qu'on apprend sur les bases de données occidentales pourraient conduire à des erreurs sur des génomes de personnes issues d'Afrique. Toutefois, l'IA est un outil qui aide à la prise en charge des patients, et ne doit pas remplacer les praticiens dans la prise en charge.

4.5. PROPOSITIONS POUR UNE GESTION OPTIMALE DE LA PRISE EN CHARGE DES PATIENTS EN UTILISANT L'IA

Pour une gestion optimale de la prise en charge des patients, il faut que le personnel de soin puisse utiliser l'IA comme un outil qui aiderait à la prise en charge, mais qui pourrait présenter des biais, et donc ne pas occulter l'aspect humain de la prise en charge.

4.6. ENJEUX OU DEFIS LIES A L'USAGE DE L'IA

Plusieurs enjeux ont été énumérés par les experts. Pour l'expert 1, il identifie la confidentialité des données comme un obstacle à l'élaboration des algorithmes, ceci pourrait donc être une source de biais des algorithmes utilisés. L'expert 2 quant à lui relève l'impossibilité à l'IA d'intégrer le côté subjectif des données des patients, le côté relationnel. Les algorithmes ne sont pas en mesure de prendre un tout d'un malade, ils ne sont conçus que pour des objectifs spécifiques ; ces propos suivants illustrent cela « *Je pense qu'il manque un peu le côté humain, le côté subjectifs des diagnostics aussi, j'imagine avec le temps et la recherche, on va pouvoir intégrer ces notions-là aussi à l'intelligence artificielle, mais, pour l'instant si l'on parle de juste analyser une radiographie, par exemple, ça ne donne pas toute l'image au complet, il faut tout de même corréliser avec la clinique avec les symptômes de patient* ». D'autres défis ont été soulignés par l'expert 3, il s'agit du changement dans les systèmes de santé, la formation des utilisateurs et le dernier qui est plus important, la régulation, la réglementation, la responsabilité légale en cas d'erreur des algorithmes. Ce sont des défis à relever pour une bonne implication de l'IA dans la prise en charge des patients. Par ailleurs, un autre défi auquel il faut faire face est le risque de délégation de la décision médicale à l'IA. En effet, avec le développement de l'IA il y a risque que le savoir médical revienne au logiciel d'IA avec également un risque que l'expertise n'appartienne plus au soignant ; ainsi la question se pose de savoir comment s'assurer que le soignant soit toujours maître de la décision finale. Un autre défi est également de

trouver la manière d'associer le patient à la prise de décision. Enfin, l'erreur des algorithmes est le risque qui effraie beaucoup plus les utilisateurs dans leur prise en charge des patients.

4.7. LIMITES DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Malgré les succès apparents de l'intelligence artificielle, nos experts pensent qu'elle n'est pas sans limites en santé. L'expert 1 identifie l'imprécision de données médicales comme une limite à l'élaboration des algorithmes « *l'IA ne peut rien faire avec les informations qui sont imprécises, qui n'ont pas de sens* ». Pour l'expert 2, l'IA ne permet pas de prendre en charge de façon globale les patients. Pour l'expert 3, ce sont « *les aspects humains et le fait de pouvoir généraliser sur des populations que l'algorithme n'a jamais vues* » qui constitue des limites de l'IA. Toutes ces limites retrouvées concordent avec les résultats de nos recherches.

4.8. CONTRAINTES ETHIQUES DANS L'UTILISATION DE L'IA

Les experts ont relevé la question de consentement lors de l'utilisation de l'IA pour un patient ; pour l'expert 2 « *faudrait que le patient sache ce que sont les risques, les complications et les chances de succès. Je pense qu'il faut quand même préciser ça aux patients si on va utiliser l'intelligence artificielle* ». Pour l'expert 3, les contraintes éthiques de l'IA sont liées aux biais algorithmiques, mais ces algorithmes n'ont pas la notion d'éthique, il s'agit donc au personnel de soin utilisant ces algorithmes de gérer les aspects éthiques. En effet, l'utilisation de l'IA permet d'améliorer le diagnostic, mais soulève également la question de la responsabilité lorsqu'une erreur survient, appartient-elle à l'utilisateur ? au fabricant ? ou au concepteur ? Par exemple, si le logiciel n'arrive pas à détecter un cancer et que le patient décède, à qui revient la responsabilité. Si un diagnostic erroné a été posé et provoque un retard à la prise en charge entraînant une diminution des chances de guérison du malade, qui sera responsable du préjudice ? Est-ce le médecin pour ne pas avoir correctement examiné le malade ? ou le fournisseur pour avoir fourni un service négligent, ou le concepteur pour avoir fabriqué un matériel défectueux ? Ou le service logistique de l'hôpital ? Beaucoup de questions sont posées alors. La compréhension des processus automatisés pour la prise de décision est une étape nécessaire pour l'application d'un régime juridique.

4.9. GESTION DES CONTRAINTES ETHIQUES

Pour faire face aux contraintes éthiques, les experts ont suggéré d'abord de former les cliniciens à l'utilisation de l'intelligence artificielle et aux enjeux éthiques qui s'y présentent. Pour eux, c'est en faisant face aux problèmes éthiques lors de leur formation qu'ils pourront faire face à ces problèmes éthiques lors de leurs pratiques cliniques. L'expert 3 l'exprime dans ses propos « *il faut avoir été exposé*

aux questionnements éthiques et aux grandes thématiques éthiques en question pour que les personnes puissent y faire face. Donc, le principal problème, c'est que les personnes sont tentées d'utiliser ça comme un outil boîte noire sans comprendre comment ça fonctionne, et c'est le pire des cas, dans ces cas-là, par ce que l'algorithme pourrait commettre des erreurs et avoir des problèmes éthiques et que la personne humaine qui l'utilise ne se rend pas compte ». Pour l'expert 2, il faut avant tout expliquer les avantages de l'utilisation de l'IA aux patients tout en leur mentionnant que des erreurs peuvent survenir. Dans ces conditions, on pourrait obtenir leur consentement ou non.

4.10. AVENIR DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE POUR LA SANTE

Nous avons voulu savoir ensuite l'avenir de l'IA en santé selon les experts. Les experts 1 et 2 sont dans l'espoir d'une évolution évidente de l'IA. Pour l'expert 3, il serait de combiner dans le futur à la fois des approches computationnelles et algorithmiques avec des approches plutôt de cliniques et humaines. Il faudrait adjoindre dans les algorithmes d'IA l'aspect social de la prise en charge des patients.

4.11. DOMAINE OU L'IA EST PLUS IMPLANTE AU CANADA ET AU QUEBEC ?

Pour l'expert 1, l'IA est plus implantée dans le domaine des jeux vidéo, le domaine industriel, le domaine électrique. L'expert 2, c'est surtout en médecine dentaire et en radiologie. Quant à l'expert 3, l'IA est plus implantée en radiologie et en dermatologie. Ainsi, on remarque que l'IA est plus développée dans les domaines d'images.

4.12. QUESTIONS IMPORTANTES A TRAITER AUJOURD'HUI EN IA EN SANTE

Pour l'expert 1, c'est d'améliorer l'enregistrement des données des patients, données qui servent à l'élaboration des algorithmes. Pour l'expert 2, c'est la validation des outils d'IA disponibles et ensuite leurs intégrations au système de santé en vue de mieux organiser les soins. L'expert 3, par contre pense qu'il faut traiter d'abord des questions éthiques, du biais algorithmique et enfin la formation des utilisateurs. Nous remarquons que toutes ses questions sont importantes à traiter en vue d'une utilisation optimale et sécurisée de l'IA dans les soins.

4.13. VALIDITE DE L'ETUDE

L'objectif de cette étude était de déterminer l'apport de l'intelligence artificielle dans la prise en charge des patients au Canada. Le choix porté sur une étude qualitative était donc justifié, car cette dernière permettait de fournir des descriptions textuelles complexes de la façon dont les experts vivent la question de recherche. La collecte de données a été faite par nous-même en précisant certaines questions lorsqu'elles ne sont pas bien comprises. Ainsi, nous pensons que les données que nous rapportons sont fiables.

4.14. LIMITES DE L'ETUDE

La limite de cette étude réside dans le nombre très petit d'experts interviewés. En effet, sur 35 experts contactés, plusieurs n'ont pas répondu et parmi ceux qui ont répondu seulement trois avaient des connaissances dans les deux domaines que sont l'intelligence artificielle et la santé. Les résultats obtenus de ces trois experts ne sont pas suffisants pour généraliser à tous les experts. Toutefois, les résultats auxquels nous sommes parvenus sont assez révélateurs des réalités.

Également, la réalisation des entretiens par zoom ou appel téléphonique ne nous permettait pas d'avoir les données non verbales. C'est-à-dire qu'à partir de la mimique de l'expert, on pouvait avoir des informations non verbales.

CONCLUSION

Le travail fait ici se fonde sur les récentes avancées dans le domaine de la santé notamment l'utilisation de l'intelligence artificielle dans ce domaine. Trouver de solutions pour la gestion de la pénurie actuelles des professionnels de santé dans un contexte d'augmentation de la population est un défi capital auquel il faut faire face. Dans de nombreux pays dont le Canada, les services d'urgence doivent faire face à des débordements d'occupation de façon chronique. Face à cette situation, les réflexions se sont orientées vers l'utilisation de l'IA, ainsi, nous avons décidé d'évaluer l'apport de cette dernière dans la gestion de la prise en charge des patients au Canada. Nous avons utilisé une méthode de recherche qualitative en faisant des entretiens semi-directifs au niveau de trois experts dans le domaine de l'intelligence artificielle en santé. Cette méthode nous permet de poser des questions précises et d'avoir des réponses personnelles individuelles des experts, leurs opinions. Elle nous permettait de reformuler nos questions en cas de besoin. De ces entretiens, il ressort que l'IA intervient dans la recherche, la clinique et la gestion en santé ; elle permet une prise en charge préventive, l'orientation du patient, le tri et le diagnostic des pathologies. Mais, plusieurs défis sont à relever à savoir : les erreurs, la responsabilité en cas d'erreur, le risque de délégation de la décision médicale à l'IA et enfin la manière d'associer le patient à la prise de décision. Mais, il est clair qu'une façon de mieux maîtriser les conséquences fonctionnelles de l'IA en santé pour la société et en éthique nécessite de former les professionnels à son utilisation. Il faut également se rappeler que l'être humain doit rester décisionnaire en dernier ressort dans le trio patient –machine-professionnel de santé, pour que notre santé ne nous échappe pas. Deux limites sont à soulever à cette étude : il s'agit du nombre faible d'experts interrogés et également la méthode d'interview utilisée. Toutefois, les résultats auxquels nous sommes parvenus sont assez révélateurs des réalités. Nous avons évoqué l'impossibilité à l'IA de prendre en compte le côté humain lors des analyses en matière de santé. Ainsi, des recherches doivent être faites dans ce sens dans le but de trouver comment améliorer les algorithmes à associer le côté social dans la prise des décisions.

ANNEXE A

Questionnaire

1- Quels sont les champs d'application de l'intelligence artificielle en santé ?

.....
.....
.....

2-Quelles sont les étapes où peut intervenir l'intelligence artificielle lors de la prise en charge des patients ?

.....
.....
.....

3-Comment l'intelligence artificielle peut-elle améliorer ces étapes ?

.....
.....
.....
.....

4-Des erreurs peuvent-elles survenir lors de la prise en charge des patients en utilisant l'IA ? Si oui, pouvez-vous nous donner des exemples ?

.....
.....

5-Quelles sont vos propositions pour une gestion optimale de la prise en charge des patients en utilisant l'intelligence artificielle ?

.....
.....
.....

6-Quels sont les enjeux ou les défis à l'usage de l'intelligence artificielle ?

.....
.....
.....

7-Quelles sont les limites de l'intelligence artificielle ?

.....
.....

8- Quelles sont les contraintes éthiques qui apparaissent lors de la prise en charge des patients en utilisant l'intelligence artificielle ?

.....
.....
.....

9-Comment faire face à ces contraintes éthiques ?

.....
.....
.....

10-Quel est l'avenir de l'intelligence artificielle pour la santé ?

.....
.....

11- Au Canada et au Québec, où l'intelligence artificielle est la mieux implantée ?

.....
.....

12-Quelles questions pensez-vous importantes à traiter aujourd'hui en IA pour la santé ?

.....
.....

13-Avez-vous d'autres mots pour la fin ?

.....
.....
.....

ANNEXE B

No. de certificat : 2023-5460

Date : 2023-01-10

CERTIFICAT D'APPROBATION ÉTHIQUE

Le Comité d'éthique de la recherche pour les projets étudiants impliquant des êtres humains (CERPE plurifacultaire) a examiné le projet de recherche suivant et le juge conforme aux pratiques habituelles ainsi qu'aux normes établies par la *Politique No 54 sur l'éthique de la recherche avec des êtres humains*(2020) de l'UQAM.

- Titre du projet : **Système optimal de gestion de la prise en charge des patients au Canada : apport de l'intelligence artificielle**
- Nom de l'étudiant : **Ines Talout**
- Programme d'études : **Maitrise ès sces de la gestion (stratégie, avec mémoire)**
- Direction(s) de recherche : **Soumaya Ben Letaifa**

Modalités d'application

Toute modification au protocole de recherche en cours de même que tout événement ou renseignement pouvant affecter l'intégrité de la recherche doivent être communiqués rapidement au comité.

La suspension ou la cessation du protocole, temporaire ou définitive, doit être communiquée au comité dans les meilleurs délais.

Le présent certificat est valide pour une durée d'un an à partir de la date d'émission. Au terme de ce délai, un rapport d'avancement de projet doit être soumis au comité, en guise de rapport final si le projet est réalisé en moins d'un an, et en guise de rapport annuel pour le projet se poursuivant sur plus d'une année au plus tard un mois avant la date d'échéance (**2024-01-10**) de votre certificat. Dans ce dernier cas, le rapport annuel permettra au comité de se prononcer sur le renouvellement du certificat d'approbation éthique.

Élise Ducharme

Pour Caroline Coulombe,

Vice-Présidente CERPE plurifacultaire et Professeur titulaire, Département de management



Signé le 2023-01-10 à 10:17

ANNEXE C

No. de certificat : 2023-5460

Date : 2023-05-29

AVIS FINAL DE CONFORMITÉ

Le Comité d'éthique de la recherche pour les projets étudiants impliquant des êtres humains (CERPÉ plurifacultaire) a examiné le projet de recherche suivant et le juge conforme aux pratiques habituelles ainsi qu'aux normes établies par la *Politique No 54 sur l'éthique de la recherche avec des êtres humains* (janvier 2016) de l'UQAM.

Titre du projet : Système optimal de gestion de la prise en charge des patients au Canada : apport de l'intelligence artificielle

Nom de l'étudiant : Ines Talout

Programme d'études : Maîtrise ès sces de la gestion (stratégie, avec mémoire)

Direction(s) de recherche : Soumaya Ben Letaifa

Merci de bien vouloir inclure une copie du présent document et de votre certificat d'approbation éthique en annexe de votre travail de recherche.

Les membres du CERPÉ plurifacultaire vous félicitent pour la réalisation de votre recherche et vous offrent leurs meilleurs voeux pour la suite de vos activités.



Caroline Coulombe
Professeure, Département de management
Présidente du CERPÉ plurifacultaire

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Burdick, Hoyt, Eduardo Pino, Denise Gabel-Comeau, Andrea McCoy, Carol Gu, Jonathan Roberts, Sidney Le, et al. (Avril 2020). « Effect of a Sepsis Prediction Algorithm on Patient Mortality, Length of Stay and Readmission: A Prospective Multicentre Clinical Outcomes Evaluation of Real-World Patient Data from US Hospitals ». *BMJ Health & Care Informatics* 27, n° 1: e100109. <https://doi.org/10.1136/bmjhci-2019-100109>.
- Carriere, Jay, Jason Fong, Tyler Meyer, Ron Sloboda, Siraj Husain, Nawaid Usmani, et Mahdi Tavakoli. (2019) « An Admittance-Controlled Robotic Assistant for Semi-Autonomous Breast Ultrasound Scanning ». In *2019 International Symposium on Medical Robotics (ISMR)*, 1-7. <https://doi.org/10.1109/ISMR.2019.8710206>.
- Ceylan, Hakan, Immihan C. Yasa, Ugur Kilic, Wenqi Hu, et Metin Sitti. (juillet 2019). « Translational Prospects of Untethered Medical Microrobots ». *Progress in Biomedical Engineering* 1, n° 1: 012002. <https://doi.org/10.1088/2516-1091/ab22d5>.
- Denecke, Kerstin, et Claude R. Baudoin. (6 juillet 2022). « A Review of Artificial Intelligence and Robotics in Transformed Health Ecosystems ». *Frontiers in Medicine* 9: 795957. <https://doi.org/10.3389/fmed.2022.795957>.
- End-User Development*. Consulté le 7 août 2022. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-79840-6>.
- Farahmand, Shervin, Omid Shabestari, Meghdad Pakrah, Hooman Hossein-Nejad, Mona Arbab, et Shahram Bagheri-Hariri. (2017). « Artificial Intelligence-Based Triage for Patients with Acute Abdominal Pain in Emergency Department; a Diagnostic Accuracy Study ». *Advanced Journal of Emergency Medicine* 1, n° 1: e5. <https://doi.org/10.22114/AJEM.v1i1.11>.
- Felfoul, Ouajdi, Mahmood Mohammadi, Samira Taherkhani, Dominic de Lanauze, Yong Zhong Xu, Dumitru Loghin, Sherief Essa, et al. (novembre 2016). « Magneto-Aerotactic Bacteria Deliver Drug-Containing Nanoliposomes to Tumour Hypoxic Regions ». *Nature Nanotechnology* 11, n° 11: 941-47. <https://doi.org/10.1038/nnano.2016.137>.
- Goh, Kim Huat, Le Wang, Adrian Yong Kwang Yeow, Hermione Poh, Ke Li, Joannas Jie Lin Yeow, et Gamaliel Yu Heng Tan. (29 janvier 2021). « Artificial Intelligence in Sepsis Early Prediction and Diagnosis Using Unstructured Data in Healthcare ». *Nature Communications* 12, n° 1 :711. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-20910-4>.
- Hager, Gregory, Vijay Kumar, Robin Murphy, Daniela Rus, et Russell Taylor. (19 October 2020). « The Role of Robotics in Infectious Disease Crises ». arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2010.09909>.
- Hamet, Pavel, et Johanne Tremblay. (Avril 2017). « Artificial Intelligence in Medicine ». *Metabolism* 69: S36-40. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2017.01.011>.
- JACK, TSAI, et GARY BOND. (12 décembre 2007). « A comparison of electronic records to paper records in mental health centers » 20, n° 2: 136-43.

- Jiang, Fei, Yong Jiang, Hui Zhi, Yi Dong, Hao Li, Sufeng Ma, Yilong Wang, Qiang Dong, Haipeng Shen, et Yongjun Wang. (1 décembre 2017). « Artificial Intelligence in Healthcare: Past, Present and Future ». *Stroke and Vascular Neurology* 2, n° 4. <https://doi.org/10.1136/svn-2017-000101>.
- Kaoura, Georgia, Konstantinos Kovas, et Basilis Boutsinas. (2020) « Ontology-Based Case Retrieval in an E-Mental Health Intelligent Information System ». In *Ontology-Based Information Retrieval for Healthcare Systems*, 167-91. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119641391.ch8>.
- Klumpp, Matthias, Marcus Hintze, Milla Immonen, Francisco Ródenas-Rigla, Francesco Pilati, Fernando Aparicio-Martínez, Dilay Çelebi, et al. (29 juillet 2021). « Artificial Intelligence for Hospital Health Care: Application Cases and Answers to Challenges in European Hospitals ». *Healthcare (Basel, Switzerland)* 9, n° 8. 961. <https://doi.org/10.3390/healthcare9080961>.
- Philips. « La force de la prédiction : comment l'IA peut aider les hôpitaux à prévoir et gérer les flux de patients ». Consulté le 1 septembre 2022. <https://www.philips.fr/a-w/about/news/archive/standard/news/articles/20211029-the-power-of-prediction-how-ai-can-help-hospitals-forecast-and-manage-patient-flow.html>.
- Lai, Lucinda, Kelley A. Wittbold, Farah Z. Dadabhoy, Rintaro Sato, Adam B. Landman, Lee H. Schwamm, Shuhan He, et al. (décembre 2020). « Digital Triage : Novel Strategies for Population Health Management in Response to the COVID-19 Pandemic ». *Healthcare (Amsterdam, Netherlands)* 8, n° 4 : 100493. <https://doi.org/10.1016/j.hjdsi.2020.100493>.
- Lane, Tim. (may 2018). « A Short History of Robotic Surgery ». *Annals of the Royal College of Surgeons of England* 100, n° 6_sup: 5-7. <https://doi.org/10.1308/rcsann.supp1.5>.
- Lee, Suehyun, et Hun-Sung Kim. (septembre 2021). « Prospect of Artificial Intelligence Based on Electronic Medical Record ». *Journal of Lipid and Atherosclerosis* 10, n° 3: 282-90. <https://doi.org/10.12997/jla.2021.10.3.282>.
- Luxton, David D. (2016). « Chapter 1 - An Introduction to Artificial Intelligence in Behavioral and Mental Health Care ». In *Artificial Intelligence in Behavioral and Mental Health Care*, édité par David D. Luxton, 1-26. San Diego: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-420248-1.00001-5>.
- Mercier, Alain, Isabelle AUBIN-AUGER, CADWALLADER JS, Patrick Imbert, et Laurence Baumann. (2008). « *Initiation à la recherche qualitative en Santé* ». Vol. 84. Exercer.
- Mezger, Uli, Claudia Jendrewski, et Michael Bartels. (avril 2013). « Navigation in Surgery ». *Langenbeck's Archives of Surgery* 398, n° 4: 501-14. <https://doi.org/10.1007/s00423-013-1059-4>.
- Nam, Ju Gang, Eui Jin Hwang, Da Som Kim, Seung-Jin Yoo, Hyewon Choi, Jin Mo Goo, et Chang Min Park. (décembre 2020). « Undetected Lung Cancer at Posteroanterior Chest Radiography: Potential Role of a Deep Learning-Based Detection Algorithm ». *Radiology. Cardiothoracic Imaging* 2, n° 6: e190222. <https://doi.org/10.1148/ryct.2020190222>.
- Nam, Kyoung Hyup, Dong Hwan Kim, Byung Kwan Choi, et In Ho Han. (décembre 2019). « Internet of Things, Digital Biomarker, and Artificial Intelligence in Spine: Current and Future Perspectives ». *Neurospine* 16, n° 4: 705-11. <https://doi.org/10.14245/ns.1938388.194>.

- Phan, Gia Hoang, Vijender Kumar Solanki, et Nguyen Ho Quang. (2022). « Artificial Intelligence in Rehabilitation Evaluation-Based Robotic Exoskeletons : A Review ». In *Bio-Inspired Motor Control Strategies for Redundant and Flexible Manipulator with Application to Tooling Tasks*, édité par Gia Hoang Phan, Vijender Kumar Solanki, et Nguyen Ho Quang, 79-91. SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology. Singapore: Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-16-9551-3_6.
- Poplin, Ryan, Avinash V. Varadarajan, Katy Blumer, Yun Liu, Michael V. McConnell, Greg S. Corrado, Lily Peng, et Dale R. Webster. (mars 2018). « Prediction of Cardiovascular Risk Factors from Retinal Fundus Photographs via Deep Learning ». *Nature Biomedical Engineering* 2, n° 3 :158-64. <https://doi.org/10.1038/s41551-018-0195-0>.
- Pu, Lihui, Wendy Moyle, et Cindy Jones. (février 2020). « How People with Dementia Perceive a Therapeutic Robot Called PARO in Relation to Their Pain and Mood: A Qualitative Study ». *Journal of Clinical Nursing* 29, n° 3-4 :437-46. <https://doi.org/10.1111/jocn.15104>.
- Sánchez, Samuel, Lluís Soler, et Jaideep Katuri. (26 janvier 2015). « Chemically Powered Micro- and Nanomotors ». *Angewandte Chemie (International Ed. In English)* 54, n° 5 :1414-44. <https://doi.org/10.1002/anie.201406096>.
- Schuerle, S., A. P. Soleimany, T. Yeh, G. M. Anand, M. Häberli, H. E. Fleming, N. Mirkhani, et al. (avril 2019). « Synthetic and Living Micropropellers for Convection-Enhanced Nanoparticle Transport ». *Science Advances* 5, n° 4: eaav4803. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aav4803>.
- Sriram, K.N.V., et Suja Palaniswamy. (2019). « Mobile Robot Assistance for Disabled and Senior Citizens Using Hand Gestures ». In *2019 International Conference on Power Electronics Applications and Technology in Present Energy Scenario (PETPES)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/PETPES47060.2019.9003821>.
- Sutton, Reed T., David Pincock, Daniel C. Baumgart, Daniel C. Sadowski, Richard N. Fedorak, et Karen I. Kroeker. (2020). « An Overview of Clinical Decision Support Systems: Benefits, Risks, and Strategies for Success ». *NPJ Digital Medicine* 3 :17. <https://doi.org/10.1038/s41746-020-0221-y>.
- Tao, Ran, Renz Ocampo, Jason Fong, Abed Soleymani, et Mahdi Tavakoli. (2020). « Modeling and Emulating a Physiotherapist's Role in Robot-Assisted Rehabilitation ». *Advanced Intelligent Systems* 2, n° 7 : 1900181. <https://doi.org/10.1002/aisy.201900181>.
- Uckun, S. (novembre 1994). « Intelligent Systems in Patient Monitoring and Therapy Management. A Survey of Research Projects ». *International Journal of Clinical Monitoring and Computing* 11, n° 4 : 241-53. <https://doi.org/10.1007/BF01139876>.
- Yolande N'gbesso. (décembre 2020). « Integration of Artificial Intelligence in electronic health records: Impacts and challenges ».
- Yu, Chungseon, Juhyun Kim, Hyunchul Choi, Jongho Choi, Semi Jeong, Kyoungrae Cha, Jong-oh Park, et Sukho Park. (1 juin 2010). « Novel Electromagnetic Actuation System for Three-Dimensional Locomotion and Drilling of Intravascular Microrobot ». *Sensors and Actuators A : Physical* 161, n° 1: 297-304. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2010.04.037>.

