

Mémoire de fin d'études

Promotion 2020

L'association de l'intelligence artificielle et des professionnels de la santé en vue d'améliorer le diagnostic des patients.

~

Timothé PARDIEU

Mastère Ingénierie Web et Mobile

Institut de l'Internet et du Multimédia

Je soussigné Timothé PARDIEU reconnais avoir pris connaissance du document d'informations sur les règles de Propriété Intellectuelle et m'engage à les avoir respectées dans le document remis ci-joint

Le 10/09/2020

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Pardieu', written diagonally across the page.

• **REMERCIEMENTS**

Je tiens tout d'abord à remercier l'équipe pédagogique de l'axe métier Développement Web de l'IIM. Et plus précisément Madame Adeline Niemaz pour sa bienveillance et sa supervision.

Je remercie également ma famille, ainsi que Maëva, pour le soutien, l'aide et les encouragements reçus.

Je remercie spécialement Madame Elisabeth Pruvot pour son aide précieuse concernant le domaine médical ; Monsieur Sylvain Pradalier pour son partage d'expérience sur ce type d'exercice et enfin le Docteur Gaspard D'Assignies pour sa précieuse expertise alliant radiologie et intelligence artificielle.

Enfin, je remercie également toutes les personnes qui ont pu m'aider à l'élaboration de ce mémoire.

• GLOSSAIRE

A	points (Q, R, S).....47, 55	commune (par exemple compris entre 0 et 1) .. 53, 60	populaire.. 58, 59
Adénocarcinome	D	O	S
tumeur maligne (cancer)18	Dataset	Overfitting	Segment ST
Anamnèse	jeu de données, ensemble de valeurs associées à une observation12, 51, 54	(surapprentissage) le modèle produit par machine learning s'adapte trop au jeu d'entraînement.. 46, 51, 57, 64	segment entre la fin du complexe QRS et le début de l'onde T décrivant la repolarisation des ventricules 47, 55
Récit de l'historique de la pathologie d'un patient .17, 19, 29, 45	E	P	Sigmoïd
Autodiagnostic	Endoscopiste	Paréidolies	Fonction d'activation pour neurone artificiel..... 59
Diagnostic d'une pathologie réalisé par le patient lui-même .29, 42, 63	médecin réalisant une endoscopie 19	Identification d'une forme aléatoire en une forme déjà connue.3	T
B	Epidermoïd carcinoma	R	Training set
Backpropagation	tumeur maligne (cancer) touchant les cellules épithéliale . 18	Régression	jeu de données servant d'exemple afin d'entraîner un modèle en <i>machine learning</i> 11, 16
Algorithme ajustant les poids et biais d'un modèle en machine learning après chaque entraînement59	G	relation entre une valeur aléatoire x et une autre valeur aléatoire y . En machine learning une régression est une prédiction d'une valeur quantitative .49, 50, 51, 65	U
Big data	Génomique	ReLU	Underfitting
Concept rassemblant un grand volume de données variées à forte vélocité.. 7, 11	Étude sur les génomes (séquences d'ADN) des êtres vivants . 20, 41, 42, 66	Fonction d'activation pour neurone artificiel très	(sousapprentissage), le modèle produit par machine learning n'est pas assez adapté au jeu d'entraînement (souvent dû à trop peu de données) .. 51, 57, 64
C	M		
Complexe QRS	Matrice		
Représentation de l'activité électrique du cœur en plusieurs	tableau de n colonnes et m lignes...56, 58, 61		
	N		
	Normalisation		
	ajustement des valeurs sur une échelle		

• ACRONYMES

ANN

artificial neural network (réseau de neurones artificiels), **6, 7**

API

application programming interface (interface de programmation applicative), **53, 55**

CNN

convolutional neural networks (réseau de neurones convolutif), **52, 53, 55, 56**

DMP

dossier médical partagé, **6**

ECG

électrocardiogramme, **42, 48, 49, 51**

FLOPS

floating-point operations per second (opérations en virgule flottante par seconde), **16**

IA

intelligence artificielle, **1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 43, 44, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63**

IRM

imagerie par résonance magnétique, **13, 14, 35**

LSTM

long short-term memory (réseau récurrent à mémoire court et long terme), **48, 50**

MAE

mean absolute error (erreur absolue moyenne), **59**

ML

machine learning (apprentissage automatique), **6**

MSE

mean square error (erreur quadratique moyenne), **59**

NLP

natural language processing (traitement automatique du langage), **6, 16, 36**

PMSI

programme de médicalisation des systèmes d'information, **6**

POC

proof of concept (preuve de concept), **57**

RMSE

root mean square error (écart quadratique moyen), **47**

RNN

recurrent neural network (réseau de neurones artificiels), **44, 48**

SVM

support vector machine (machine à vecteurs de support), **9**

SVM

support vector machine (machine à vecteurs de support), **6, 7**

T2A

tarification à l'activité, **6**

• **RESUME**

L'intelligence artificielle (IA) est un domaine en pleine expansion qui s'applique à de nombreux secteurs. C'est notamment dans le domaine de la santé que cette technologie pourrait être une révolution. Plus précisément, sur le diagnostic des patients qui peut être erroné, impossible avec les techniques actuelles ou déjà trop tard (phase avancée d'une pathologie).

Les objectifs de cette recherche sont de déterminer comment l'IA pourrait être utilisée afin d'améliorer le diagnostic des patients et comment l'IA pourrait être appréhendée par la population et les professionnels. Ainsi la problématique de ce mémoire est la suivante : « Comment associer efficacement l'intelligence artificielle et les professionnels de la santé dans le domaine médical afin d'améliorer les diagnostics des patients ? ». Dans cette problématique le domaine médical se réfère au système médical français.

Afin de répondre à cette problématique, plusieurs investigations ont été menées :

- Une enquête quantitative a été réalisée via un questionnaire en ligne. Elle permet de mieux cerner la population française, professionnels de la santé ou non. Elle porte sur le ressenti de la population vis-à-vis de l'IA, l'avis sur système médical et sur l'utilisation de l'IA dans le domaine de la santé.
- Une enquête qualitative mettant en exergue deux profils de professionnels de la santé : un radiologue spécialisé en IA et une infirmière en gastro-entérologie et oncologie digestive.
- Un état de l'art des différentes implémentations de l'IA et comment celle-ci pourraient être utilisées. Ces recherches ont aussi pour but de montrer les cas d'utilisations : patient, professionnels et établissements médicaux. On retrouve ainsi un arbre de décision pour détecter des maladies cardiaques, une prédiction de surcharge d'hôpital et une classification de radiographie concernant la pneumonie.

Les réponses aux enquêtes et les investigations techniques nous montrent les capacités de l'IA et ses utilisations. Elles se centrent sur l'utilisation de l'IA en tant qu'outil et assistant du professionnel sans le remplacer. C'est surtout le cas pour le relationnel humain, dont professionnels et patients ne peuvent et ne veulent s'en passer.

A partir de ces résultats nous pouvons nous attarder sur les avantages et les contraintes liées à l'utilisation de l'IA dans ce domaine. Il est ainsi nécessaire de se concentrer sur d'autres sujets comme les législations concernant le traitement des données de santé ou sur l'utilisation de l'IA sur des aspects plus techniques comme la chirurgie ou les soins.

• **ABSTRACT**

Artificial intelligence (AI) is a trending subject used in many fields. Mainly in healthcare in which it could become a revolution. More exactly upon patient diagnosis which can be false, unreachable for human capabilities or happening too late (advanced stage of a disease).

This study aims to expose how AI could be used to improve the diagnosis process and how AI could be used by population or health professionals. Thus, the problem statement is: “How to effectively combine artificial intelligence and medical professionals in the medical field to improve patient diagnoses?”. Inside this problem, medical field refers to French medical system.

In order to answer this problem, various investigations have been carried out:

- An online quantitative research has been done. It allows us to better understand the opinion of the French population (professionals or not) about AI, medical system and usages of AI in healthcare.
- A qualitative research focused on two professional profiles: a radiologist specified in AI usage and a gastroenterology and digestive oncology nurse.
- A state of the art of the different AI implementations and how they are used. Those researches aim to show use cases for patient, professionals and institutions. Thus, we get a decisional tree based on detecting heart diseases. A forecast for hospital overload in case of pandemic. And last but not least a classification of x-ray to spot pneumonia.

Answers of researches and technical investigation show us the capabilities and usages of AI in such a field. Result are focused on the fact that AI should be used as a new tool and assistant without replacing the professional. This apply even more on human relationship between professional and patient. Nor the professionals or the patients want to lose this interaction.

From these results we can have a look on pros and cons of using AI in healthcare. We could now focus on different aspects like laws and regulations on the health-data processing or using AI in more technical field like surgery or helping nurses.

• **SOMMAIRE**

1	Introduction	1
2	Revue de littérature	3
2.1	Qu'est-ce que l'IA au sein du domaine médical ?	3
2.1.1	Qu'est-ce qu'une IA ?	3
2.1.2	Les différents types d'IA utilisées dans le médical	6
2.1.3	Le deep learning : IA phare du médical	8
2.2	Le diagnostic médical et l'utilisation de l'IA	13
2.2.1	L'état du diagnostic médical : humain ou IA ?	13
2.2.2	L'utilisation de l'IA dans le diagnostic médical.	15
2.3	Le débat d'expert autour de la fiabilité de l'IA	16
2.3.1	Les bénéfices de l'IA	16
2.3.2	Les risques de l'IA	17
3	Étude empirique	20
3.1	Méthode quantitative	20
3.1.1	L'avis du panel concernant l'IA	21
3.1.2	L'avis du panel concernant le médical	24
3.1.3	L'avis du panel concernant l'utilisation de l'IA dans le médical	25
3.2	Interview de deux professionnels de la santé	32
3.2.1	Les changements dû à l'utilisation de l'IA	33
3.2.1.A	Les changements dû à l'IA pour les professionnels de la santé	33
3.2.1.B	Les changements dû à l'IA pour les patients	34
3.2.2	Les possibles utilisations de l'IA	36
3.2.3	L'IA et l'accès aux données médicales	38
3.3	Investigations techniques	39
3.3.1	L'utilisation de l'IA en autodiagnostic	40
3.3.2	L'utilisation de l'IA à des fins organisationnelles	43
3.3.3	L'utilisation de l'IA comme assistant médical	52
3.4	Analyse des résultats et des investigations	57
4	Conclusion	62
5	Bibliographie	64
6	Liste des figures et des annexes	68
7	ANNEXES	A

1 Introduction

Le domaine médical enchaîne les progrès avec les avancées techniques, le développement de nouveaux traitements, la production de prothèse plus performantes ou encore la recherche de nouveaux médicaments. L'enrichissement des connaissances médicales permettent des évolutions majeures comme pour le dépistage et le diagnostic. De plus, la prise en charge, le suivis et la détection de maladie prises bien plus tôt qu'auparavant permettent un champ d'action plus vaste et plus efficace.

Dans cette continuité de progrès, un autre secteur est en pleine expansion : l'intelligence artificielle, le parfait mélange entre médecine et technologie. L'IA permet une analyse, une détection et une approche différente pour traiter un très grand nombre de données. De ces dernières sont extrait une méthodologie, une récurrence, un **modèle** voire même une **prédiction**. Encore plus étonnant, un champ particulier de l'IA lui permet d'apprendre par elle-même en complète **autonomie**.

Une véritable course à la technologie se joue dans le secteur de l'IA, notamment avec « **Watson** », le projet d'IA d'IBM. Cette société détient plusieurs entreprises privées du secteur médical dont le but est de récolter un nombre important de données patient sur lesquels se base leurs recherches. De son côté, Google a développé une branche spécialisée dans le secteur de la santé avec le projet « **DeepMind** », qui est en lien direct avec le système de santé Britannique (National Health Service). Enfin, l'IA de Microsoft « **Azure** » s'associe à « **OpenAI** » créé par Elon Musk afin de démocratiser l'intelligence artificielle tout en contribuant à son évolution, notamment dans le domaine de la santé. L'intéressement que suscite l'IA à ces grands noms de l'informatique démontre un engouement et une réelle voie d'innovation pour le secteur du médical.

Une IA (Google) est arrivée à obtenir « **94.4%** » de réussite lors d'analyse de cas de cancer du poumon. Par rapport à l'IA, les spécialistes ont diagnostiqué 11% en plus de cas à tort et 5% en moins à contrario de cas jugés non-cancéreux. Cette prouesse démontre l'ampleur des performances qu'une IA peut atteindre. Plusieurs questions se posent alors. L'IA peut-elle remplacer un professionnel du diagnostic ? Et si oui, comment et qui prendrait la responsabilité d'une erreur induite par l'IA ? La performance peut-elle réellement être

appliquée à un domaine où chaque cas présente des différences ? Ces questions amènent au sujet de ce mémoire qui est la recherche d'une complémentarité entre l'expertise et les performances d'une IA, tout en ayant l'expérience et l'humanité d'un professionnel de la santé.

La première partie de ce mémoire sera dédiée à l'état de l'art des IA au sein du médical. Nous nous intéresserons à leurs utilisations courantes et futures mais également aux enjeux et aux risques d'une telle implémentation dans un secteur où l'erreur n'est pas permise.

La deuxième partie portera un avis basé sur des résultats provenant d'experts. Une démonstration technique sera effectuée afin de mieux comprendre les tenants, les aboutissants et les cas limites d'une telle technologie. On retrouvera plusieurs implémentations concernant diverses entités du secteur médical : autodiagnostic pour le patient, prévision pour les établissements et aide au radiologue. Pour ce cas précis de maladie, nous verrons comment créer une IA, les procédés utilisés mais aussi les limites techniques et les potentiels bugs curables pouvant induire un mauvais diagnostic.

La dernière partie de ce mémoire regroupe ces résultats, le but étant d'extraire une réflexion et une approche sur la complémentarité entre l'humain et l'intelligence artificielle au service de la médecine.

2 Revue de littérature

2.1 Qu'est-ce que l'IA au sein du domaine médical ?

En premier lieu, il paraît nécessaire de définir le lexique utilisé. Nous allons décrire ce que le terme IA signifie.

2.1.1 Qu'est-ce qu'une IA ?

L'intelligence artificielle est un terme permettant de regrouper plusieurs utilisations. La définition la plus large la définit comme étant un programme informatique qui agit de la même manière qu'un humain. Ce terme est apparu pour la première fois en **1950** dans l'article *computer machinery and intelligence* (TURING, 1950) du mathématicien Alan Turing. L'auteur explique les prémices de l'intelligence des machines, et se demande si les machines peuvent penser ? Le mathématicien se questionne sur la capacité d'une machine à penser ou à s'exprimer dans un langage naturel. Pour mieux définir et démontrer ce qu'est l'intelligence artificielle, il imagine un test. Pour qu'une machine soit considérée comme intelligente, elle doit pouvoir interagir à l'aveugle avec un sujet qui ne sait pas si son interlocuteur est une machine ou un humain. Si le sujet ne peut savoir si l'échange provient d'une machine ou d'un humain, alors la machine est considérée comme « intelligence artificielle ». Dès lors, nous qualifions une IA d'algorithme qui répond et qui comprend les questions de la même manière que les humains interagissent entre eux. La volonté de l'IA est donc **d'imiter l'humain** à travers la machine. Cette forme **d'IA**, appelée « **faible** » (*narrow* ou *weak* en anglais) comme le décrit AARON (AARON, 2010), se concentre sur une tâche précise ; elle ne peut être dotée ni d'intelligence réelle ni de conscience de soi. La finalité est de reproduire l'humain, par exemple en créant des algorithmes permettant de reconnaître un visage (capacité d'être physionomiste) ou bien en reproduisant un pan de la psychologie humaine très complexe comme les rêves. Une IA de Google permet de créer des paréidolies en retrouvant dans une image des formes ou éléments connues (MORDVINTSEV, 2015).

L'IA pourrait aussi nous permettre d'apprendre davantage : « Le jour où on aura des systèmes d'intelligence artificielle [...] proches du fonctionnement humain - dont on ne connaît finalement pas grand-chose - on le comprendra sans doute mieux » (JOUEN, 2018). Une volonté qui, plus loin que la simple imitation d'une réflexion ou d'un comportement

humain, va jusqu'à de nouvelles découvertes via l'apprentissage par l'outil le plus avancé de l'Homme. Dans ce cas-ci, nous ne cherchons plus à reproduire l'humain mais bien à réaliser des tâches impossibles pour l'Homme.

Une des applications de ces nouvelles tâches serait la connaissance et la maîtrise de notre futur avec la prédiction, comme le propose « *Case Law Analytics* » qui permet « d'estimer les chances de réussite d'un procès, le montant des indemnités [...], et les arguments les plus à même d'influer sur la décision des juges » (COLLAS, 2019). A l'inverse, il est impossible pour l'Homme de connaître son Histoire depuis les débuts. Or, avec le « couplage du séquençage de l'ADN ou des instruments d'astrophysique avec l'IA » cela permet de nouvelles techniques, notamment de « séquencer les chromosomes d'individus morts depuis bien longtemps, et donc des espèces disparues » (ALEXANDRE, 2017). Ces deux exemples montrent que depuis les premières idées de **recréer** le raisonnement **humain**, et en seulement soixante-dix ans, nous avons dépassé le stade de reproduire uniquement nos fonctions d'humains.

Des avancées technologiques pourraient atteindre une possible **singularité technologique**. Cet état, dans lequel la technologie s'emballe complètement et bouscule les codes de la société telle que nous les connaissons, pourrait laisser voir le jour à une intelligence artificielle supérieure à son créateur (**Superintelligent AI**) qui correspondrait à un « intellect qui excède largement les performances cognitives des êtres humains dans tous les domaines possibles » (BOSTROM, 2003). On parle aussi d'une **IA « forte »** (*strong*), une machine qui serait dotée de conscience, de sensibilité ou d'esprit » (AARON, 2010). Cela impliquerait alors bien d'autres visions sur le rôle de l'IA dans la société. Si une telle intelligence venait à exister, cela nécessiterait, par exemple, une nouvelle partie légale afin de délimiter ses droits et actions, et disposer d'un *Habeas corpus* - considéré alors à l'égale d'un humain (ČERKA Paulius, 2017).

Pour certains, ce genre d'IA sera notre futur proche. D'après un sondage d'experts, par Bostrom (2000), elle verrait le jour dans les années **2050**. À l'inverse, une telle IA «ne pourra jamais exister avec les technologies actuelles » (RAFFRAY, 2019). La croissance de l'évolution est si rapide que beaucoup d'interrogations et de spéculations se font. Pour certains, l'arrivée d'une IA forte serait notre meilleur atout, pour d'autres cela signifierait la fin de notre existence, comme l'affirme Elon Musk : « l'IA forte sera notre plus grande menace existentielle ». De son côté, Stephen Hawking (2016) reste perplexe. L'IA forte sera soit la

meilleure, soit la pire chose qui arrivera à l'humanité¹. Il précise « qu'avec les outils de cette nouvelle révolution technologique, il serait possible de réparer une partie des **dommages** causés au monde naturel par la dernière industrialisation. Et nous aurions pour objectif d'éradiquer enfin la **maladie** et la **pauvreté** »² (HAWKING, 2016). De son côté, Miller (2019) résume cette situation par l'interrogation suivante : « comment l'homme va faire face au fait de ne plus être l'espèce la plus intelligente de l'univers, en somme l'émergence d'une nouvelle intelligence qui détrônera l'Homme ».

Cinquante ans après la première utilisation du terme d'intelligence artificielle la question est encore d'actualité : « Qu'est-ce que l'IA et de quelle forme d'intelligence parlons-nous ? »³ (BRACHMAN, 2006). Cette réflexion démontre ainsi l'étendue du champ d'application, de la définition et de son sens. L'IA est un domaine encore trop **inconnu** et trop **étendu**. Le chef du département informatique d'Oxford Michael Wooldridge explique que « personne ne serait capable de mesurer le progrès »⁴ Une véritable « course, dans laquelle nous ne savons pas comment atteindre le point final, ni jusqu'où nous devons aller » (HORNIGOLD, 2018).

Ce vaste domaine qu'est l'IA a de nombreux champs d'applications mais là où l'Homme ne cesse de découvrir de nouveaux aspects et où le savoir est à profusion est bien le domaine médical. Ce domaine regroupe tant de **cas différents** et pourtant suivant tous les **mêmes principes** créant une **complexité** et une demande **d'expertise** de très haut niveau. Nous allons donc nous intéresser aux IA les plus utilisées dans le médical.

¹“either the best, or the worst thing, ever to happen to humanity”

² “Perhaps with the tools of this new technological revolution, we will be able to undo some of the damage done to the natural world by the last one – industrialization. And surely we will aim to finally eradicate disease and poverty”

³ “what really is AI and what is intelligence about?”

⁴ “anyone would know how to measure progress.”

2.1.2 Les différents types d'IA utilisées dans le médical

L'intelligence artificielle est très régulièrement utilisée et est en voie de recherche dans le secteur du médical. Cet outil aide aussi bien les infirmières que les docteurs ou les chirurgiens dans leurs tâches respectives. Diverses tâches sont possibles, que ce soit sur le diagnostic, le suivi du patient ou bien un cas que le personnel soignant n'aurait pas soupçonné. Dans le rapport *Donner un sens à l'intelligence artificielle*, Cédric Villani démontre l'impact positif qu'a ou que pourrait avoir l'IA sur le domaine médical. Par exemple : « mieux détecter les symptômes [...], faire un suivi prédictif du déploiement d'une maladie [...], exploiter les résultats d'analyse (imagerie médicale...) [...], formuler des propositions thérapeutiques plus personnalisées » (VILLANI, 2018). Cela amènerait à des diagnostics bien plus rapides. Il serait donc possible de détecter en amont des symptômes, des prédispositions ou des effets secondaires liés à un médicament. Les programmes de médicalisation des systèmes d'information (**PMSI**), la tarification à l'activité (**T2A**) permettant d'estimer les coûts, les durées et les quantités de manière unifiée entre les hôpitaux, ainsi que le Dossier Médical Partagé (**DMP**) qui pourra servir de récolte d'informations sur les patients, pourront être utilisés par l'IA afin d'améliorer les soins, les affluences et nourrir de futurs projets. Au vu du nombre d'applications différentes, il est possible de regrouper les quatre méthodes d'IA les plus utilisées dans le médical.

- Machine à vecteurs de support (*Support vector machine (SVM)*)
- Traitement automatique du langage naturel (*Natural language processing (NLP)*)
- Apprentissage automatique (*Machine learning (ML)*)
- Réseau de neurones artificiels (*Artificial neural network (ANN)*)

Le traitement automatique du langage (NLP) naturel se base sur la reconnaissance de la voix. Il est surtout utilisé pour analyser les enregistrements, notamment ceux qui permettent de suivre l'état d'un patient. Par exemple, l'application « DeepPhe » permet d'extraire automatiquement des enregistrements audio les informations sur le phénotype d'un patient atteint d'un cancer.

L'apprentissage automatique ou machine learning (ML) est un système dans lequel le programme s'auto-améliore et apprend. C'est à la machine de déterminer quelles valeurs seront les plus adaptées afin de créer un modèle (pattern) qui servira à déterminer les futures

prédictions. Plusieurs méthodes sont possibles comme nous l'explique Erickson (2017) : apprentissage supervisé, apprentissage non-supervisé, apprentissage semi-supervisé et l'apprentissage par renforcement.

Les réseaux de neurones artificiels ou *Artificial neural network (ANN)* sont des couches de neurones inspirées du neurone du cerveau humain. Comme nous pouvons le voir avec la Figure 29, il existe une multitude de façons de penser un tel réseau. En entrée, plusieurs paramètres sont donnés au réseau qui sont ensuite analysés par différents neurones qui, comme le cerveau humain, vont ou non réagir à l'information. Il est possible de voir les réseaux de neurones comme une multitude d'étapes dans laquelle l'information est filtrée progressivement comme nous le démontre en détail Chollet (2018). Ils sont très utiles dans les prévisions et l'aide à la décision. Grâce à l'émergence de la collecte des données (*big data*) les réseaux ont de plus en plus l'opportunité de pouvoir apprendre de nouveaux cas et développer ainsi de nouveaux modèles. Par exemple le recueil de ces données peut se transformer en véritable paramètres d'entrée d'un réseau de neurones comme c'est le cas avec ce système de prédiction des maladies cardiaques⁵. Les seize paramètres du réseau sont composés notamment de : l'âge du patient, du genre, de la fréquence cardiaque maximale mais aussi si la personne est diabétique (si la glycémie est au-dessus de 120 mg/dl alors le cas est considéré diabétique et inversement dans le cas contraire) (SHINDE, 2017).

Les **SVM** (cf. Figure 30), quant à elles, sont un ensemble de techniques introduites dans les années 1990 dont l'objectif est de **classifier un échantillon entre deux catégories** (oui/non, pile/face...). En fonction d'un jeu de données, les données sont étiquetées à une des catégories. L'algorithme construira alors un modèle afin de prédire de quelle catégorie sera le nouveau cas. Le principe est de répartir les données et de tracer une droite (**hyperplane**) à l'endroit de la décision comme le démontre Huang (2018). Grâce à un seuil, nous saurons si un élément est considéré comme valide ou non. Cette technique a démontré de très bons résultats pour être même un meilleur système avec 92.1% de précision contre 91% pour le réseau de neurones des résultats de Gao (2018). Nous trouvons par exemple la construction d'un modèle permettant de détecter un *carcinome* du côlon en se référant à 12 marqueurs tumoraux précis. Cela permet de connaître bien plus rapidement si un patient est atteint d'un

⁵ <https://pdfs.semanticscholar.org/4837/25fa7da629c53bbb37bc2b80e407974e1cd8.pdf>

cancer sans avoir à vérifier chaque marqueur (qui peuvent parfois ne pas être représentatifs). La machine répond donc : tumeur maligne ou non. Ceci permet une prise en charge bien plus rapide car normalement ce type est très difficilement détectable et n'est pris en charge qu'en milieu voire fin de stade de la maladie explique Li (2017). En revanche la ressource demandée augmente exponentiellement au nombre de données, ce qui n'est pas avantageux pour un gros jeu de données.

Nous avons vu les principaux algorithmes ou type d'IA utilisés en médecine mais nous allons nous concentrer sur le machine learning et plus particulièrement sur la façon de faire du deep learning avec des réseaux de neurones, techniques phare de ces dernières années.

2.1.3 Le deep learning : IA phare du médical

Après avoir défini le terme d'intelligence artificielle, nous allons nous demander comment cette technologie fonctionne.

Au sein de l'intelligence artificielle, plusieurs catégories se sont créées. Ces catégories représentent différentes manières de vouloir représenter le comportement humain. Le type d'IA le plus utilisée dans le domaine médical est le « **machine learning** ». Mais de nos jours de grandes avancées en « **deep learning** » ont vu le jour. Le deep learning est une façon d'implémenter le *machine learning*.

Ada Lovelace (1843), pionnière de la science informatique du XIXème siècle, dénote que l'un de ses projets (*The Analytical Engine*) « n'a aucune prétention à l'origine de quoi que ce soit. Il peut faire tout ce que nous savons ordonner de lui faire [...] Sa fonction est de nous aider à mettre à disposition ce que nous savons déjà ». De là, Alan Turing se questionne de la remarque d'Ada Lovelace et écrit : « un ordinateur pourrait-il aller au-delà de ce que nous savons lui ordonner d'exécuter et apprendre par lui-même comment effectuer une tâche spécifique ? Un ordinateur nous surprendrait-il ? » (TURING, 1950) - l'idée du machine learning était née.

Contrairement au premières IA appelés *systèmes experts* qui repose sur le principe d'attendre d'une règle créée par un humain et de données un résultat calculé. Le *machine learning* repose sur le principe où « l'humain donne en entrée les données et le résultat attendu afin d'avoir la règle (le modèle) (cf Figure 31). Ce modèle pourra être appliqué à de nouvelles données pour reproduire le résultat originel » (CHOLLET, 2018).

Le Machine Learning, ou apprentissage automatique est un système entraîné et non plus explicitement programmé. L'un des buts premiers du machine learning est la possibilité de prédire un cas. Dans ce cas, ce type d'IA repose sur les analyses statistiques. L'humain intègre les réponses attendues servant son projet et l'algorithme va trouver le modèle statistique qui permettra d'automatiser la tâche. Par exemple, si nous pouvons trouver une corrélation entre l'année de plantation d'un arbre, son espèce et sa circonférence alors il sera possible de répliquer ce modèle sur un autre arbre de la même espèce mais de circonférence différente afin de connaître son année de plantation. Cette quantité de donnée peut-être apporté grâce au *big data* qui est même qualifié « d'élément vital (*lifeblood*) de l'IA » (MILLER, 2019).

Le machine learning peut se découper en trois grandes catégories :

- Supervisé

Dans ce type, la machine apprend une règle via un training set qui permettra de relier une donnée d'entrée à une donnée en sortie. Les entrées et sorties souhaitées sont données à la machine, qui recherche la bonne solution pour obtenir une corrélation entre les entrées et les sorties. La supervision est notamment utilisée pour **prédire** des données futures. On retrouve ici des algorithmes d'arbres décisionnels, k-NN (k plus proches voisins), machine à vecteurs de support (SVM) etc.

- Non-supervisé

Contrairement à la version supervisée, ici **aucune donnée en entrée n'est labellisée**. Le but est de laisser la machine trouver d'elle-même une structuration des données. La non-supervision est utilisée pour regrouper des données similaires en sous ensemble comme par exemple les recommandations de Youtube⁶, Netflix⁷, Amazon⁸ etc. On parle alors de *Clustering* et l'algorithme le plus répandu dans ce domaine est le K-Means (K-moyennes).

- Par renforcement

⁶ <https://research.google/pubs/pub45530/>

⁷ <https://research.netflix.com/research-area/machine-learning>

⁸ <https://aws.amazon.com/fr/personalize/>

Par renforcement, l'algorithme va apprendre de ses erreurs. En fonction du comportement de l'IA cette dernière sera **récompensée ou pénalisée**. Dans ce mode, seules les règles qui stipulent les cas de punitions et de récompenses sont indiqués. Après chaque erreur l'IA pourra corriger sa connaissance et refaire un choix différent en fonction de ses précédentes erreurs comme le ferait un humain. On peut aussi appréhender cette manière sous forme de "génération". A chaque erreur l'IA recommence (nouvelle génération) avec l'expérience acquise précédemment. On retrouve par exemple ce principe dans des résolution de jeux-vidéos ou la conduite de véhicule autonome⁹. De manière générale cette technique requiert beaucoup d'essais et de hasards, toutefois certaines applications pourraient très bien se mêler au domaine médical, nous pouvons citer les recherches de Gottesman *et al.* (2017).

Le machine learning demande un grand nombre de cas et donc de données afin de pouvoir apprendre. On parle de dataset (ensemble de données). Cet ensemble est composé de toute la diversité possible du problème à résoudre. Par exemple pour le cas d'une IA voulant répondre si oui ou non un patient est atteint de la malaria, nous pourrions utiliser ce dataset¹⁰. Il contient environ 30 000 images de cellules classifiées en deux dossiers : « infectées » ou « non infectées ». Le projet de Rajaraman (2018) a pu collecter des données grâce à une application mobile fonctionnant sur un smartphone Android, relié à un microscope optique classique, afin de réduire la charge des microscopistes dans les régions à ressources limitées et d'améliorer la précision des diagnostics.¹¹

Au-delà du machine learning nous parlons parfois aussi du deep learning. Nous allons ainsi nous concentrer dans ce mémoire sur le "**deep learning**" également appelé "apprentissage profond". Ce type d'intelligence artificielle est directement inspirée, par abstraction, de la structure du cerveau des êtres vivants. Son principe repose sur l'architecture cérébrale des réseaux de neurones, vecteur de l'information pour les signaux nerveux. Aucun humain n'est requis pour ce genre d'intelligence car c'est un ensemble de couches (« *layers* ») qui

⁹ https://www.youtube.com/watch?v=VMp6pq6_QjI

¹⁰ <https://www.kaggle.com/iarunava/cell-images-for-detecting-malaria>

¹¹ "mobile application that runs on a standard Android® smartphone attached to a conventional light microscope to reduce the burden for microscopists in resource-constrained regions and improve diagnostic accuracy"

représentent le cerveau humain. L'information passe à travers les neurones par les différentes couches jusqu'au résultat final. Chaque couche est composée de neurones qui transmettent l'information à la couche inférieure jusqu'à la dernière.

Le neurone du deep learning se nomme de la sorte car son fonctionnement ressemble grossièrement à celui du cerveau humain (cf. Figure 32) (DETTMERS, 2018). Il comporte plusieurs *inputs*, des informations diverses en entrées, qui sont le parallèle avec les dendrites de la cellule humaine. Par exemple, sur l'image ci-dessous (cf. Figure 1), les entrées sont : le poids de l'animal, sa taille, sa couleur, sa forme etc. Le calcul afin de savoir si l'influx nerveux doit continuer, est implémenté par une fonction appelée "fonction d'activation" qui indique un résultat compris entre 0 et 1 où une valeur proche de 1 signifie que le message doit continuer et l'inverse pour 0. Cette fonction est directement inspirée du *potentiel d'action*, un phénomène naturel biologique qui augmente le potentiel électrique d'un neurone pendant un court laps de temps afin d'activer ou non le neurone. Enfin, la transmission de l'information aux autres neurones dans le corps humain se fait par un canal de sortie : l'axone. Le principe est le même en deep learning, il transmet le calcul aux autres neurones de la couche suivante. Ainsi chaque neurone est connecté aux neurones précédents.

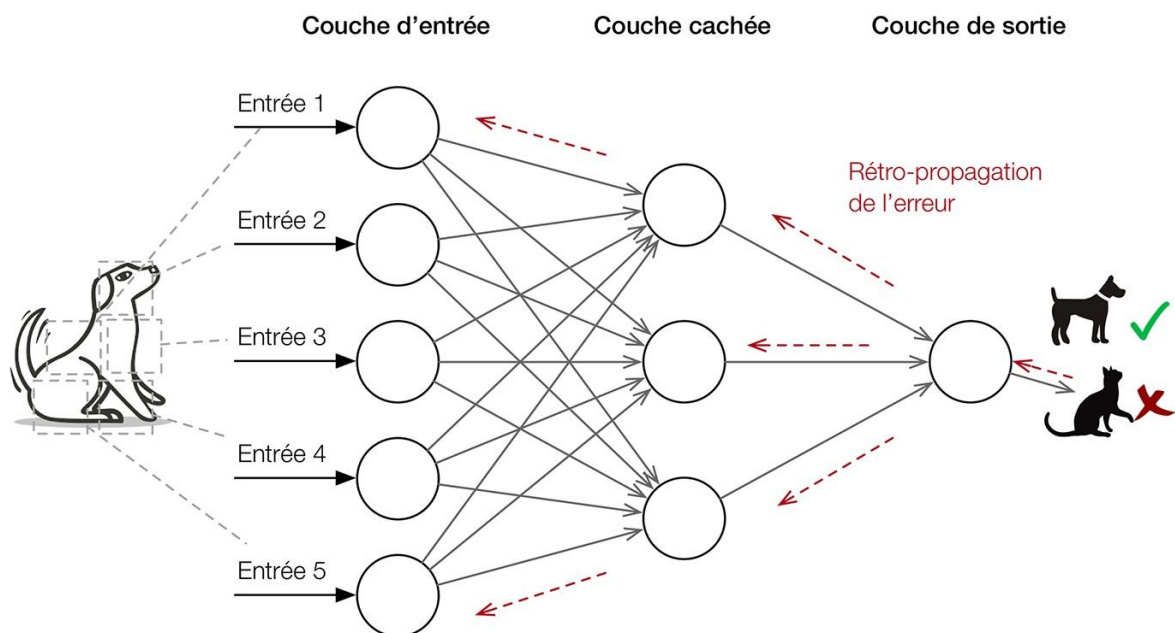


Figure 1 Représentation d'un réseau de neurones

Un neurone peut donc appartenir à l'une de ces trois familles :

- Les entrées (« *inputs* ») - nécessaire et unique
- Les couches cachées (« *hidden layers* ») - optionnel ou multiple
- Les sorties (« *outputs* ») - nécessaire et unique

Il est aussi important de noter qu'un réseau de neurones se compose de deux étapes :

L'alimentation du réseau : le "feed forward" :

Prenons pour exemple un réseau composé de trois neurones (deux neurones d'une couche connectés à un autre neurone). Ce cas simple est appelé **perceptron**. Au commencement de notre réseau de neurones, nous donnons aux neurones de la première couche (*inputs*) des données par exemple des entiers naturels (\mathbb{N}). A cela nous pouvons également ajouter une importance à une connexion entre un neurone et sa sortie exprimée en pourcentage, ce que nous appelons poids (*weight*). Ainsi chaque valeur transmise par les deux neurones des *inputs* sera multipliée par la valeur du poids associé. Pour que le prochain neurone récolte l'information en tant que son entrée, les valeurs de chacun des précédents neurones sont additionnées puis transmises. Ensuite, avant que ce neurone redistribue l'information à d'autres neurones, il pourra appliquer une fonction mathématique appelée "fonction d'activation" (ReLU, Sigmoid, tanh) afin de déterminer si l'information doit passer ou non ; ce qui correspond pour le neurone biologique au potentiel d'action décrit ci-dessus. Afin d'avoir de l'influence sur le réseau, ce neurone peut ajouter un biais lors de la fonction d'activation. Ce qui peut se représenter sous la forme : $f(bias + \sum_{i=1}^n x_i w_i)$.

La rétro-propagation de l'erreur : la "back propagation" :

Une fois le résultat obtenu et s'il n'est pas satisfaisant le réseau doit "apprendre" afin de ne plus reproduire cette erreur. Pour cela, plusieurs fonctions mathématiques existent comme : $\frac{1}{2}(target - out)^2$ où « *out* » représente la valeur donnée par le réseau de neurones et « *target* » la valeur attendue. Plus la différence entre *target* et *out* est importante plus l'erreur sera importante. Le but est alors de savoir de combien l'erreur est affectée lorsque l'on change un poids entre deux neurones. Plus le poids affecte l'erreur, plus le poids a donc une grande influence sur l'erreur. Ainsi ce poids est réduit proportionnellement à l'impact qu'il a sur l'erreur. L'opération est répétée sur l'ensemble des poids avec plusieurs entraînements afin que les poids soient équilibrés et ainsi minimiser l'erreur.

Le deep learning est la catégorie phare de l'utilisation de l'intelligence artificielle dans le médical. Les données traitées lors des diagnostics sont généralement très visuelles (scan, IRM, radiographie) et ne représentent pas un type de données structurées.

Pour que ce genre d'algorithme soit performant, il faut une quantité de données pour que le programme puisse s'entraîner suffisamment et être diversifié ce qui implique que « le nombre de données dans le training set doit être au moins 50 fois plus grand que le nombre de poids dans le réseau de neurones afin d'avoir une performance suffisante » (ALWOSHEEL A., 2018). Il lui faut également une puissance de calcul très performante et donc une configuration adéquate comme peut le proposer Tim Dettmers (2018). Le deep learning n'en est donc qu'à ses débuts dans le domaine du médical et promet d'encore meilleurs résultats lorsque la collecte des données et la puissance de calcul augmenteront. Cependant, le secteur du médical peine à avoir ce stock de données. Ce type de données est moins commun, par exemple il est plus facile d'obtenir des photos de chats (internet, photos personnelles, reportage.) que des images médicales (IRM, Radio etc qui ne se prennent qu'avec du matériel spécifique et réglementer). Il est protégé par de nombreuses lois nationales et mondiales (HIPAA, RGPD, code de la santé publique) et demande également une expertise du métier afin de les exploiter. C'est donc un défi que l'application du domaine médical dans l'intelligence artificielle. Ainsi, la plupart des échantillons de données dans ce domaine se base sur une **coupe précise**, une **image en 2d**, une partie d'une **IRM, radiographie, rapport** etc. En revanche, ces technologies étant bien plus avancées, la **qualité des images** permet d'avoir des résultats bien plus légitimes que des images avec une basse résolution. Ces spécifications permettent d'avoir moins d'*inputs* et de réduire la nécessité d'un grand nombre de données. Un autre point intéressant sur le deep learning dans le médical est le fait que **l'art du diagnostic n'est pas la simple lecture d'une image**.

2.2 Le diagnostic médical et l'utilisation de l'IA

2.2.1 L'état du diagnostic médical : humain ou IA ?

Le diagnostic médical est un processus dans lequel une personne se focalise sur la détection d'un dysfonctionnement de l'organisme. Grâce à cette analyse, une solution adéquate peut être trouvée. L'élaboration d'un diagnostic le plus tôt possible permet une meilleure prise en charge d'après les dires de Iliffe (2003). Un traitement ou une opération

chirurgicale peuvent être des solutions bien plus efficaces par rapport à un stade avancé de la maladie qui pourrait entraîner des récives ou des complications.

Ce processus est composé de trois étapes :

- L'interrogatoire sur les antécédents et les symptômes du patient : **anamnèse**
- **L'examen clinique** qui consiste en une recherche d'éléments physique (palpations, auscultation, observation du patient...)
- Les **examens complémentaires** pour des cas indétectables à l'œil : bilans biologiques, radiologie, IRM...

Cet ensemble de méthodes semble difficilement appréhendable par une machine. Notamment par son aspect vital et légale. Ici il n'est pas question qu'un calcul dont l'importance est moindre si le résultat est erroné mais bien de vies humaines. Nous pouvons nous questionner sur le risque mais aussi l'efficacité qu'une IA pourrait apporter à ce diagnostic. Pour la neurochirurgienne Anne-Laure Boch « l'art du chirurgien s'acquiert progressivement en faisant réellement fonctionner sa réflexion propre, pas en la déléguant à une machine » (Généthique, 2019). Pour elle, l'IA dans le diagnostic patient ne sera « jamais suffisante pour égaler, voire remplacer, la sagesse d'une décision humaine mûrement méditée » (Généthique, 2019). Ainsi l'IA représenterait une menace qui nous asservit plus qu'une réelle aide. Comme expliqué ci-dessus le diagnostic n'est pas une simple recherche mais un résultat réfléchi émanant de trois procédures. Pour la chirurgienne Boch c'est la perte de possibles nouvelles découvertes : « si vous n'avez jamais fait l'effort d'acquérir une connaissance, vous n'aurez pas l'idée d'aller la chercher » (Généthique, 2019).

A l'inverse, pour le professeur en oncologie Bernard Nordlinger, l'IA serait « destinée à aider les médecins à être plus efficaces » (LE BOLZER, 2019) et pourrait devenir une véritable aide au médecin. Et au vu de la surcharge que subissent les hôpitaux français dans le reportage de (Arte, 2019), un tel soulagement des services pourrait être bénéfique pour le personnel médical. Permettant même un regain pour l'enseignement et la recherche. De plus, avec l'avancement des recherches la quantité d'informations devient gigantesque ; impossible à retenir pour un humain mais tout à fait atteignable pour une IA. Comme l'expliquent Olivier de Fresnoye et Mehdi Benchoufi : « Les cancers sont de plus en plus typés sur le plan génétique, ce qui demande des connaissances incroyables sur chaque type de cancer, impossibles à mémoriser pour un humain » (Innov'Asso, 2018).

En moyenne un médecin explore cinq hypothèses pour un nouveau cas d'après Pelaccia (2014). Dans le cas de l'intelligence artificielle aucune limite n'est réellement fixée puisque la puissance de calcul permettrait d'explorer autant d'hypothèse que voulu. De plus l'IA à une réponse constante en fonction du problème posé là où le médecin peut être influencé entre deux cas qui ont la même maladie notamment par des biais ou par des éléments externes : fatigue, surcharge cognitive, bruit ou encore les émotions. D'après une étude de Graber (2005), un médecin se trompe dans son diagnostic dans près d'un cas sur six. En médecine interne, ce sont trois quarts de ces erreurs qui sont liés à une erreur de raisonnement.

2.2.2 L'utilisation de l'IA dans le diagnostic médical.

L'IA dans le médical est pour le moment surtout dans une **phase de recherche**. Nous pouvons faire un état de l'art des progrès et projets déjà réalisés.

Dans le secteur de l'anatomie pathologique l'utilisation de l'IA peut permettre de vérifier des statuts génétiques étudiés en laboratoire afin **d'orienter** le traitement ou de **l'adapter** voir le **stopper** car inefficace. En pathologie pulmonaire, Yu *et al.* (2016) nous montrent que grâce à un échantillon d'environ mille images d'*adénocarcinome* et d'*epidermoïd carcinoma* et une méthode de machine learning les résultats permettent de **différencier un tissu tumoral d'un tissu non tumoral** et de faire la différence entre les types de carcinomes. Ce qui est réservé normalement aux experts pathologiques. Si nous regardons du côté du deep learning et des recherches de Khosravi (2018) nous trouvons différents travaux autour des cancers : de la prostate (Doyle *et al.*, 2012), du poumon (Hamilton *et al.*, 2015), du sein (Dong *et al.*, 2014), colorectal (Korbar *et al.*, 2017) et ovarien (Janowczyk *et al.*, 2012). Huang (2018) explique que certains cancers sont d'autant plus difficilement détectables dans les premières phases dû à leurs symptômes incertains ou vagues. L'utilisation de l'IA permet de répertorier chaque cas et d'affiner la compréhension d'un cancer dans sa première phase afin de le traiter le plus rapidement possible. La difficulté de ce type d'étude est la **variation** dans les images de tissus tumoraux des **couleurs**, des **méthodes de préparation** des tissus et les outils d'imagerie utilisés par les laboratoires de recherche. Cependant, d'après Khosravi (2018), les résultats sont entre 69 % et 100 % de précision lors du diagnostic. Dans les travaux de Coudray *et al.* (2018) on peut observer un comparatif avec les pathologistes où dans 83% des cas mal classés

par au moins un des pathologistes contrairement à l'IA qui a su les trier à 100%. Ces avancements en plus de prouver l'efficacité pourrait faire gagner un temps précieux aux professionnels de la santé. Nous trouvons aussi des travaux dans le domaine de la gastro-entérologie non pas sur l'interprétation mais en aide aux examens. D'après Jacob et al. (2019) un réseau de neurones permet d'aider l'endoscopiste en avertissant la présence d'un polype (taux de réussite de 98.7%).

On remarque que la majorité des travaux s'applique sur les examens complémentaires plutôt que les examens physiques ou l'anamnèse. Notamment car les examens complémentaires sont les plus fastidieux, long et se repose sur la base de l'utilisation d'une technologie (imagerie, bilan, bactériologie, impulsion électromagnétique, microscopie...). On notera une volonté de réalisation sur les autres domaines avec par exemple le "e-Médical" et l'utilisation du NLP qui permet de comprendre des phrases humaines et donc d'analyser les antécédents et les symptômes du patient comme le montre Ceyhan (2017).

2.3 Le débat d'expert autour de la fiabilité de l'IA

L'IA est une science relativement nouvelle. Son implémentation et son regain d'intérêt est récent (années 2000). C'est donc dans ce contexte que l'IA, parmi ces différentes utilisations, scinde les avis entre **bénéfices** et **danger**.

2.3.1 Les bénéfices de l'IA

Dans les bénéfices que peut apporter l'IA nous retrouvons plusieurs points. Tout d'abord et évidemment l'IA nous apporte une **puissance de calcul** phénoménale comparé à notre cerveau humain. La capacité de calcul est mesurée en FLOPS (Floating-point Operations Per Second). En 45 ans nous sommes passé du **million d'opérations** par seconde (mégaFLOPS) au **million de milliards d'opérations** par seconde (pétaFLOPS) sans même nous intéresser ici à la suprématie quantique qui permettra une multitude d'états possibles en même temps réduisant les calculs les plus long (milliers d'années) à seulement quelques secondes. Cette puissance permet notamment un **gain de temps** énorme sur les recherches, les hypothèses, les détections et bien évidemment les calculs. Comme le décrit Laurent Schlosser « 98% de la

santé, aujourd'hui, c'est du **curatif**. L'intelligence artificielle permettra de basculer sur une médecine plus **préventive** » (MICROSOFT, 2017). Distribuer cette énergie dans la prédiction pourrait exprimer un gain de temps et donc un gain de prise en charge ou de recherche ce qui pourrait avoir des effets positifs et ainsi augmenter les chances de survie d'un patient tout en réduisant son séjour et ainsi réduire les coûts.

Bien sur l'IA dispose aussi d'une **précision** accrue, comparé à l'homme, la machine peut analyser une radiographie au pixel près et la comparer à un stock de données que le cerveau humain ne pourrait jamais supporter. Ainsi l'IA pourrait assister le personnel patient comme avec l'utilisation de Osteodetect permettant rapidement la **détection** des fractures de poignets sur des radiologies 2D. Cette application est destinée aux urgentistes, réanimateurs etc et permet une analyse rapide et efficace si aucun radiologue n'est présent.

Nous pouvons aussi retrouver l'IA dans un cadre **d'aide à l'apprentissage** par exemple avec le système proposé par Campillos-Llanos *et al.* (2015) qui permet de simuler un patient et donc d'aider un médecin à s'entraîner sur la pose d'un diagnostic dans des conditions similaires au réel sans aucune répercussions sur un patient.

Enfin, l'IA permet aussi de croiser des données et dispose d'un agencement totalement différent à l'humain. On peut ainsi voir de nouvelles disciplines émerger comme la **radiomique** qui est le croisement entre la radiologie et la génomique afin de mieux caractériser les tumeurs : nous voulons donc créer une relation entre l'image (**radiologie**) et une information biologique (**génomique**) d'après Cameron (2016).

2.3.2 Les risques de l'IA

Pour les risques, l'IA reste un simple algorithme. Intrinsèquement c'est un programme capable, comme tout programme, de comporter des **bugs**. Il a été montré par Nouyrigat (2018) qu'une IA de reconnaissance d'images pouvait être détournée à cause d'une image parasite où les pixels sont arrangés d'une certaine façon que l'IA est trompée et croit reconnaître un tank à la place d'un chat ou bien plus grave un autre panneau au lieu d'un panneau « STOP ». Ce genre de problème pourrait soit être une potentiel cible pour une attaque (**hack**) ou une erreur très grave dans un faux diagnostic.

De plus, l'IA n'est qu'une machine basée sur l'Homme. L'humain reste présent dans sa création, son entraînement et son utilisation. Cela peut donc créer des cas inhabituels à cause de **biais humains**. Cela peut aussi venir d'un ensemble de données trop peu différentes. Par exemple, avec la reconnaissance du phototype (Classification de Fitzpatrick - classification des individus selon la réaction de leur peau lors d'une exposition solaire) où certains algorithmes de machines learning ont été entraînés avec un ensemble de données « majoritairement composés de sujets à la peau claire (entre 79,6% et 86,2%) ». La résultante est une discrimination ethnique dans laquelle « les femmes à la peau foncée est le groupe le plus mal classé (avec des taux d'erreur allant jusqu'à 34,7%). Le taux d'erreur maximal pour les hommes à peau claire étant de 0,8% ». (BUOLAMWINI J., 2020). Ce type de biais incrimine une population et pourrait créer de **graves inégalités**.

Anne-Laure Boch, neurochirurgienne, médecin des Hôpitaux de Paris, et docteur en philosophie explique aussi quelques points critiques de l'IA. Pour elle l'IA est une bonne aide mais sa sur-utilisation pourrait mener à une **perte du savoir médical** : « en déchargeant systématiquement notre mémoire sur la machine, elle pourrait finir par supplanter la connaissance humaine, qui pourrait ensuite se perdre définitivement [...] Si la machine donne la réponse, **on ne réfléchit plus**. Or, une faculté qui n'est plus sollicitée s'atrophie et devient inutilisable » (Gènéthique, 2019). L'expert serait alors dépendant de l'IA qui « s'accompagne d'une dévalorisation grave de l'homme : c'est quelque chose qui restreint notre liberté sous prétexte de nous aider. Cette « aide » nous met en **servitude** » (Gènéthique, 2019). Cette servitude pourrait entraîner les jeunes professionnels dans un **manque d'expérience et de connaissances**. En cas d'erreur de la machine le professionnel ne pourrait pas voir l'erreur et ainsi rater un diagnostic simple car trop confiant en la machine.

Et comment pourrait-on gérer ces erreurs ? Encore pire l'indécidabilité, principe découvert par Gödel en 1931 qui prouve qu'il existe des énoncés dont **on ne peut prouver ni la véracité ni la fausseté** par leur simple nature. Aucune décision ne peut être prise et pour un **système binaire** comme les machines de tels états ne peuvent pas avoir lieu. D'après Olivier Bousquet de Google Europe si le stade de la simple classification en machine learning est dépassé aucune théorie générale garantissant le bon apprentissage par les algorithmes ne pourra être assurée et ainsi « *on butera sur le mur de l'indécidabilité* » (BEN-DAVID) aussi appelé **mur de Gödel** ce qui empêcherait tout progrès ou solution possible pour une IA.

Cela n'étant pas possible dans un domaine où l'erreur n'est pas permise et entraîne de très lourdes conséquences. Et d'un point de vu **légal** la faute reviendrait à l'humain ou la machine ? Si l'humain à accepter la proposition de la machine cela viendrait de sa responsabilité : « En médecine, s'il est écrit quelque part que la machine avait préconisé un acte et que vous avez fait autrement, vous ouvrez la porte vers le tribunal. Peu de gens auront le courage de faire primer leur propre décision, même s'ils ont de bonnes raisons de penser que cela donne plus de chance à leur patient » (Généthique, 2019)

Enfin un point intéressant des propos d'Anne-Laure Boch est l'implication de l'humain : **intuitions, émotions, sentiments...** : « Il [ndlr : le médecin] peut aussi sentir si le traitement lui convient ou non, donner son interprétation. Toute cette liberté de choix est détruite par l'IA qui prétend atteindre le summum de la rationalité » (Généthique, 2019). De plus si la machine est basée sur le principe de logique pure et n'a aucun ressenti humain des **décisions trop rationnelles** pourraient être requises et pourtant **impensables pour un humain** comme « arriver à des décisions complètement déconnectées de la subtilité d'une existence humaine ; la machine pourrait pousser à euthanasier telle personne isolée parce que plus personne ne l'aime ni ne compte sur elle ! » (Généthique, 2019).

3 Étude empirique

Après avoir défini le thème et le domaine, nous allons maintenant étudier ce que l'IA et le domaine médical pourrait produire. Tout d'abord par une analyse d'un **questionnaire** à destination de tous. Ensuite, deux avis du domaine médical seront confrontés entre un **radiologue spécialisé en intelligence artificielle** et une **infirmière**. Et enfin, Il s'agit ensuite de **démontrer techniquement** comment ce type d'applications peut être réalisées et utilisées. Ce point permet notamment de mettre en exergue la théorie et les possibles pratiques et applications de l'utilisation de l'intelligence artificielle dans le médical.

3.1 Méthode quantitative

Afin de mieux comprendre le ressenti générale de la population face aux deux thématiques (**médical** et IA), j'ai élaboré un questionnaire visant à mieux cerner trois regroupements : l'avis de la population concernant l'IA, l'avis de la population concernant le système médical et enfin le ressenti de la population sur l'utilisation de l'IA dans le domaine médical.

En tout, 116 personnes ont répondu au questionnaire. Le panel n'est pas parfaitement équilibré mais nous avons au moins un échantillon de chaque groupe (âge/sexe). De manière générale le panel se constitue de +22% de femmes par rapport aux hommes (cf. Figure 33).

De même la densité concernant l'âge du panel est bien plus forte sur la tranche d'âge 20-30 ans (cf. Figure 34).

Ce sondage étant disponible en ligne nous retrouvons différentes localités comme nous le montre la carte de France ci-dessous (cf. Figure 2).

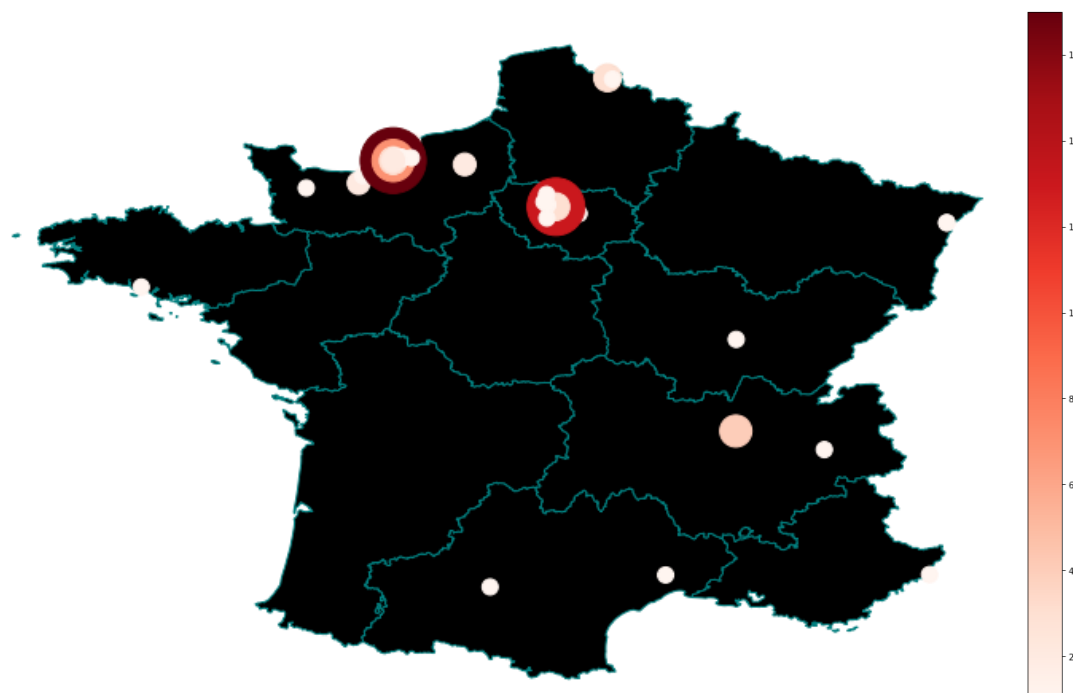


Figure 2 Répartition des villes des répondants

La majorité des réponses proviennent donc de l'Île-de-France ainsi que de la Normandie. On notera également que 2.59% des réponses proviennent de villes en dehors de la France et que 19.83% des réponses n'ont pas de données sur la ville de réponse. Enfin, notre panel est composé de 10% de professionnels de la santé (cf. Figure 35), ce qui permet d'avoir un retour concret et véridique sur des personnes impliquées dans le domaine de la santé.

3.1.1 L'avis du panel concernant l'IA

Maintenant que nous avons défini notre panel et que l'on connaît sa constitution nous pouvons analyser les réponses.

Tout d'abord, et comme expliqué dans la première partie de ce mémoire, le terme d'intelligence artificielle est très difficile à cerner ; sans compter les nombreuses idées préconçues que la science-fiction apporte à ce thème. Il est donc intéressant de mieux cerner ce que notre panel pense de l'intelligence artificiel.

Il est possible de voir sur cette *heatmap*, ci-dessous, que la réponse la plus choisie est d'être ni en désaccord ni en accord avec cette proposition.

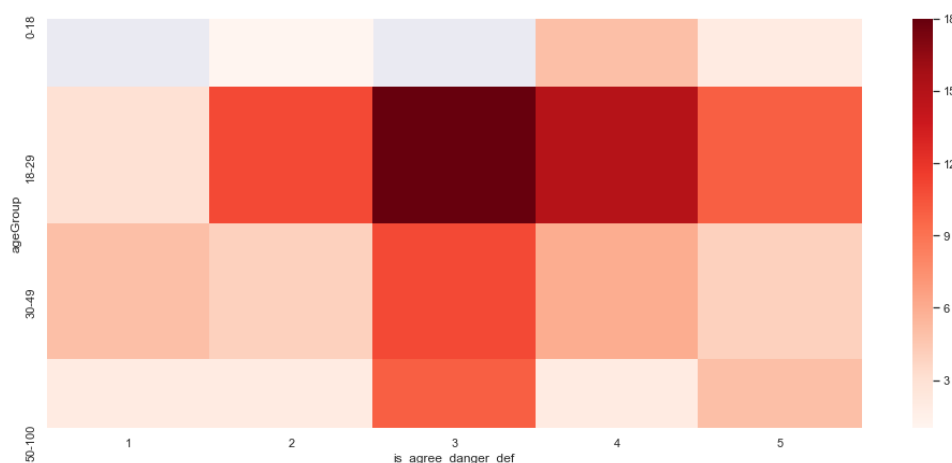


Figure 4 Correspondance entre le groupe d'âge et l'affirmation de la citation d'Elon Musk

Cette réponse neutre permet de penser que **les personnes sont à convaincre**. Il semblerait donc que l'image de l'IA soit encore très **floue**. Les personnes semblent y voir autant les progrès possibles que les potentielles côtés négatifs comme décrit dans la partie 2.3 de ce mémoire. Avec cette image très contrastée que le panel a de l'IA nous pouvons nous pencher sur la **confiance** et la **nuisibilité** de cette technologie. Ainsi, et ce indépendamment du sexe ou de l'âge, **67.52%** des personnes pensent que **l'IA pourrait être nuisible à l'Homme**. De même environ **60%** des personnes, professionnelles ou non, **sont prêtes à faire confiance** à une IA (cf. Figure 36).

Ces deux points étant complémentaire il est intéressant de croiser les données. On remarque alors que **34%** des personnes pensent que **l'IA pourrait être nuisible mais serait aussi prêtes à faire confiance à une IA**. Ce résultat semble inattendu mais pourrait s'expliquer par le fait que les personnes voient l'utilité de l'IA et soient prêtes à l'utiliser tout en étant conscient que mal maîtrisée, cette technologie pourrait être nuisible. Afin de mieux cerner le panel une question repose sur la connaissance qu'ont les personnes sur l'IA. Cette donnée, bien qu'assez difficile à délimiter nous montre que le panel est **très riche en diversité**. On notera une moyenne de 4/10 (cf. Figure 37). Il est tout de même intéressant de voir que la connaissance sur ce sujet ne tend pas vers 0 mais bien l'inverse (cf. Figure 38). Si nous remettons dans le contexte cette donnée, nous pouvons penser que ce résultat est prometteur puisque c'est un **sujet récent et qui semble déjà préoccupant**. Nous pourrions

par exemple imaginer cette même question dix à vingt ans auparavant et être certains de ne pas obtenir la même tendance.

3.1.2 L'avis du panel concernant le médical

Ce sujet concernant le domaine médical, un autre point clef de ce questionnaire est donc de connaître le **ressenti** de la population face au **système de santé**. Ainsi en scindant le panel (professionnels et non professionnels du médical) je me suis intéressé à connaître l'image qu'a le système médical. Plus de **70% des personnes lambda** pensent que le système médical est **défaillant**. Du côté des **professionnels**, les avis sont partagés puisque **58%** pensent que le système est **défaillant** contre 42%, montrant bien un écart significatif entre les différents points de vue comme le montre les schémas ci-dessous (cf. Figure 5).

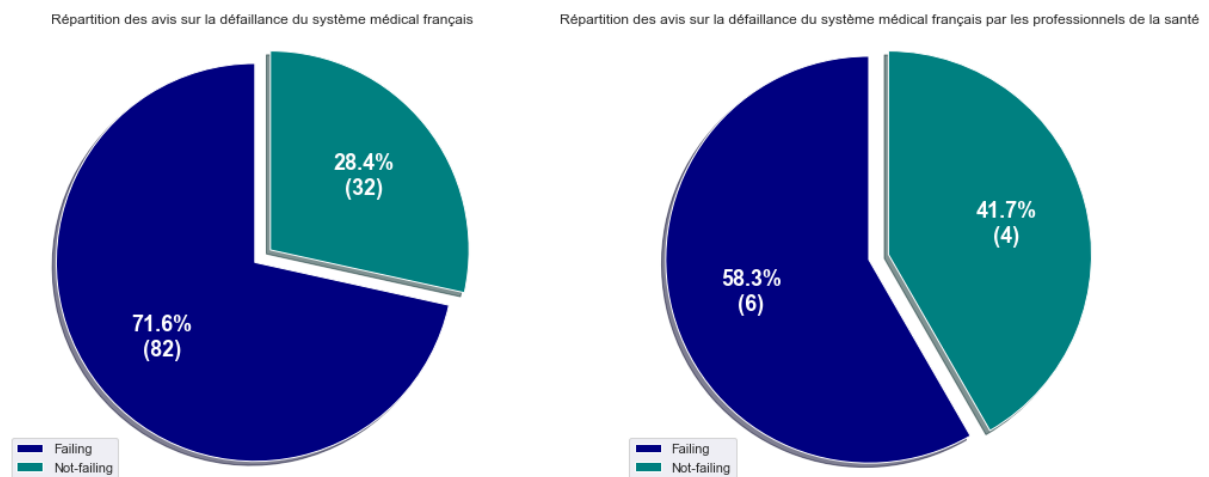


Figure 5 Répartition des avis concernant l'état du système médical français

Cette donnée n'est pas influencée par l'âge ni par le sexe sauf si nous posons la même question concernant la crise sanitaire du Covid-19 (**le questionnaire étant mis en ligne en début avril 2020, la France était encore sous le pic de l'épidémie**). En effet, dans ce cas précis la tranche d'âge **18-29 ans** est presque **unanime (94%)** et pense que le **système médical est défaillant**.

Maintenant que nous connaissons le **ressenti générale sur le système médical** il est intéressant d'en connaître les raisons. Si nous regardons le nuage de mots (cf. Figure 39) les plus récurrents sont : **l'organisation**, le **prix**, le **manque de personnel/ressources** et les **erreurs médicales**. Et d'un autre côté si nous demandons, de par les **expériences personnelles**, le ressenti qu'ont les personnes avec le système médical nous obtenons une réponse globalement **positive** (cf. ci-dessous).

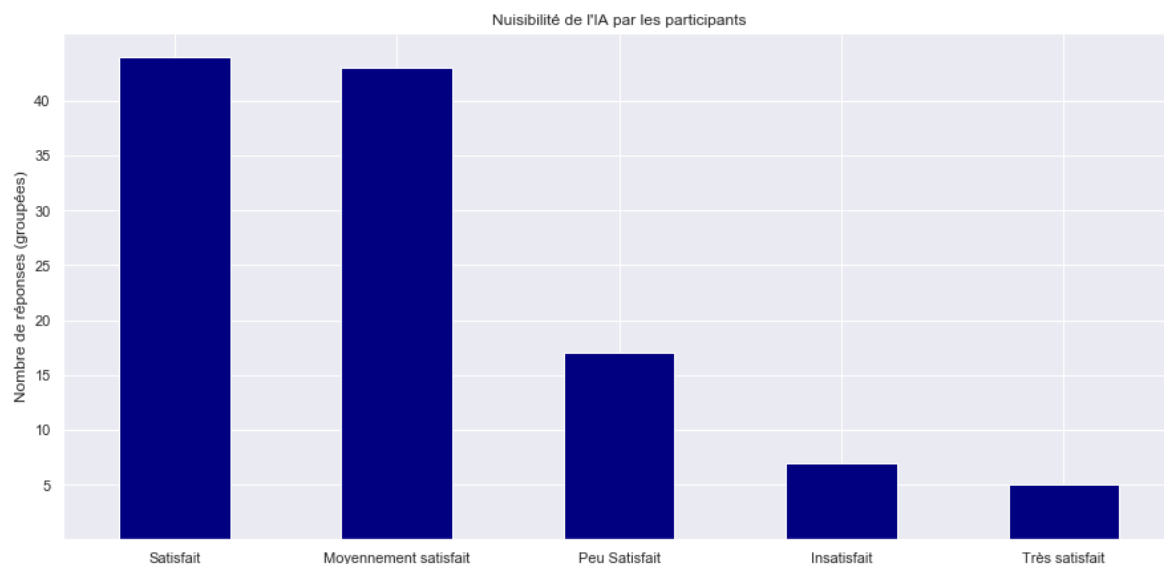


Figure 6 Répartition de la satisfaction du système médical français

Ces données nous permettent de mieux cerner l'avis du public et des professionnels dans le domaine de la santé. On y comprend donc que plusieurs problèmes se posent mais que de manière générale le panel est satisfait du système. Cela voudrait donc dire que les problèmes sont plus de l'ordre de l'amélioration ou de l'optimisation. Ce type de problèmes pourrait, par exemple, être résolu grâce à l'utilisation de l'IA.

3.1.3 L'avis du panel concernant l'utilisation de l'IA dans le médical

Maintenant que nous connaissons le contexte et les ressentis des différents sujets du sujet de ce mémoire, nous pouvons nous consacrer au **mélange de ces domaines**. Tout d'abord nous avons vu que pour la majorité le système médical est considéré comme défaillant. Il est donc intéressant de voir si l'IA pourrait être une solution possible pour les personnes pensant que le domaine de la santé se porte mal. Si nous regardons la *heatmap* ci-dessous (cf. Figure 7), nous voyons que la réponse la plus sollicitée est de penser que l'IA pourrait être une solution à un système de santé défaillant.

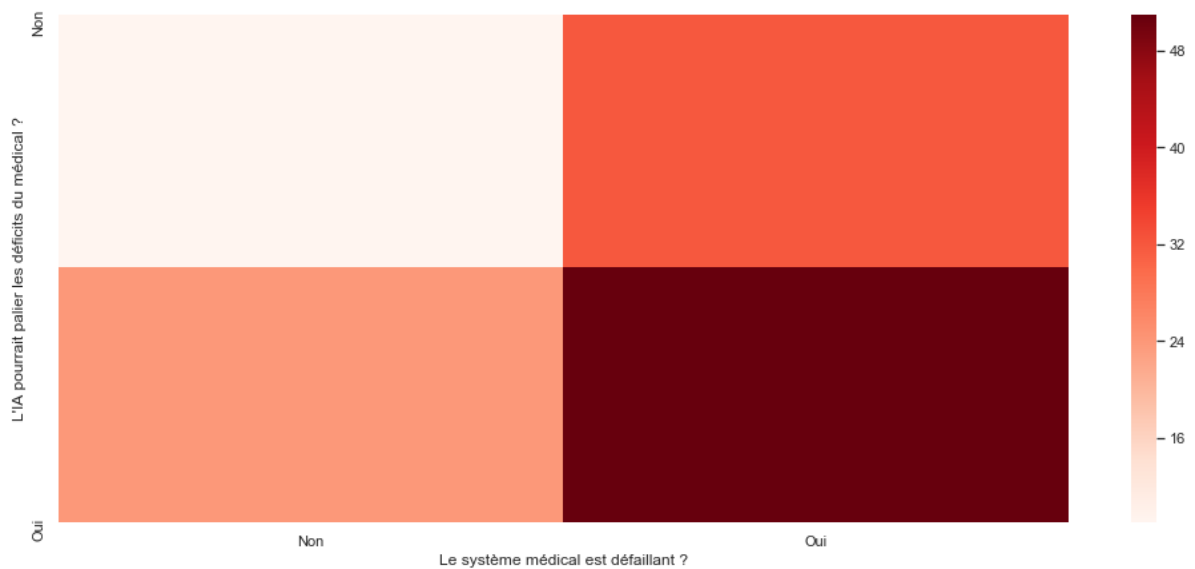


Figure 7 L'IA peut-elle être une solution aux défaillances du système médical ?

A l'inverse, pour les professionnels de la santé sur le schéma ci-dessous (cf. Figure 8), la réponse n'est pas unanime et l'IA ne semblerait pas être une solution de choix.

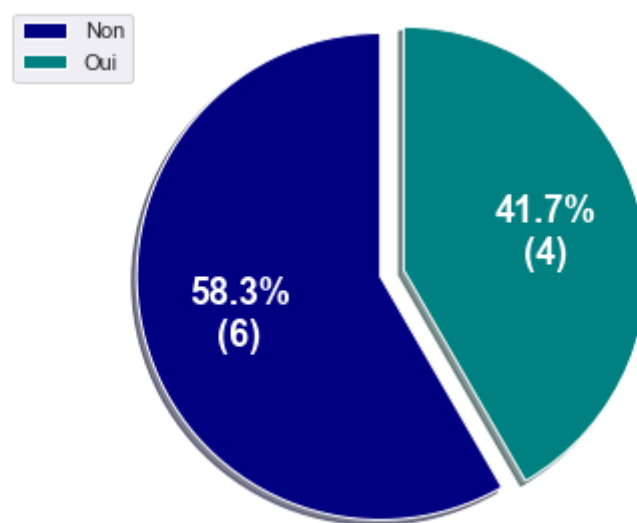


Figure 8 L'IA pourrait-elle pallier les déficits du système médical (avis des professionnels)

Il semble utile de connaître quelle utilisation serait possible afin de compenser les défauts cités plus haut. L'un des points revenant le plus était **l'organisation** ainsi que le **manque de personnel**. Nous pourrions imaginer qu'une intelligence artificielle comble ces problèmes en permettant l'autodiagnostic (avec potentiel validation d'un être humain). Dans ce principe, l'IA imiterait un médecin réalisant l'**anamnèse** du patient. Ceci permettrait de ne pas avoir recours à du personnel de santé tout en étant très rapide (aucun déplacement, digitalisation

totale, puissance de calcul etc.). On remarque via cet histogramme (cf. Figure 9) que **l'autodiagnostic** serait **envisageable** par plus de la moitié du panel.

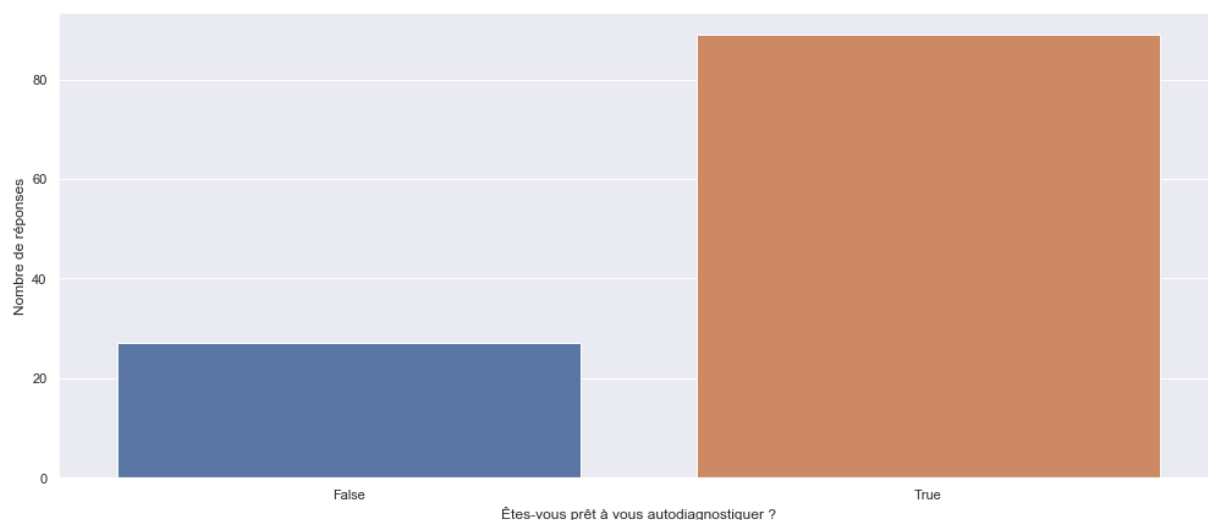


Figure 9 Répartition de l'autodiagnostic dans le panel

Nous pourrions continuer dans ce sens et se dire qu'il **pourrait être plus simple de s'entretenir avec une IA** pour diverse raison : notamment pour des raisons de ressources mais aussi pour des raisons personnelles comme une anthropophobie etc. Ici le résultat ci-dessous (cf. Figure 10) est au contraire du précédent. Il ne semble pas avoir davantage à avoir une consultation réalisée par une IA.

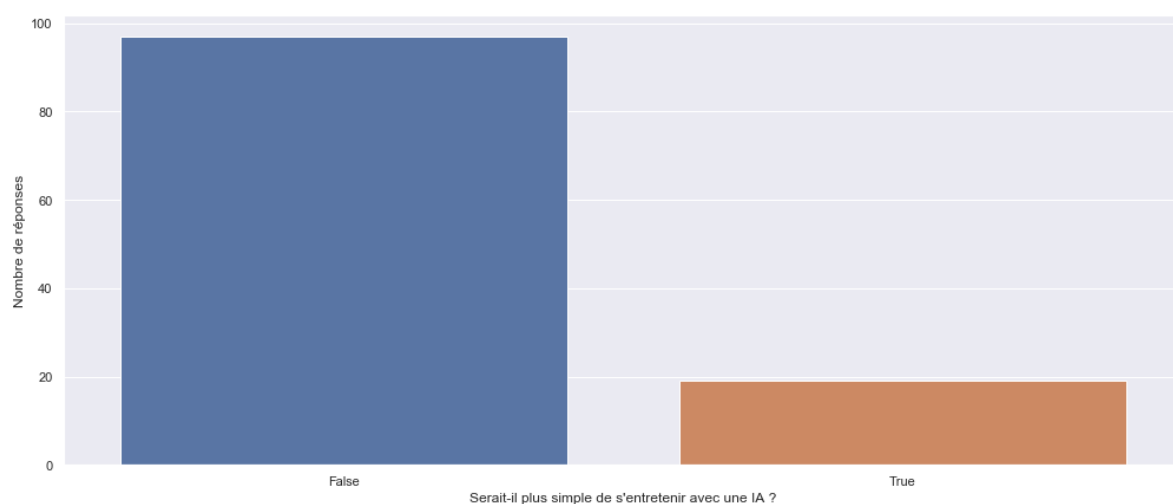


Figure 10 Répartition des réponses concernant la consultation réalisée par IA

Si nous analysons maintenant des réponses textuelles visant à savoir **pourquoi il serait ou non plus facile de s'autodiagnostiquer**, un nuage de mots peut en ressortir comme ci-dessous

manque de données. Cela entraîne des **biais** qui **désavantage** une catégorie, une minorité ou élimine des cas rares. Afin de palier à cela, le panel a été interrogé sur sa **possibilité à partager ses données**. Comme un don du sang, ici il s'agirait **d'un don de données** afin d'avoir des IA plus performantes et sûres (élimination de biais, couverture d'un plus large échantillon de cas etc.).

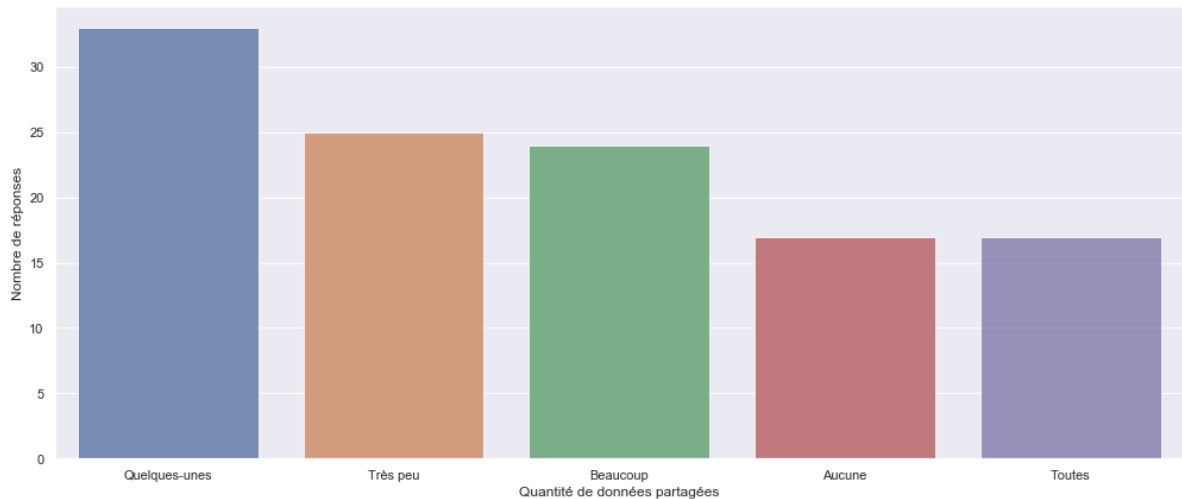


Figure 12 Quantité de données possiblement partageable par le panel

On voit sur la représentation ci-dessus (cf. Figure 12) que les **personnes seraient prêtes à partager quelques-unes de leurs informations** à cet effet. Si nous creusons quelles données pourraient être récoltées (cf. Figure 40), nous obtenons **trois catégories** de données à plus de **25%** : les **paramètres vitaux**, les **données médicales** et **l'alimentation**. Cette diversité de données est très intéressante puisqu'elle permettrait de croiser des données et ainsi trouver de nouveaux patterns. En revanche, même si environ **30% des répondants sont prêts à donner** quelques données, la tendance se dirige plutôt vers **peu de données** que beaucoup. Or il faut prendre un autre facteur en compte que ce questionnaire ne couvre pas directement : la **sensibilité des données**. On pourrait supposer que ce facteur influencerait grandement une décision tout comme la protection de ces données.

On peut comprendre un peu plus ce point en se basant sur la **peur du piratage** des données. Comme le montre les résultats ci-dessous (cf. Figure 13), le piratage des données une chose question à laquelle la réponse est claire. Pour plus de la majorité, le piratage des données inquiète beaucoup voire extrêmement. Cette peur du vol de données nous concernant pourrait expliquer la **réticence à fournir certaines données**, notamment les plus

sensibles.

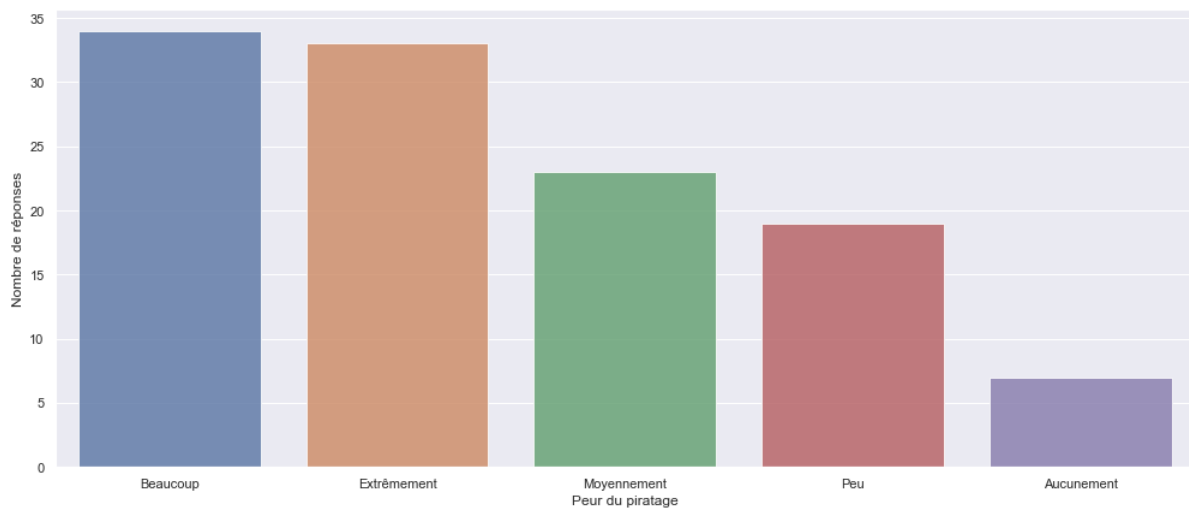


Figure 13 Peur du piratage au sein du panel

Nous pouvons aussi faire un parallèle entre la **peur du piratage et le don de données**. On y voit très clairement (les carrés les plus rouges) que **les personnes ayant le plus peur du piratage sont celles qui sont le moins enclin à donner leurs données**. Et inversement, les personnes ayant le moins peur du piratage sont prêtes à donner toutes ou une grande partie de leurs données. Cependant si nous regardons le point le plus chaud de cette *heatmap* ci-dessous (cf. Figure 14), nous voyons que **les personnes sont soucieuses de leurs données** ($\frac{6}{10}$) mais sont **prêtes à donner des informations** ($\frac{4}{5}$).

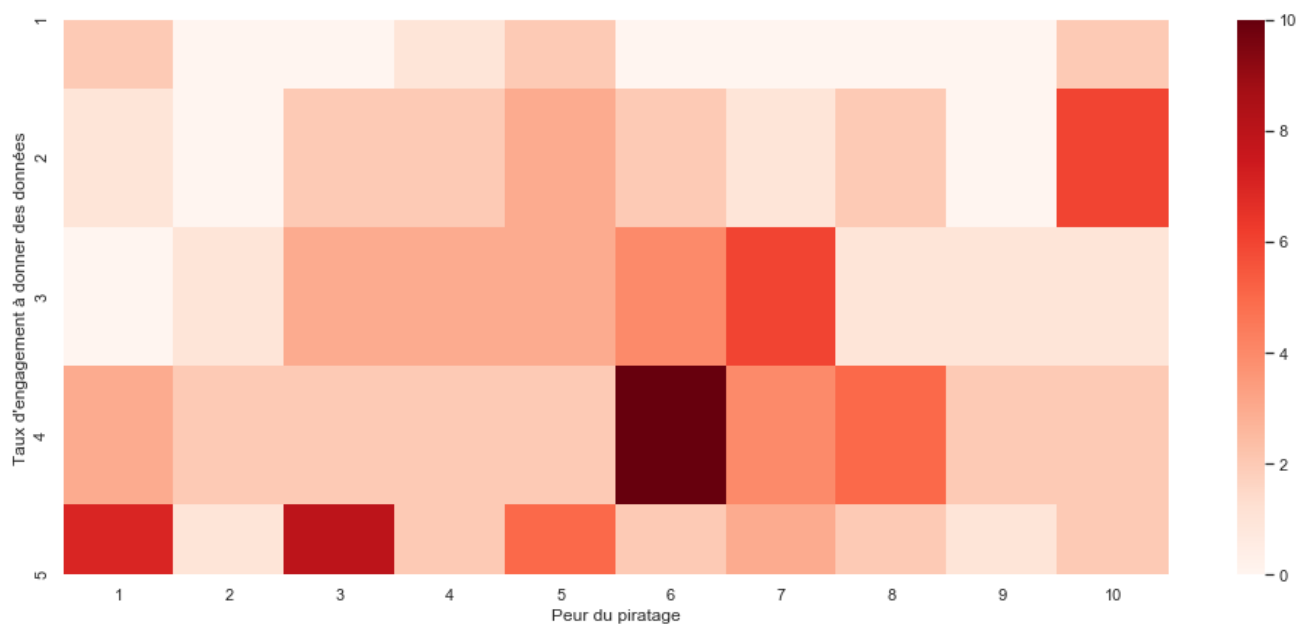


Figure 14 Peur du piratage mis en relation avec le don de données possible

Une façon dont pourrait être **rapidement récoltés ces données** serait par le biais **d'objets connectés**. On s'aperçoit d'ailleurs qu'une bonne partie du panel (**40.5%**) **n'utilisent pas d'objets connectés mais serait prêt à donner des données**. Ce taux élevé laisse penser qu'un bon nombre pourrait être amené à utiliser un objet connecté afin de glaner les informations personnelles. En revanche, **23%** des personnes **utilisant déjà des objets connectés** ne sont **pas disposés à donner leurs données**.

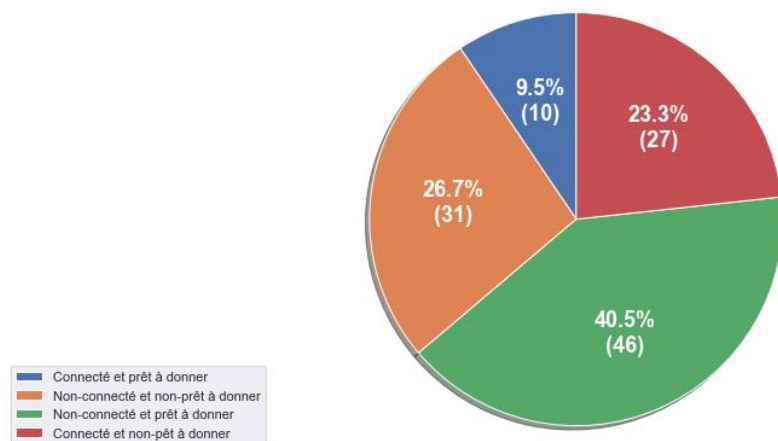


Figure 15 Croisement des données entre l'utilisation d'objets connectés et le don de données possible

De plus, si nous étudions quelle catégorie utilise le plus les objets connectés (cf. Figure 41) nous obtenons un résultat très disparate. Ce sont les **moins de 18 ans** qui **utilisent le plus les objets connectés** avec **75%** des utilisateurs recensés du panel. Le reste des groupes étant plus homogène (environ **30% par classe d'âge**). Cette information est importante car si une telle différence est présente cela **risque de créer des biais** avec une majorité de personnes de moins de 18 ans et **réduisant l'équilibre** du jeu de données.

L'IA reposant sur les données, ce point est important et nécessite d'être bien étudié si l'on souhaite que l'IA réponde correctement au besoin. C'est donc plus qu'un simple développement applicatif mais l'obtention et le traitement de données diversifiées concernant la population. La création d'IA spécialisées dans une tâche médicale impliquerait d'autres effets comme le **recours à des experts** afin d'encadrer le système, la récolte et la validation d'un jeu de données réduisant les biais, **l'encadrement juridique** de ces actions (récolte et utilisation des données, responsabilité de l'IA etc.). Enfin, au vu des enjeux, les développeurs des applications seraient sûrement impactés dans leur **expertise des développements**, **l'éthique implémenté**, la **protection des données**. Ces impacts seraient aussi une source de nouvelles opportunités pour le domaine du médical et de l'informatique.

Pour conclure, nous avons vu que notre panel est assez **diversifié**. Nous n'avons pas que des experts ni des personnes n'ayant aucune connaissance sur l'IA. Le panel est composé de femmes et d'hommes de tous âges. On y voit que les personnes interrogées sont **intéressées par le sujet** et pensent que l'IA **pourrait potentiellement résoudre les défaillances** que le secteur du médical connaît. Le panel est **prêt à utiliser cette technologie** et à l'améliorer via le don des données. En revanche un point essentiel et qui nous fixe la limite de l'IA est le **contact de l'humain**. Sans ce relationnel humain, les personnes sont plus enclines à se méfier de l'IA. Cette peur de la **perte de l'humain** et donc de **l'inconnue** se rapproche de ce que Friedrich Nietzsche explique dans son œuvre *Crépuscule des idoles* : « Ramener quelque chose d'inconnu à quelque chose de connu allège, tranquillise et satisfait l'esprit, et procure en outre un sentiment de puissance. **L'inconnu comporte le danger, l'inquiétude, le souci** ». Avec cette association humain/IA de nouvelles perspectives voient le jour : expertise des développeurs, résolution de problèmes dans le domaine médical : organisation, erreurs médicales, ressources etc. et de nouvelles législations pourrait permettre la régularisation et la qualité de ces assistants.

3.2 Interview de deux professionnels de la santé

Le questionnaire quantitatif nous permet de mieux comprendre comment la population et les professionnels de la santé voient et assimilent l'IA. Ce questionnaire a récolté des réponses **catégorisées** et **non-libre**. J'ai donc voulu connaître l'avis plus développer de **personnes expertes dans la santé**. Pour cela j'ai interviewé séparément deux personnes¹² :

- Le Docteur Gaspard D'ASSIGNIES, **médecin radiologue spécialisé dans l'intelligence artificielle** et co-fondateur d'Incepto ¹³.
- Elisabeth PRUVOT, infirmière en **gastro-entérologie, oncologie digestive et hospitalisations programmées de semaine** depuis 35ans.

¹² Il est à rappeler que ces interviews ont été réalisées en pleine période de Covid-19, très chargée pour ces professionnels

¹³ Société dans la création et la distribution d'applications d'IA pour l'imagerie médicale

3.2.1 Les changements dû à l'utilisation de l'IA

La première question est de savoir ce que **l'IA pourrait changer**. A la fois pour le **professionnel** mais aussi pour le **patient**. Quels seraient les **avantages** et les **inconvenients** du recours à l'IA.

3.2.1.A Les changements dû à l'IA pour les professionnels de la santé

Pour le personnel médical, l'utilisation de l'IA pourrait donner **l'accès à de nouveaux outils**. Des outils qui seraient des assistants et d'autres qui seraient bien plus performant que l'humain ou réalisant des tâches impossibles pour l'humain.

C'est grâce à ces outils que le quotidien pourrait évoluer et ce sur plusieurs aspects :

- Sur **l'organisation** : l'utilisation de l'IA propose une nouvelle ressource non négligeable. On peut alors imaginer que l'IA aiderait, grâce à son expertise ou son **faible temps d'analyse**, à **détecter** une fracture en temps records ce qui permettrait de **désengorger les services** (Docteur Gaspard D'Assignies). D'un autre côté, les **effectifs humains** pourraient être **réduits** et créer un **manque** encore plus grand (Madame Elisabeth Pruvot)
- Sur **l'aspect psychologique** : En effet, ce métier est à part des autres et les personnes de ce domaine sont confrontés à de nombreuses difficultés (**pression, gestion de l'empathie, travail en urgence, qualité à respecter** etc.) L'utilisation de l'IA pourrait **réduire la charge mentale** qu'impose la minutie de ne pas faire d'erreur dans ce domaine aux enjeux vitales. Par exemple un radiologue pourrait être **plus confiant** dans son analyse en étant confirmé par une IA (Docteur Gaspard D'Assignies).
- Sur les **compétences**. Dans le cas où l'IA s'occuperait de tâches bien maîtrisées et plus basiques, il serait possible **d'allouer plus de temps à la recherche** ou à de **nouvelles compétences**. Une infirmière pourrait s'occuper **de soin plus technique** si ses tâches chronophages et moins critiques étaient soumises à une IA. (Madame Elisabeth Pruvot)

- Sur le plan **relationnel**. Cette partie est centrale dans les métiers de la santé. Comme nous l'explique le Dr Gaspard D'Assignies, il y a un **désir des patients à voir régulièrement leur radiologue**. Et c'est **réiproque** puisque les médecins aimeraient eux aussi passer plus de temps avec leurs patients à expliquer les choses et à partager. Un ressenti aussi partagé par Elisabeth Pruvot qui nous explique qu'il y a **un manque d'être proche du patient**, notamment à cause des **tâches de retranscription qui sont fastidieuses** et informatisées. Du côté des patients, certains voient que les infirmières sont occupées et n'osent pas parler de leur souffrance physique comme morale. La délégation à l'IA de ce type de tâches permettra un gain de temps afin de **renouer avec l'aspect relationnel du médical**. Il est aussi intéressant de voir que le témoignage de Madame Pruvot montre que, pour elle, le relationnel avec le patient était plus fort au début de sa carrière quand toutes les retranscriptions étaient réalisées à la main. La **digitalisation** semble avoir entraîné un **éloignement** entre le patient et l'infirmière. L'IA serait alors potentiellement une solution pour une solution qui ne semble pas optimale.

3.2.1.B Les changements dû à l'IA pour les patients

Du côté du patient on retrouve des améliorations probables qui permettraient une meilleure prise en charge, un meilleur accompagnement et suivi.

Le Dr Gaspard D'Assignies nous explique par exemple que le **patient** pourrait bénéficier d'une **meilleure accessibilité** à certains soins. En effet, d'après lui l'utilisation de l'IA permettra de réduire la « **fracture territoriale** ». Dans certaines villes ou villages les radiographies sont réalisées par de bons radiologues mais qui ne sont pas spécialisés dans un domaine très précis, les experts étant plus souvent localisés dans les grandes villes. L'humain serait dans ce cas de figure une validation à l'IA ou dans l'autre sens, l'IA pourrait faciliter le diagnostic du médecin en le dirigeant dans sa réflexion. Ce qui permettra à un plus grand nombre de patient de **bénéficier d'une plus grande expertise, qu'importe leur localisation**.

Comme expliqué précédemment, le patient bénéficierait aussi des avantages dont les soignants bénéficieraient. Ceci serait surtout permis non pas par l'action de l'IA directement sur le patient mais sur les professionnels qui pourraient ainsi mieux gérer leur temps et l'organisation. Sur l'organisation, la prise en charge et le suivi pourraient être facilités et nous

pourrions aussi limiter les interventions fastidieuses pour soigner une maladie bénigne. Le patient pourrait aussi retrouver se contacter et le relationnel décrit par les deux professionnels de la santé.

Enfin, un des points auquel le Dr Gaspard D'Assignies pense le plus serait la mise en place d'une **médecine personnalisée** bien plus poussée. Ce procédé permettra de suivre un patient en fonction de **toutes ses informations** et non de le classer arbitrairement dans une case car il présente tel ou tel symptôme. Il faudrait prendre en compte toutes les subtilités de chaque patient car **chaque cas est différent**. Le CEO d'Incepto nous explique d'ailleurs que les premières intelligences artificielles (1980 environ) étaient déjà très utiles mais ne faisait que classer les patients dans des cases, ce qui crée la limitation du système. Si au contraire nous utilisons l'IA afin de résoudre des problèmes trop loin pour pouvoir s'y attarder sur chaque patient, alors il serait possible de connaître une **synthèse précise de l'état du patient**. Ce procédé est d'ailleurs utilisé dans le cas de la sclérose en plaques. Le patient doit régulièrement passer des IRM du cerveau afin de connaître l'état de la maladie. Le radiologue peut ensuite comparer chaque image avec la précédente afin de connaître l'évolution du cas. Or ce processus est long et laborieux. C'est dans ce contexte qu'intervient l'IA et permet de connaître très rapidement l'évolution de la maladie en comparant beaucoup d'image en un temps improbable pour l'humain. A cela, nous pouvons rajouter que l'IA pourrait comparer le cas actuel avec d'autres cluster de patients permettant ainsi de prédire les prochaines étapes de la maladie, voire de prédire la réponse au traitement puisque connu des cas précédents. Ce serait, d'après le docteur, une **modification radicale** de la façon dont la médecine fonctionne.

Tous ces points peuvent aussi se retrouver dans l'analyse du questionnaire réalisé pour l'occasion, on retrouve que **70%** du panel pensent que le système médical est **défaillant** notamment par **l'organisation** et le **manque de ressources**. On voit clairement que les interviewés voient dans l'IA un outil au service des soignants permettant une avancé et un gain de temps. Renouant avec les **principes de base de la médecine** d'être auprès des patients et de faire progresser le domaine de la santé.

3.2.2 Les possibles utilisations de l'IA

Si l'utilisation de l'IA permet en effet des gains potentiels, il est intéressant de voir dans quels champs d'applications elle pourrait être concrètement utilisée. Par exemple, le docteur Gaspard D'Assignies nous fait part de sa connaissance du milieu en expliquant les différentes applications possibles :

- Nous avons, comme cité plus haut, l'utilisation de l'IA afin de mieux cerner la maladie de la **sclérose en plaques** permettant de **calculer et prédire l'évolution d'une maladie**.
- Il signale des recherches très intéressantes dans le domaine du langage qui sont des IA appelées **NLP** (natural language processing) et qui sont spécialisées dans le **traitement de la voix**. Ces IA pourraient par exemple détecter via différents critères, pour la plupart imperceptibles pour l'Homme, si le patient est atteint de la maladie de **Parkinson** ou **d'apnée du sommeil**. Ce résultat est permis par l'analyse très poussée de beaucoup d'échantillon de données permettant de mettre en évidence un pattern.
- La **génomique** est un nouveau champ d'application dans lequel l'IA excelle. La génomique est **l'étude du génome** et donc des gènes. Dans cette catégorie encore en pleine recherche, il est très complexe d'extraire l'information résultant un coût élevé et un temps conséquent. Par exemple l'IA pourrait être utilisée dans le **séquençage de l'ADN** qui est long malgré des machines. On pourrait aussi voir dans l'IA une facilité pour **l'édition de gène** et permettre de nouveaux traitements ou de mieux comprendre certaines maladies. Un autre intérêt serait de mieux comprendre, de par les gènes et les antécédents, le patient et ainsi appliquer une **médecine personnalisée** totalement **adaptée** aux caractéristiques fournies.
- **L'imagerie médicale**. C'est sûrement la catégorie la plus remarquable car très **visuel**, l'application de l'IA dans le champ de l'imagerie médicale est très pertinente. On retrouve par exemple la détection de fractures sur des radiographies, l'identification des **zones les plus suspectes** dans les mammographies etc. L'imagerie médicale se prête très bien à la combinaison de l'IA et même plus précisément au deep Learning, et permet aux radiologues de **valider** leurs

diagnostics, **d'attirer leur attention** sur un point particulier ou **d'analyser l'impossible ou qui prendrait trop de temps pour l'humain.**

On peut se demander aussi sous quelle forme et dans quel cas l'IA serait utilisée. L'interview avec le Docteur Gaspard D'Assignies nous explique la **lourde responsabilité** que serait de laisser l'IA poser un diagnostic seul. Ce serait trop complexe et **non sécurisé** de laisser une IA s'occuper entièrement de cas en oncologie par exemple. Au contraire, un mélange avec l'Homme et l'IA mènerai à une symbiose dans le système médical.

L'utilisation de l'IA pour créer un chatbot (autodiagnostic, questions/réponses), pour aiguiller, rassurer ou interpeler un médecin serait des cas d'utilisations bien plus convenables et réalistes. L'humain utiliserait l'IA **comme un outil** et serait en validation de l'algorithme.

D'un autre côté, il est intéressant de voir que l'IA ne peut être utilisée dans n'importe quel domaine et pour n'importe quelle action. Elle peut s'avérer très utile pour les médecins, les radiologues etc. Elle est très compétente dans des domaines riches en complexité où encore difficilement accessible à l'Homme comme l'imagerie médicale ou la génomique.

Or, dans les cas les plus techniques et avec un fort relationnel, l'IA ne serait pas l'outil parfait. Le rôle de l'infirmière est de réaliser des soins techniques mais aussi d'être auprès du patient. D'après l'interview, il serait très compliqué d'envisager une IA remplacer le relationnel qu'un soignant peut avoir avec un patient. Ce point est par ailleurs confirmé par l'analyse du questionnaire dans lequel les personnes évoquaient ne pas vouloir perdre le contact d'un humain et ne pensent pas qu'il serait plus facile de s'entretenir avec une IA plutôt qu'avec un humain. On remarque aussi qu'il serait **compliqué d'imiter les soins techniques** qui sont aussi réalisés de par le ressenti humain des soignant ; l'IA manquerait alors d'empathie.

Madame Pruvot explique également que son métier comprend aussi l'annonce aux patients. D'après elle, l'IA serait incapable d'avoir le **tact d'un humain**. Bien au contraire, l'IA serait **trop sectaire** et pourrait abandonner des soins car jugés inutiles. Contrairement au témoignage qui explique que le même si le personnel s'appuie sur des données il ne peut prédire la suite et fera tout son possible pour améliorer la durée ou la qualité de vie du patient.

Enfin, on remarque aussi que dans le cas où l'IA serait un **outil** plus qu'un remplaçant, pour le Docteur Gaspard D'Assignies qui travaille dans le domaine de l'IA, il n'a **aucune réticence** envers cette technologie. Contrairement à Madame Pruvot qui travaille depuis

35ans en tant qu'infirmière et a donc connu les débuts du métier sans la **digitalisation**. Pour elle, même si les enjeux et le fonctionnement de l'IA est très bien compris et cerné, il est **difficile** de se **projeter** avec l'utilisation d'une telle technologie.

3.2.3 L'IA et l'accès aux données médicales

Enfin, une dernière question serait de connaître l'avis des soignants concernant l'accès des données médicales par l'IA. En effet, comme expliqué dans ce mémoire, l'IA et plus précisément le Machine Learning / Deep Learning a **besoin** d'énormément de **données** afin d'être entraîné et de pouvoir donner un résultat correct. Or comme nous le savons, les données personnelles sont à la fois **difficiles à récupérer** mais aussi **trop personnelles** pour certains (cf. Figure 14) limitant le nombre de données disponibles. Sans oublier que de fortes réglementations existent (en Europe et en France) afin de protéger la vie privée des personnes.

Si nous partons du postulat que l'IA sera un outil capable d'aider des experts de la santé, ces applications doivent être **irréprochables** et **sûr d'utilisation**. Et pour cela il est important que l'IA soit nourrie de données très hétérogènes. Bien entendu, le domaine de la recherche médicale permet de publier des données plus ou moins libre d'accès mais reste tout de même **difficile à construire**.

On retrouve, d'un point de vue **juridique**, la **réglementation européenne** ainsi que la **CNIL** qui protège toutes données médicales. Ces lois nous assurant une certaine sécurité, il serait compliqué de récolter des données sous leur régularisation. Un autre point très intéressant est l'utilisation de ces données. En effet, si chaque société gère les données récoltées à son bon vouloir, nous pouvons nous poser des questions : les données seront-elles **protégées, sécurisées, effacées** si demandé, **vendues** etc. Certaines peurs, comme celles de Madame Pruvot, se forment : **où sont nos données ? jusqu'où irait-on avec celles-ci ? pourraient-elles être utilisées pour une autre utilisation ?** Et que faire si elles tombent dans les mains de personnes externes (piratages, arriver à un employeur etc.).

Enfin se pose aussi la question de **qui sera gérant** des données, que ce soit du point de vue d'un pays ou d'une entreprise. Nous pouvons faire le parallèle avec l'application StopCovid qui est sortie pendant la rédaction de ce mémoire. Beaucoup de questions se posent autour de cette première application de ce genre sur le territoire français. Beaucoup de personnes se

questionnent sur **l'utilisation de ces données** et si **l'État français** pourrait en avoir connaissance, créant pour l'heure un faible taux d'adhésion. On peut aussi y voir une nouvelle concurrence internationale. Comme nous l'indique le Dr Gaspard D'Assignies, certains États technologiquement très avancés n'ont pas les mêmes paradigmes concernant ce point. D'après ses dires, la Chine aurait plus facilement accès à des données mais il n'y a pas de **politique de vie privées** encadrée. Et inversement, les États-Unis ne sembleraient pas être sur un **système de redistribution**.

On peut donc se questionner comment créer des IA efficaces et réellement utiles aux soignants sans contrevenir aux réglementations nous protégeant où sans créer une nouvelle course technologique.

Enfin, les soignants semblent voir le potentiel d'une telle technologie et y voient une **réelle aide**. Pour que l'IA soit adoptée, il faut **qu'elle simplifie les processus** et **change la qualité de vie des patients**. L'IA dans le médical semble être un futur encore **en cours d'élaboration** mais arrive **doucement sur le marché** avec d'ores et déjà des technologies puissantes et dont l'efficacité a été reconnue. Le point le plus important est l'utilisation de cette IA sous sa forme d'outil. Cela permettrait aux professionnels de s'attarder sur de nouvelles problématiques ou de **retrouver un relationnel plus fort** avec les patients, et ainsi améliorer la qualité de soin et de prise en charge des patients du système médical.

3.3 Investigations techniques

Comme nous l'avons vu avec le questionnaire et les interviews des soignants, plusieurs problèmes se posent :

- Les **patients** veulent bien utiliser la technologie mais souhaitent conserver le relationnel avec l'humain
- **L'organisation** est un gros problème pour le système médical français d'après les patients
- Les **soignants** désirent avoir plus de contact avec les patients et moins d'étapes compliqués ou fastidieuses
- Certaines **tâches** sont **humainement très longues** ou **difficiles** pour les soignants

Pour résoudre ces problèmes, nous pouvons utiliser l'intelligence artificielle de plusieurs manières. Dans ce mémoire, je vais démontrer qu'il est possible d'utiliser l'intelligence

artificielle afin d'améliorer la prise en charge des patients tout en améliorant le quotidien des soignants.

3.3.1 L'utilisation de l'IA en autodiagnostic

Tout d'abord, nous allons étudier comment rendre un **diagnostic plus simple et facile d'accès**. En effet, si nous rendons le diagnostic plus simple et accessible, les médecins perdraient moins de temps et pourraient avoir un premier aperçu sur le patient. Ce qui leur permettrait de **passer plus de temps** auprès de leurs patients. C'est aussi l'occasion de désengorger les services et ainsi éviter un **afflux de personnes** comme par exemple les services d'urgence où un temps d'attente de 6h est possible avant d'être pris en charge. Le fait d'avoir un diagnostic plus rapide et plus facile d'accès permet aussi de mieux prendre en charge, de la même façon qu'un dépistage, ce qui réduit la gravité des maladies si elles sont prises plus rapidement à temps. D'un **point de vue économique** c'est aussi des frais d'hospitalisation à réduire puisque les examens peuvent se faire à distance ou dans le meilleur des cas seul en autodiagnostication. On évite aussi de faire **trop d'examens** qui plus est très **coûteux**.

Ainsi afin de démontrer cet exemple on pourrait imaginer une intelligence artificielle capable de **reproduire l'anamnèse** d'un médecin afin de détecter des troubles ou des maladies cardiaques. Ce qui limiterait l'entrée en hospitalisation déjà trop grave et un meilleur suivi du patient. Cette intelligence artificielle imite le même procédé d'un médecin, c'est-à-dire, qu'il repose sur un **arbre de décisions**. Cet arbre est composé de **questions**, en fonction des réponses du patient de nouvelles lui en sont posées afin d'**affiner la probabilité d'être ou non touchée par une maladie ou un trouble cardiaque**. Cette façon de faire est facilement déployable, c'est-à-dire que l'on peut à la fois l'héberger sur un site, le médecin peut directement poser les questions même s'il n'est pas spécialiste ou encore retrouver ce dispositif via téléphone comme le système déployé dans le cadre du Covid-19.

Afin de démontrer techniquement comment cette solution peut être envisagée, j'ai décidé de construire un arbre de décisions, imitant ainsi les questions que pourrait poser un médecin afin de diagnostiquer une maladie. Un arbre de décisions est un type **d'IA supervisé**. Le but est de créer un modèle pouvant **prédire une valeur en fonction de plusieurs valeurs d'entrées**. L'arbre que j'ai développé permet de déterminer en fonction de certains critères

(âge, sexe, pression artérielle, cholestérol etc.) si un individu est sujet à une maladie cardiaque. Dans ce cas de figure, l'arbre de décisions est basé sur la classification : possiblement malade ou non.

Pour ce faire, j'ai utilisé un jeu de données tabulaire issu d'un site spécialisé dans le regroupement de données : **Kaggle**¹⁴. Ce jeu de données a été créé par 4 Docteurs en médecine de Suisse, Hongrie et États-Unis. Il est composé d'environ **300 entrées** avec **14 champs** disponibles concernant plusieurs métriques : l'âge, le sexe, le cholestérol, la tension, le type de douleur, la présence de diabète etc.

Voici les étapes importantes du développement :

1. Récupération des données
2. Traitement des données : Certaines **données** doivent être **transformées** afin d'être utiles (regroupement, transformation en données numériques...)
3. On **découpe** notre jeu de données en deux : une partie qui va permettre **d'entraîner** notre IA et une autre afin de la **tester** (20-30% du jeu de données).
4. Grâce à une **validation** croisées (*k-fold*), qui permet d'estimer au mieux la fiabilité de notre modèle en fonction du nombre de nœuds que nous souhaitons, nous pouvons mieux paramétrer notre IA. Dans mon cas, j'ai choisi 3 nœuds maximum car le taux de réussite était le plus élevée, sans oublier que si nous choisissons trop de nœuds nous sommes dans une pratique d'*overfitting*
5. On créer ensuite notre arbre de décisions et nous **l'entraînons** en fonction des jeux de données (entraînement et tests). Dans ce cas, j'ai utilisé **sklearn** qui est une librairie en python mettant à disposition des outils pour créer différents types d'IA.
6. Nous pouvons ensuite faire des prédictions : `decision_tree.predict(x_test)`, exporter l'arbre sous forme de graphe, calculer son score (taux de réussite etc). L'arbre sur la Figure 16 en annexe est à **~86% de réussite**. Suivant différentes configurations, l'arbre peut atteindre les 95% de réussite mais s'expose à de *l'overfitting* ce qui n'est plus représentatif d'un cas banal. Dans le cas où nous avons

¹⁴ <https://www.kaggle.com/ronitf/heart-disease-uci> accédé en avril 2020

de *l'overfitting* nous avons des nœuds portant sur l'âge bien trop précis, on voit donc clairement que l'IA se **repose trop sur le jeu de données**.

Il est possible de visualiser l'arbre sous forme de graphe comme montré ci-dessous (cf. Figure 16) mais nous pourrions aussi avoir une **interface visuelle** (site web par exemple) qui reprends les questions une à une afin d'avoir un visuel plus **simple** et **compréhensible** pour l'utilisateur.

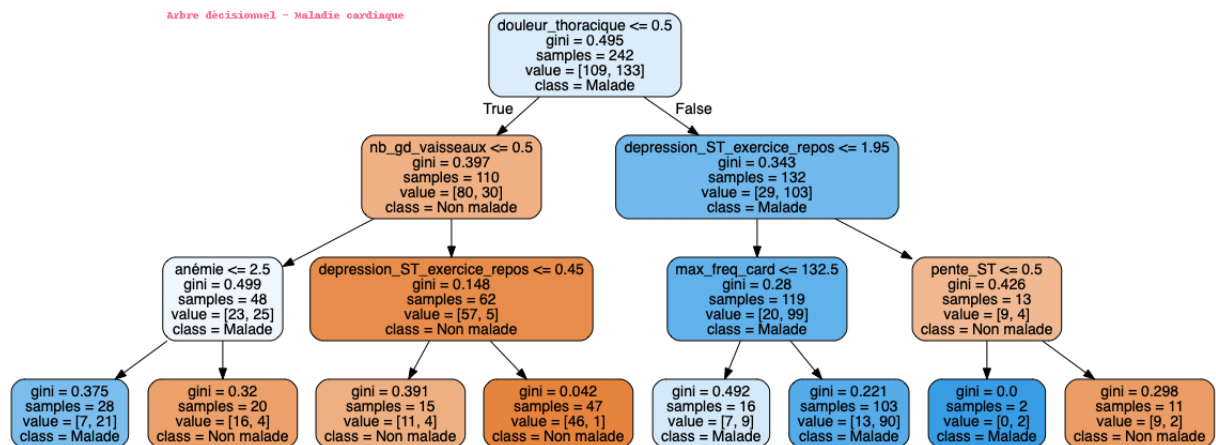


Figure 16 Arbre de décisions (anamnèse) généré par machine learning sur les maladies cardiaques

Les données concernant la santé étant très difficiles à trouver cet exemple ne permet pas de se projeter pleinement sur un cas parfait **d'autodiagnostic** car les questions concernent des résultats comme un **ECG**, la **tension** etc. qui sont des mesures nécessitant des appareils peu accessibles au grand public. Il est cependant possible d'effectuer le même travail avec des données plus simples et accessibles (concernant **l'hérédité**, la **génétique**, les **sensations**, **type de douleurs**, **durée de la souffrance**, **médicaments** pris etc.).

Si nous prenons par exemple un patient test ($N_{°181}$) (cf. Figure 42) en suivant notre arbre nous avons :

La douleur thoracique est-elle inférieure ou égale à 0.5 ? **Oui** puisque 0 chez notre patient. Nous prenons donc la branche de gauche (« **True** », **l'affirmation est vraie**). Le nombre de grands vaisseaux est à 3 chez notre patient ce qui est supérieur à 0.5. Il faut suivre la branche de droite (« **False** », **l'affirmation n'est pas correcte**). La prochaine question désigne la dépression sur le segment ST du **complexe QRS**. La valeur de notre patient est **de 1** ce qui est plus grand que **0.45**, étant faux, nous prenons la branche de droite. C'est la dernière

étape (feuille) de notre arbre, nous pouvons en conclure que le patient n'est pas atteint de maladie cardiaque, ce qui se confirme par le 0 dans le champ « **target** » de notre jeu de données (signifiant qu'il n'était, effectivement pas malade).

Il est à noter que nous avons à disposition le **coefficient de Gini**, qui est une mesure en statistique afin de connaître la répartition d'une valeur au sein de la population.

3.3.2 L'utilisation de l'IA à des fins organisationnelles

Si l'IA peut venir en aide aux patients comme aux soignants, elle peut aussi venir en aide aux **structures** composants le système médical français (**cliniques, hôpitaux, EHPAD...**). Si nous regardons les réponses du questionnaire réalisé, nous voyons que globalement l'aspect le plus critiqué du système médical français est l'organisation. Nous avons aussi les interviews des soignants qui en font écho, comme la sensation d'avoir des tâches laborieuses et longues.

En ce sens, nous pourrions aider avec l'IA à trouver des solutions afin d'améliorer l'organisation du système médical. Les enjeux de cette évolution seraient multiples :

- Gain de **temps** pour les patients et les soignants
- Gain de **productivité**
- Gain de **confiance** des patients

Afin d'avoir un exemple concret concernant ce point, je me suis inspiré d'un événement inédit à l'heure de la rédaction de ce mémoire : la pandémie de la **Covid-19**. Nous avons vu que durant les premières semaines de la pandémie, les hôpitaux ont été très rapidement surchargés créant une **désorganisation totale** et des **périodes très dures pour le personnel**. Il pourrait être souhaitable dans ce genre de crise sanitaire de mieux comprendre les conséquences que cela implique. Par exemple, s'il était possible de **prédire combien de patients pourrait potentiellement être dans un hôpital à un instant précis** ; il serait plus simple d'aménager des services entiers, de protéger les patients en soins continu, de préparer des équipes, le matériel nécessaire etc. Bien sûr, les hôpitaux ont des protocoles correspondant à la situation, comme le plan blanc qui permet un transfert des patients, la déprogrammation des activités non-urgentes, une organisation différente (trie des malades par gravité et pathologie), un confinement des bâtiments etc. Or il n'est pas possible de réellement connaître la charge à laquelle l'hôpital doit s'attendre.

En revanche, si nous nous basons sur des méthodes statistiques et de machine learning, nous pouvons utiliser l'IA afin de faire des **prédictions (forecasting)**. Dans le cas du Covid-19 nous souhaitons connaître le taux de patients possibles pour un jour futur. On appelle cela des **prédictions temporelles** ou **Time Series**

Les prédictions temporelles sont un type de **régression**, mais en plus compliqué car leur structure est moins facile à cerner et à tester si aucune donnée n'est encore obtenue. On retrouve plusieurs méthodes disponibles afin de résoudre ces problèmes :

- Prophète de Facebook qui est une librairie spécialisée dans la prédiction temporelle
- Les réseaux de neurones (RNN, tensorflow par exemple)
- Les random forest (sklearn par exemple)
- Les régressions linéaires

Afin de pouvoir prédire l'affluence qu'un hôpital devra subir et ainsi lui permettre de se préparer, nous pouvons utiliser une méthode de statistique : **les régressions linéaires**.

Une régression linéaire est une méthode de machine learning (supervisé) qui permet de trouver une valeur en fonction d'entrée. C'est donc un outil pour des régressions (prédictions) comme son nom l'indique et non un outil pour la classification. Son utilisation permet de trouver une corrélation entre deux variables. Ici nous pouvons appliquer ce modèle entre la date et le nombre de cas.

Tout d'abord il s'agit de réaliser l'étape clef de traiter les données. Notre jeu de données ici provient du **gouvernement**¹⁵. Les données sont cohérentes mais le ministère nous propose seulement le recensement des cas au jour le jour. **Aucune corrélation** n'existe entre les dates. Il nous faut donc tout d'abord modifier la donnée en ajoutant une nouvelle colonne permettant de connaître le cumul des nouveaux cas admis pour mieux comprendre notre donnée. Pour ce faire nous allons faire la somme des nouveaux cas journaliers par période de

¹⁵ <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/donnees-hospitalieres-relatives-a-lepidemie-de-covid-19/> accédé en avril 2020

7 jours (durée moyenne d'hospitalisation en cas de Covid-19). Ce code peut être implémenté de cette façon (cf. Code 1) :

```
# Add a new column to get the accumulation of new cases per day
df_seine_maritime["cumul_incid_hosp"] = df_seine_maritime['incid_hosp'].rolling(
    min_periods=1, window=7
).sum()
```

Code 1 Corrélation entre les données, cumul des jours

Si nous affichons notre donnée nous passons de cette première représentation (cf. Figure 17) à cette nouvelle représentation (cf. Figure 18).

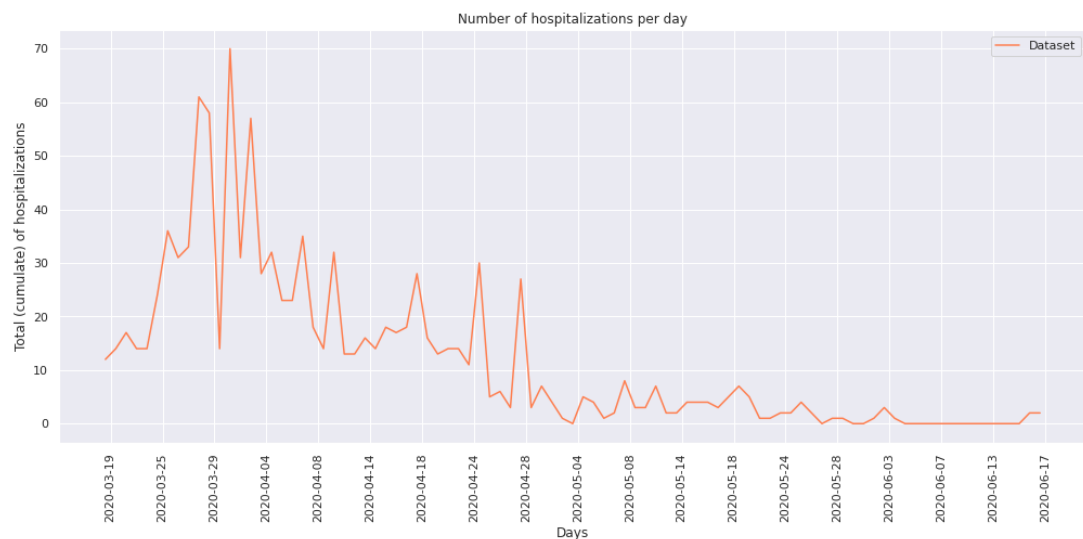


Figure 17 Données du covid sans corrélations

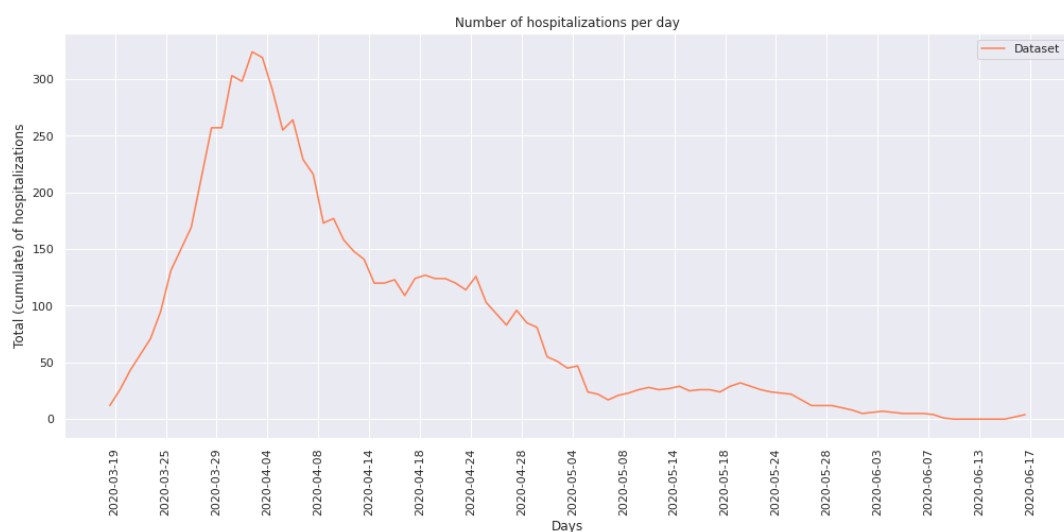


Figure 18 Données du covid avec corrélations/aplatissement

Maintenant que la donnée est bien formulée nous pouvons nous pencher sur le modèle. Tout d'abord nous commençons par une régression linéaire.

Nous découpons notre donnée ainsi :

- **X** sera la **représentation** des dates sous leur index (exemple : le 19/03/2020 est le premier jour il sera donc représenté dans X par 1 et ainsi de suite).

- **y** (la **valeur à prédire**) sera le cumul des nouveaux cas pour les 7 derniers jours.

Grâce à la librairie *sklearn* nous pouvons créer notre régression linéaire et l'entraîner sur notre X et notre y. Nous allons prendre un point de départ après le pic de l'épidémie afin d'avoir un échantillon sans trop de différences. Ce choix nous permet d'avoir un modèle avec une précision de **86%**.

Après calcul des marges d'erreurs nous obtenons, voir ci-dessous (cf. Figure 19), une prédiction dont les marges d'erreur correspondent à la donnée réelle.

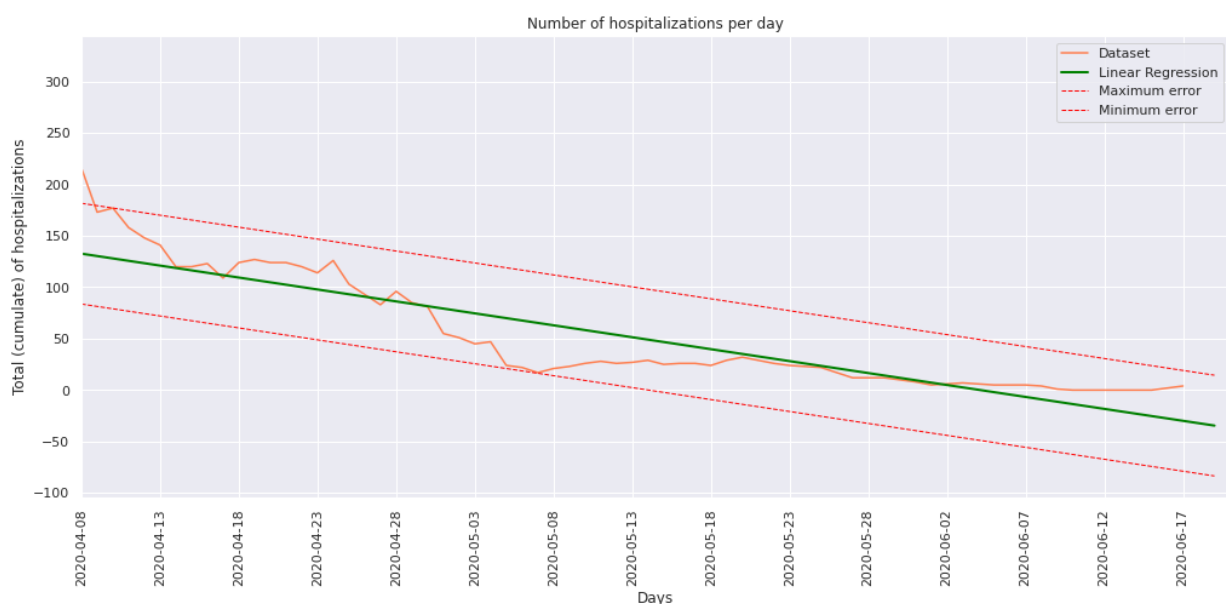


Figure 19 Régression linéaire pour le Covid-19.

Or comme nous l'avons vu notre cas d'étude n'est pas rigide. Il peut alors être intéressant d'utiliser une méthode semblable mais permettant plus de modularité : la **régression polynomiale**. Pour cela le processus de création se décrit de la sorte :

1. Nous créons 4 sous jeux de données depuis notre donnée provenant de data.gouv
 - a. 2 datasets (80% de notre donnée) : jeux d'entraînement
 - b. 2 datasets (20% de notre donnée) : tests afin de valider.

2. Nous testons les différents degrés possibles afin de trouver le meilleur et d'éviter l'underfitting ou l'overfitting
3. Nous créons un modèle polynomial et l'entraînons avec les données déjà connues tout en vérifiant avec notre jeu de test.
4. Il est possible de connaître le taux d'erreur d'un modèle en utilisant le RMSE (root mean square error) défini par $\sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}}$. Plus la valeur est faible et plus l'IA sera de bonne qualité.
5. Il est dorénavant possible de faire des prédictions. Si nous représentons la donnée sous forme de graphique nous obtenons un résultat comme ceci.

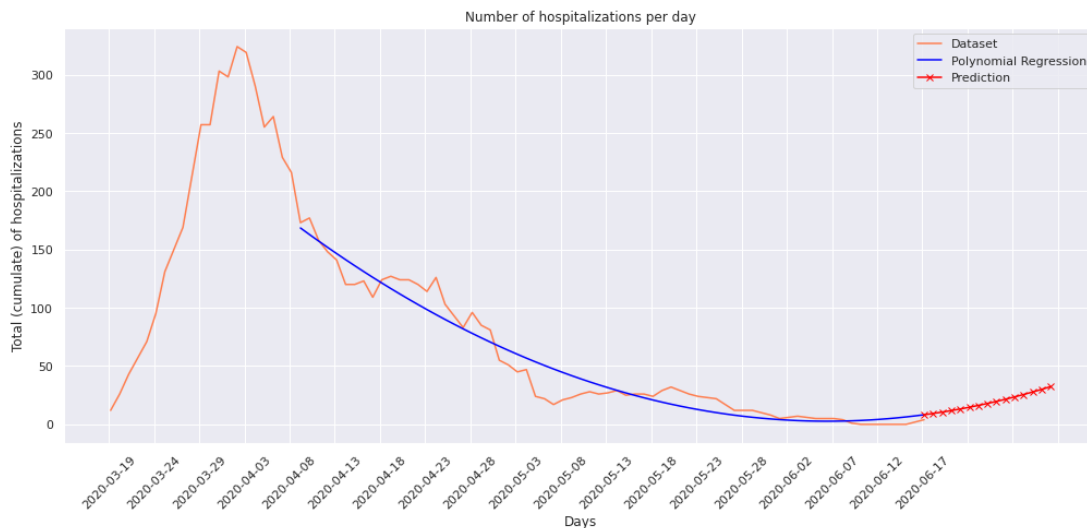


Figure 20 Régression polynomiale sur les nouveaux cas de covid

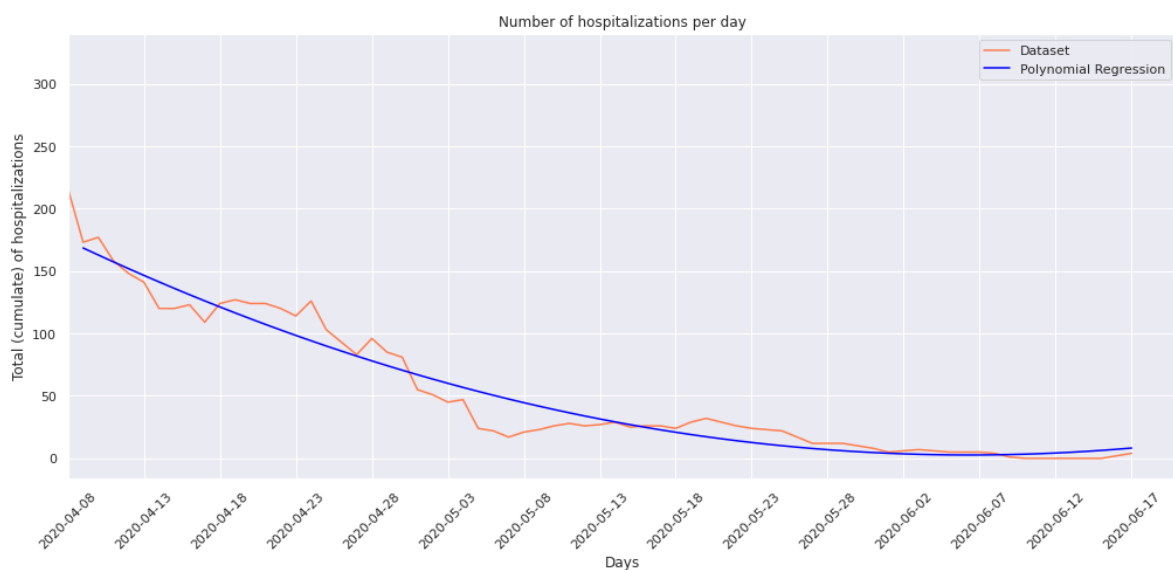


Figure 21 Zoom sur une partie de la régression polynomiale des nouveaux cas de covid

Ainsi, grâce à cette technique nous pouvons **déterminer la charge qu'un hôpital serait susceptible de devoir gérer** dans un futur proche. Cette technique très intéressante pourrait aussi être mise à jour automatiquement à chaque nouvelle entrée de donnée, changement de jour etc. évitant des calculs humains et permettant un détail en temps réel. Il est par contre à rappeler que cette méthode reste difficile à réaliser sans données ou avec trop peu de données.

Dans le cas du Covid-19, les données sont journalières mais il serait aussi possible de réaliser ce même procédé pour des tâches bien plus précises comme une analyse d'ECG qui se mesure en temps réel. Cela permettrait notamment de sauver des personnes d'AVC, infarctus, hypertension etc. où chaque seconde compte. Afin de montrer la diversité des solutions, j'ai choisi d'utiliser ici un autre type d'IA. Nous allons donc créer une **prédiction sur un ECG avec un réseau de neurones**. Plus précisément avec un **RNN** (*recurrent neural network*) qui est un champ des réseaux de neurones spécialisé pour les récurrences (Times Series). Il est possible de préciser d'avantage la nature du réseau de neurone puisque nous allons utiliser une architecture LSTM (**Long Short-Term Memory**) (mémoire à court et long terme). C'est une architecture très efficace dans ce genre de cas car elle permet de **traiter des séquences de données ensemble** et permet aussi de **garder un état des données déjà vu** lors de l'itération sur chaque valeur.

Tout d'abord il s'agit de formater la donnée. Le jeu de données proposé n'est pas des plus riche et ne comporte que des valeurs sans aucune autre informations. Ainsi pour avoir une donnée exploitable j'ai :

- Renommé la colonne pour que cette dernière soit percutante.
- Ajouté une nouvelle colonne correspondant à la date. De cette manière chaque valeur sera attribuée à une date avec une différence d'une seconde.

```
# Rename column to 'freq' (ecg)
df_raw_heartbeat.columns = ["freq"]
# Create a new column 'date' to map each freq to a Date (1sec between each date)
now = datetime.now()
now_string = now.strftime("%d/%m/%Y %H:%M:%S")
df_raw_heartbeat['date'] = pd.date_range(
    start=now_string,
    periods=len(df_raw_heartbeat),
    freq='1s'
)
```

Code 2 Ajout d'une nouvelle colonne afin de simuler le temps enregistré

Nous pouvons donc passer d'un tableau sans information (cf. Code 3) à un nouveau tableau (cf. Code 4)..

	91.4634
0	91.4634
1	91.1834
2	91.8788
3	91.1772
4	89.7992

Code 3 Données (ECG) sans données temporelles

	freq	date
0	91.4634	2020-06-19 11:51:15
1	91.1834	2020-06-19 11:51:16
2	91.8788	2020-06-19 11:51:17
3	91.1772	2020-06-19 11:51:18
4	89.7992	2020-06-19 11:51:19

Code 4 Données (ECG) avec données temporelles

La donnée n'est pas parfaite mais si nous représentons sous forme de graphique nous obtenons ce résultat ci-dessous (cf. Figure 22). Ce qui se rapproche d'un ECG.

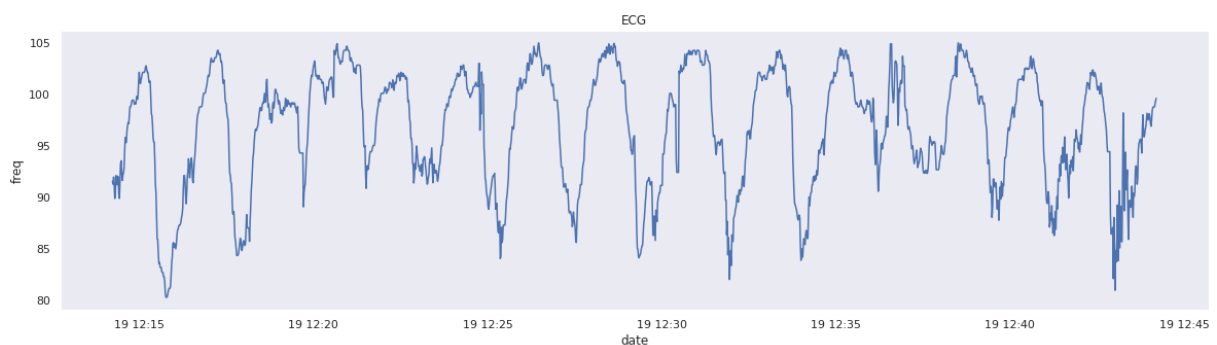


Figure 22 Représentation de l'ECG avec des données temporelles

Une fois que notre donnée est prête nous pouvons commencer les étapes concernant l'IA :

1. **Normalisation** de la donnée (cf. Code 6): on réduit la complexité du modèle en standardisant la moyenne et l'écart-type. Pour ce faire on soustrait aux valeurs leur moyenne (m) et on les divise par leur écart-type (σ). $X_{norm} = \frac{X-m}{\sigma}$. Ce procédé est réalisable grâce à *sklearn*.
2. On définit une taille pour **séparer** le jeu de données en *dataset d'entraînement* (80% du jeu de données) et de **validation** (20% du jeu de données)
3. On découpe en matrices X et y : (X_{train} , y_{train} , X_{test} , y_{test})
4. On peut ensuite, grâce à Tensorflow et Keras (détaillé dans la partie 3.3.3) construire notre modèle. Le modèle est composé de deux couches : LSTM (100 unités) et Dense (1 unité). La première comporte les neurones spécialisés dans la récurrence et la couche **Dense permet de récupérer toutes les sorties** de chaque neurone du **LSTM**.
5. La prochaine étape est d'ajuster notre modèle avec le jeu d'entraînement. Afin qu'il soit assez entraîné on parcourt 3 fois (*epoch*) le jeu de données. Le jeu de validation, qui ne sert pas à l'apprentissage, mais à connaître le taux de fiabilité de l'IA sur des données non connues est utilisé dans cette étape. 2 époques nous

permettent d'assez bien entraîner l'IA sans faire d'overfitting comme nous le montre ce schéma (cf. Figure 23).

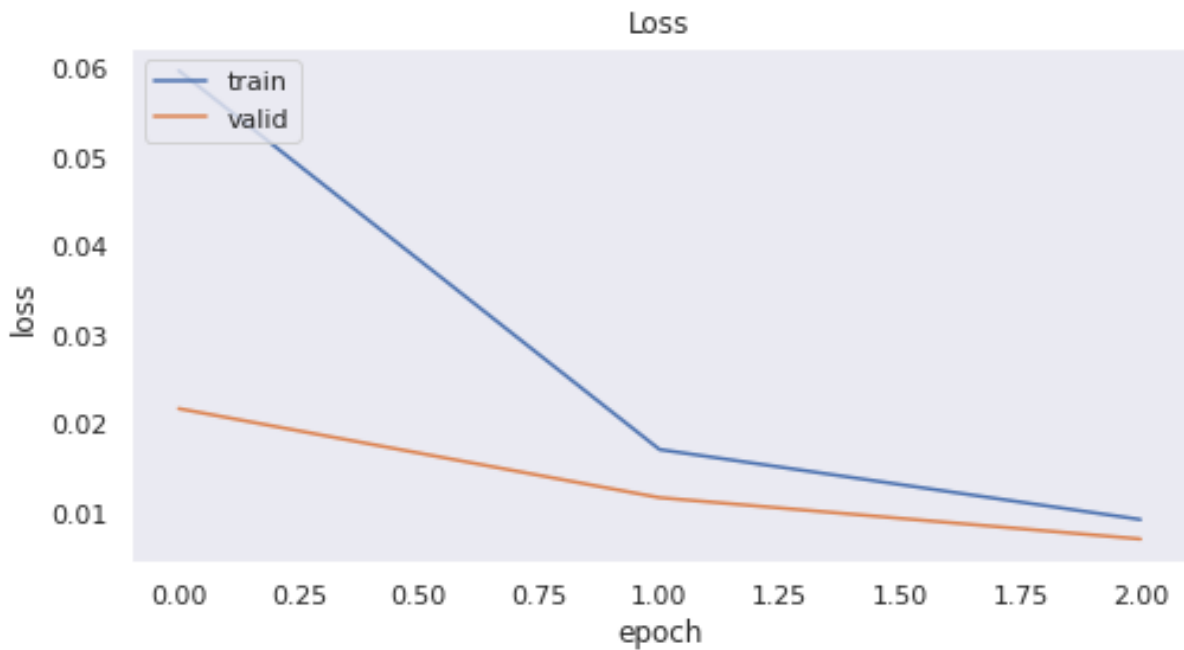


Figure 23 Visualisation de la performance du modèle

6. On peut ensuite faire une prédiction (cf. Figure 24). Puisque notre donnée est normalisée il faut cependant l'inverser pour retrouver la vraie donnée.

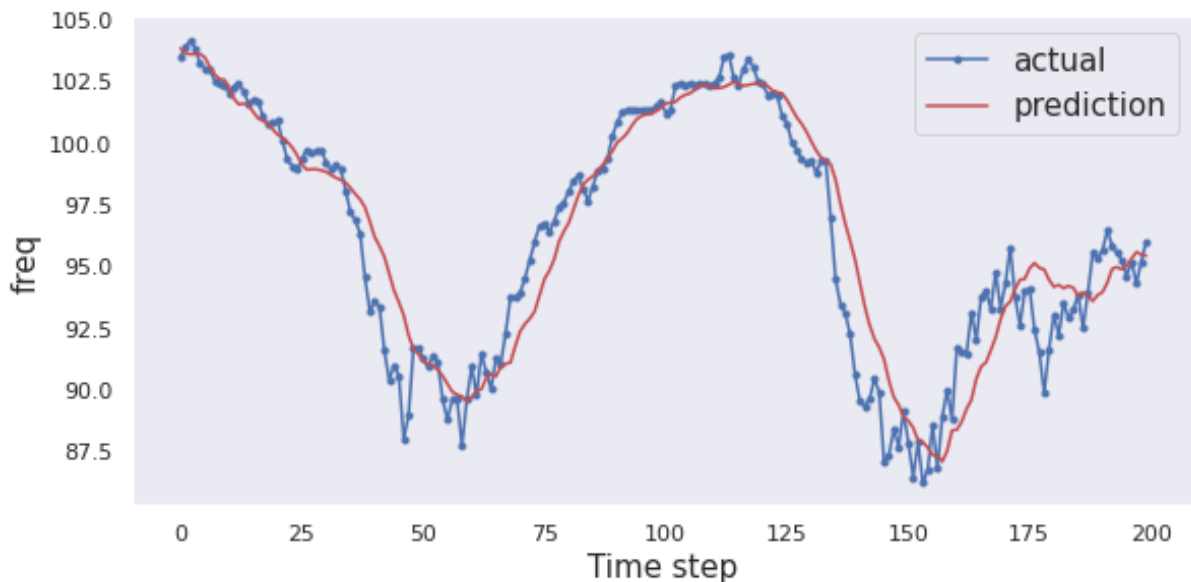


Figure 24 Prédiction et valeur actuelle d'un ECG

Comme le graphique nous le montre notre modèle prédit bien les bonnes valeurs. Afin d'éviter à devoir entraîner de nouveau l'IA, nous pouvons **sauvegarder** le modèle pour le réutiliser facilement au format `.h5`.

En imaginant que nous ayons un patient dans un service de cardiologie, ce procédé permettrait de **prédire les prochaines occurrences** de l'ECG. Ceci pourrait alors être complété par une autre IA qui permettrait de **classifier si un segment ST du complexe QRS d'un l'ECG est anormal**. Dans ce cas, nous pouvons **prévenir les soignants** afin qu'ils puissent être prêt ou qu'ils **prodiguent les soins** avant même qu'une crise cardiaque ne se produise ce qui serait un grand plus pour la gestion des urgences et l'organisation des soignants.

3.3.3 L'utilisation de l'IA comme assistant médical

Comme nous l'explique les résultats des interviews, l'IA pourrait aider le personnel soignant en tant qu'assistant sur différents aspects.

D'une part **psychologiquement**, ce métier subissant une lourde charge mentale, notre algorithme pourrait **rassurer le médecin** dans son diagnostic ou le conseiller.

D'autre part l'IA pourrait aussi assister le médecin dans des tâches très complexes voire humainement impossible. Cette vision de l'IA en tant **qu'assistant** permettrait aux professionnels de se libérer de charges mentales tout en privilégiant le relationnel avec les patients, laissant les **tâches chronophages** à l'IA avant de les valider.

Enfin l'IA permettrait d'aider les zones géographiques catégorisées comme « **déserts médicaux** ». Ces zones décrivent des endroits où la **densité de professionnels** de la santé est bien **trop faible**. Comme nous l'indique le Docteur Gaspard D'Assignies, un médecin traitant pourrait, grâce à l'IA, avoir un **premier avis** concernant un aspect très spécifique comme la mammographie etc. Ceci permettrait aux « déserts médicaux » d'avoir un premier avis avant d'orienter les patients. Les patients y gagneraient en **temps**, en **coût** de déplacements et **éviteraient d'engorger** des spécialistes d'autres villes.

Afin de mieux comprendre comment nous pourrions implémenter un tel assistant j'ai choisi d'utiliser la **reconnaissance d'image** car très visuelle. Il ne sera pas question d'inventer une machine dépassant les capacités humaines mais de détecter sur des radiographies la possible présence de pneumonie. Ceci permettrait une meilleure prise de décisions du

radiologue ou bien le guider sur une partie de la radiographie qu'il n'aurait pas vu voir mal analysé.

Tout d'abord il faut comprendre quel type d'IA nous allons utiliser pour notre besoin. Parmi la grande diversité possible, nous allons choisir les *Convolutional Neural Networks (CNN)* ou **Réseau de Neurones Convolutif**. Les CNN sont une implémentation d'IA très efficace dans le champ de la « Vision par ordinateur » ou traitement d'images. Ils utilisent des opérations matricielles afin de réaliser le produit scalaire entre la représentation de l'image qu'à la machine et un filtre défini (détection des angles, de formes etc.). Plusieurs couches de filtres peuvent être superposés, permettant un résultat plus précis.

Dans une opération de convolution, l'algorithme va analyser l'image en choisissant une matrice (exemple 3x3) de toute l'image, faire le produit avec le filtre puis décaler aux 3x3 pixels suivants en fonction d'un pas défini (*stride*).

Afin d'appliquer ce procédé nous pouvons utiliser des librairies de deep-learning déjà reconnues. Dans cette démonstration technique nous allons utiliser :

- **Keras** : une librairie de **haut niveau**, c'est à dire qu'elle permet une **abstraction** des **couches plus profondes** qui sont moins accessibles. Cette librairie est spécialisée dans le deep-learning. Elle nous permettra de définir et gérer notre modèle.
- **Tensorflow** : une librairie **plus bas niveau** sur laquelle Keras se repose. Tensorflow **représente les calculs, l'exécution** du modèle etc.
- **Python** : un **langage de programmation** devenu référence en machine learning notamment par sa **simplicité, lisibilité** et ses **nombreuses librairies**.

Nous allons utiliser des données¹⁶ issues de l'hôpital de la ville chinoise Guangzhou. Il comporte **5,863 radiographies** du **thorax** au format jpeg de patient en service de **pédiatrie** âgés de 1 à 5ans. Les radios ont été analysées puis classées par deux radiologues puis vérifiées par un troisième. Elles sont donc catégorisées par « atteinte de pneumonie » ou « normale ». Le jeu de données est déjà découpé en trois sous jeux :

- **Train** : Il contient les images sur lesquelles l'IA va **apprendre**

¹⁶ <https://www.kaggle.com/paultimothymooney/chest-xray-pneumonia> accédé en mai 2020

- *Val (validation)* : Il contient les images permettant de **valider** notre modèle. Cette étape permet d'éviter *l'overfitting (surapprentissage)* ou *l'underfitting (sousapprentissage)*. Ces notions définissent un état dans lequel le modèle est **sur ou sous entraîné** et n'arrive plus ou pas à manipuler de nouvelles données – se basant trop ou pas assez sur les données de base.
- *Test* : Il contient les images qui **testeront** le modèle une fois entraîné à classer « normal » ou « atteint de pneumonie ».

Il est donc facile d'associer chaque sous jeu à des variables qui stockeront le chemin d'accès des images.

La prochaine étape est la définition de notre modèle (CNN). Pour cela nous allons utiliser la librairie Keras. Nous pouvons importer différentes fonctionnalités de la librairie de manière à les utiliser dans notre code. Dans le code ci-dessous (cf. Figure 25), nous importons la librairie puis l'API *Sequential* qui permet **la définition de couches** avant d'importer les couches que nous allons utiliser. Ces API nous permettent de définir très rapidement des types de couche sans devoir les recoder à chaque fois.

```
import keras
from keras.models import Sequential
from keras.layers import Conv2D
from keras.layers import MaxPooling2D
from keras.layers import Flatten
from keras.layers import Dense
```

Figure 25 Import des différents modules nécessaires dans le programme python

Nous pouvons dorénavant utiliser la librairie pour créer notre modèle de cette manière (cf. Figure 26) :

```
#CNN model
model = Sequential()

### Layers ###
#Convolution
model.add(Conv2D(32, (3, 3), activation="relu", input_shape=(64, 64, 3)))
#Pooling
model.add(MaxPooling2D(pool_size = (2, 2)))
# 2nd Convolution
model.add(Conv2D(32, (3, 3), activation="relu"))
# 2nd Pooling layer
model.add(MaxPooling2D(pool_size = (2, 2)))
# Flatten the layer
model.add(Flatten())
# Fully Connected Layers
model.add(Dense(activation = 'relu', units = 128))
model.add(Dense(activation = 'sigmoid', units = 1))
### End layers ###

# Compile model
model.compile(optimizer = 'adam', loss = 'binary_crossentropy', metrics = ['accuracy'])
```

Figure 26 Déclaration du réseau de neurones avec Keras

On déclare en première occurrence notre modèle en utilisant *Sequential*. Cela nous permet de **définir les couches** (layers) l'une après l'autre. Le modèle est composé de 7 couches dont :

- Des couches de convolutions (Conv2D) avec :
 - 32 filtres à appliquer sur l'image
 - Une matrice de 3x3
 - Une fonction d'activation, ici « relu » définit par $f(x) = \max(0, x)$. La fonction d'activation va permettre de transmettre ou non le message aux prochains neurones.
- Des couches d'unification (MaxPooling2D) qui permettent de conserver la valeur maximum du pas (*stride*) utilisé. On peut retrouver une représentation en annexe (cf. Figure 43)
- Une couche d'aplatissement (Flatten) qui permet de convertir la donnée d'un vecteur de matrices 2D en un format correct pour la couche *Dense*
- Des couches Dense qui sont des couches entièrement connectées. Ici nous les utilisons afin d'utiliser les fonctions d'activations « relu » ($f(x) = \max(0, x)$) et « sigmoïd »

$(\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}})$ pour la dernière couche et qui nous permettra de catégoriser si un patient est atteint de pneumonie.

Enfin une fois que nous avons l'architecture nous pouvons « compiler » notre modèle afin de le construire. C'est aussi à ce moment que nous pouvons préciser des options comme les **métriques** que nous souhaitons observer, l'**optimiseur** utilisé etc. Ici nous utilisons l'**optimiseur Adam** qui est un algorithme permettant **d'équilibrer les poids des neurones** (backpropagation) en très peu de temps. Si nous représentons les différentes couches nous pouvons obtenir une représentation comme sur la Figure 44.

Une fois notre modèle définit, il nous reste à **l'entraîner**. Il est à noter que nous pouvons réaliser d'autres étapes préalablement comme la **normalisation** ou la **modification** des images. Pour entraîner notre modèle, Keras nous permet, via son API, de le faire. On donne ainsi en paramètre de la fonction *fit* (cf. Code 5) :

- Le jeu de donnée sur lequel le modèle doit **apprendre**
- Le **nombre de données** utilisés pour chaque **époque**
- Le **nombre de fois** que nous **entraînons** le modèle sur les données
- Le **jeu de donnée** qui va **valider** si le CNN est bien entraîné
- Le **nombre de donnée** qui va **valider** le CNN

```
trained_model = model.fit_generator(  
    training_set,  
    steps_per_epoch = 163,  
    epochs = 1,  
    validation_data = valid_set,  
    validation_steps = 624)
```

Code 5 Entraînement du modèle CNN

Il est dorénavant possible de prédire avec notre CNN. Dans mon cas j'obtiens ~86% de précisions qui est un très bon résultat pour un modèle peu entraîné. Afin de classifier l'image nous pouvons la charger avec Keras en précisant bien une taille de 64x64 puisque notre modèle est entraîné sur ces dimensions. On transforme l'image en matrice de données afin de représenter la vision d'un ordinateur, puis nous pouvons prédire

le label correspondant. En partant du principe que *categories* dans le code en annexe (cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) est une liste des possibles labels où la position 0 correspond à « **normal** » et 1 à « **pneumonie** », nous pouvons directement retrouver le label en utilisant la valeur retournée par la prédiction comme index (dernière ligne de code).

Voici comment une des images du dossier de test ci-dessous (cf. Figure 27) peut être perçue par les différentes couches du CNN (cf. Figure 28 Radiographies visualisées par ordinateur (deux couches)).



Figure 27 Radiographie sous format jpeg, vision "humaine"

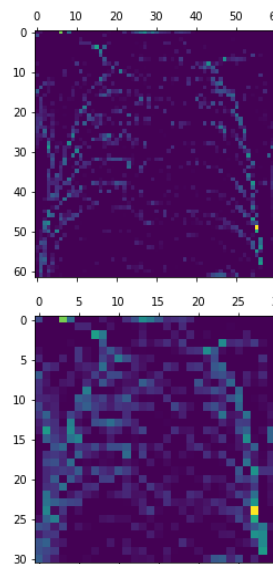


Figure 28 Radiographies visualisées par ordinateur (deux couches)

3.4 Analyse des résultats et des investigations

Les trois investigations techniques : **questionnaire**, **interview** et **démonstrations** techniques m'ont permis de me pencher sur différents aspects de l'IA. Que ce soit sur le **ressenti de la population**, de **l'avis de professionnels** de la santé ou par mes **propres tests techniques**. Je peux ainsi mieux comprendre les tenants de la **combinaison IA et médical** et ainsi en avoir un avis clair.

Tout d'abord l'IA montre qu'elle est un **véritable atout** au vu de son potentiel. Les projets que j'ai réalisés sont des POC mais permettent déjà de découvrir de **nouveaux cas d'utilisations**. Ces projets confirment donc que sur le plan technique l'IA serait très efficace. Or, cette technologie n'est peut-être **pas un remplaçant** de l'humain comme nous le voyons dans le questionnaire. Le panel ne souhaite **pas perdre le relationnel de l'humain** au dépit de

la machine. Point sur lequel je pensais qu'il pourrait être bien venu d'utiliser le relationnel de l'IA pour des problèmes très personnels, les personnes timides etc.

Au contraire, l'IA semble se **focaliser sur l'assistance** aux médecins, docteurs etc. L'interview relève que les infirmières ont des gestes très techniques où **l'IA ne serait pas utile**. On pourrait dans ce cas se questionner sur l'alliance entre **IA et robotique** afin de donner des gestes à la machine.

Durant mes recherches, j'ai aussi remarqué que beaucoup de maladie sont prises trop tard, ce qui dégrade la qualité des soins possibles. Via l'IA **l'autodiagnostic** serait plus accessible et permettrait donc une meilleure prise en charge. Un champ intéressant permettant à la fois un **gain de temps** aux professionnels, mais aussi une nouvelle forme de **dépistage**.

Ce gain de temps, qui pourrait être obtenu sur des tâches pénibles, chronophages ou simplement humainement compliquées, pourrait être réinvesti dans le **relationnel professionnels/patients**. Une demande qui est exprimée à la fois dans le questionnaire et l'interview. Je pense que ce point est important et pallierait les défauts trouvés pour le système médical.

D'un autre côté, après discussion avec d'autres professionnels de la santé non-interviewés dans mon mémoire, beaucoup s'accordent à dire que les **établissements hospitaliers recherchent une certaine rentabilité**. Je vois donc à cette volonté un réel point clef pour l'IA qui permettrait de **gérer, suivre, adapter** le besoin voire le **prévoir**. Il faudra cependant sélectionner les applications les plus utiles car l'utilisation de l'IA demandera de nouveaux coûts et de nouvelles ressources. Son utilisation peut être à la fois une **réelle opportunité** comme **un gouffre financier** si mal gérée.

En revanche, même si beaucoup de bonnes choses semblent venir avec l'IA, il me semble important de replacer le contexte. Le secteur du médical est un domaine à part entier puisqu'ici des vies sont en jeu. Il est donc important d'avoir une qualité irréprochable. En ce point, il me semble difficile d'avoir d'ici peu une émergence totale de l'IA dans le secteur du médical français. Car cela provoque une vague de questions cruciales pour la réussite de cette technologie. Actuellement aucune donnée médicale ne peut être détenu, ce qui est à l'opposé de la base d'une IA, devant se nourrir de données afin d'être apte. Comment pouvons-nous

gérer les **nouvelles lois** qui en découlent ? Qui pourrait être **tenu responsable** en cas de problème : le référent, les développeurs, l'établissement ? Une question à laquelle aucun choix ne s'est démarqué. Il existe un véritable **vide juridique** qui n'est pas anodin lorsque **des vies sont au cœur du sujet**.

L'IA fonctionne de pair avec les **objets connectés** mais ces derniers subissent de nouvelles vagues de **piratage**. Les données médicales étant une source sensible il semble aussi dangereux de lancer de nouveaux outils dont les failles pourraient être fatales (revente d'information, traçage, refus d'emploi sur critère médical.). Au moment de la rédaction de ce mémoire seulement 2% de la population française a activée le système StopCovid. Les nombreuses critiques visant la **vie privée** font peut-être parties de ce faible taux.

De plus, l'IA étant très puissante comme l'a démontré ces projets, il ne faut pas oublier qu'elle ne doit pas être sur utilisée. En effet, comme l'explique le Docteur Anne-Laure Boch dans la partie 2.3.2, on pourrait assister à de nouvelles générations de médecins qui se reposent trop sur l'IA, et ainsi avoir une **perte de connaissance** là où nous cherchons justement à l'améliorer.

Le point qui me semble être le plus cruciale est la conception même de ces algorithmes. Si l'IA est mal calibrée de base, alors les résultats ne seront absolument pas réalistes et risquent d'induire en erreur. Par exemple, dans le cas de l'arbre de décisions, si nous utilisons un maximum de feuilles (15) nous obtenons un **arbre trop basé** sur les données disponibles. Ce principe est valable pour tous les *overfitting* ou *underfitting* que nous avons vu lors des expérimentations. Si notre IA se base trop ou pas assez sur le jeu de données alors cette dernière sera de **mauvaise qualité**. On pourrait cependant se focaliser sur des notions permettant l'évaluation du modèle (**MSE, MAE** etc.).

On observe aussi des cas de **manipulation** ou de **piratage** sur certaines IA. Dans ce cas, le résultat peut être fatal car la **réponse** est totalement **biaisée** et ne représente plus la réalité. Parfois même avec une modification indétectable à l'œil humain. C'est un champ déjà largement questionné pour les voitures autonomes (afin qu'un panneau stop ne soit pas pris pour un autre panneau).

Dans cette optique nous pouvons aussi parler des **biais**. Car la différence du jeu de données est l'essence même de l'efficacité de notre algorithme. Si nous nous basons sur des

données en omettant une minorité ou un cas particulier de manière intentionnel ou non, **nous ne reproduisons alors plus la réalité**. Ces biais sont des facteurs très graves et difficiles à surmonter. Ils peuvent ainsi **discriminer** ou **favoriser** une **population ou ethnie** entière. L'IA pourrait être évaluée comme fiable or elle ne prendrait pas en compte l'ampleur que les biais pourraient apporter. Les biais sont donc un point décisif pour le bon fonctionnement de la technologie dans ce domaine en permettant une utilisation sans disparités.

Il faut ainsi pouvoir **représenter une société entière** composée d'un ensemble de **cas unique**. C'est dans cette optique que je pense que la population pourrait ou devrait participer à l'élaboration des IA par la possibilité de **dons de données** comme nous pouvons donner notre sang. Ceci permettrait de ne pas omettre une catégorie et d'avoir un panel très éclectique. Si l'IA arrive à atteindre cette diversité, alors nous aurons accès à **une médecine personnalisée** où le patient ne sera plus rangé dans une case mais bien considéré dans son intégralité. Ainsi, si nous nous demandons comment allier cette technologie avec le système médicale français actuel, de nombreuses dispositions sont à prendre.

Tout d'abord, l'IA est puissante si et seulement si elle est **maîtrisée entièrement**. Elle ne doit pas remplacer un être humain mais seulement imiter une de ses tâches. On revient donc à notre définition de base dans laquelle **l'IA n'est qu'une imitation de l'humain**. Il faudra pour cela réglementer la mise sur le marché des IA de ce domaine car des décisions sérieuses et vitales sont prises dans ce processus.

Pour que l'IA soit un allié aux soignants elle doit **devenir un outil**, une **extension du métier** mais non un remplaçant. Il s'agit de **l'utiliser raisonnablement** et en **toute compréhension**. **Aucune connaissance ne devrait être laissée au hasard** sous prétexte que l'IA peut le faire. L'Homme doit continuer d'apprendre et de délocaliser ses acquis sur cette aide sans pour autant l'oublier afin de ne pas perdre le savoir. Le soignant doit rester en validation de ce nouvel outil. Il doit pouvoir s'en **aider**, se **rassurer**, mais c'est à lui de **prendre la décision finale**.

Cette alliance permettrait des améliorations sur beaucoup de points : **condition de travail, prises en charges, rapidité, efficacité**. Mais elle permettrait aussi la découverte de nouvelles possibilités encore inconnues aujourd'hui. Elle doit se spécialiser à une application très concrète et en aucun cas remplacer le relationnel que peut avoir un soignant. L'humain à entièrement sa place dans le relationnel avec le patient et nous avons besoin d'empathie

humaine entre patient et soignant. Un patient doit être réconforté, compris, aidé, informé, soigné avec la compréhension et les mots d'un être humain. Dans ce sens, si nous utilisons l'IA comme outil afin d'économiser du temps sur des tâches chronophage, répétitives ou inadaptées alors ce temps pourrait être injecté dans de nouvelles perspectives comme le temps passé avec les patients. L'IA ne doit aussi être accessible. Elle doit être disponible via des services : télécoms, web etc. afin de donner une chance à tout le monde d'avoir la même expertise et d'éviter les déserts médicaux. Cette mise à disposition permettrait aussi une **meilleure prise en charge** afin d'effectuer un **effet de dépistage** et améliorer la qualité des soins. Pour que ce système soit cohérent il faut des utilisations et des créations contrôlés et vérifiés. Il faut qu'une IA soit apte à gérer le spectre de tous les patients potentiels, ce qui sous-entend d'avoir un jeu de données le plus enrichi possible sans pour autant dépendre d'autres pays dont les données pourraient ne pas être contrôlées. Une proposition serait alors de créer un **système national de dons de données**. Il serait utilisé dans des programmes de recherches rigoureusement validés afin de s'assurer qu'aucun biais n'est introduit et donne la même chance à tous. L'IA ne doit pas être utilisée dans chaque cas d'utilisation mais être réfléchie et utilisée quand le besoin est ressenti en tant qu'aide aux professionnels, leur permettant de **retrouver le contact avec les patients** et de s'assurer de la **qualité de la prise en charge**.

4 Conclusion

On peut ainsi conclure ce mémoire en affirmant que l'IA est un outil réellement efficace dont son aide pourrait être bénéfique aux nombreux acteurs du système médical. Que ce soit en gain de temps, en assistance, en prévision, en organisation ou encore en capacités humainement limitées...

L'IA a énormément avancé depuis ses premières apparitions, notamment avec le deep learning. De nouveaux projets émergent et permettent de réels avancés. On retrouve donc différentes utilisations de l'IA qui peuvent changer l'aspect de la santé. C'est notamment le cas pour les **classifications**, comme celles utilisées pour savoir si un patient est atteint d'une maladie ou non. Mais aussi les **prédictions** (ou régression) qui permettent de prévoir un résultat, voire des prédictions temporelles.

Dorénavant, des librairies comme **Keras** et **TensorFlow** permettent de façonner dans un premier temps le squelette d'une IA et ainsi avoir un prototype fonctionnel. De cette façon, le travail n'est pas directement sur la programmation de l'IA et des différentes couches mais plus sur son utilisation au sein d'un projet.

En revanche, même si cette technologie est de plus en plus accessible et mise en avant, elle reste faillible. En effet, plusieurs problèmes peuvent subvenir comme nous l'avons vu : **piratage**, **mauvaise qualité des données**, **surentraînement** et son inverse et **problème insolubles** (mur de Gödel). Cependant, un problème semble encore plus intéressant et révélateur de la complexité : les **biais**. Si notre donnée est intentionnellement ou non mal récoltées ou exploitées, alors des biais se forment faussant la réalité.

Aurélien Jean dans *De l'autre côté de la machine* : « un mauvais algorithme vous emmènera dans un monde virtuel qui représente incorrectement la réalité » (JEAN, 2020). Cette citation résume très bien ce que nous devons chercher à éviter à tout prix. **Une rupture entre la réalité et la représentation que nous en avons**. Ceci dans le but de pouvoir prendre en charge tout type de patients, ou de problème. C'est donc dans ce sens que l'IA pourra être un allié efficace au domaine de la médecine.

Ces problèmes sont primordiaux dans un domaine aussi exigeant que le médical. C'est pourquoi, il semble nécessaire de trouver une méthodologie afin de créer de nouvelles IA sûres et efficaces.

Nous pourrions atteindre une **nouvelle ère de la médecine** avec des progrès jusqu'à lors impossibles pour l'humain. C'est aussi une nouvelle voie pour voir émerger la médecine personnalisée en prenant en compte le patient dans son ensemble. C'est également l'occasion pour de nouveaux champs d'applications de se développer comme la **génomique** qui est l'étude du profil génétique d'un individu.

Il est clair que l'IA est encore à ses prémises et va **révolutionner** la façon dont le système médical fonctionne. L'IA est **vouée à être un outil et un assistant innovant et révolutionnaire dans son approche et sa puissance**. Pour l'instant, ce sont surtout des applications au niveau des médecins et spécialistes (notamment les plus visuels) qui sont les plus porteuses. Mais nous pourrions aussi tendre vers des utilisations plus techniques avec, par exemple, l'utilisation combiné de la robotique et de l'intelligence artificielle.

5 Bibliographie

- ČERKA Paulius, G. J. (2017). *Is it possible to grant legal personality to artificial intelligence software systems ?* Consulté le 03 10, 2020, sur sciencedirect: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0267364916301777>
- AARON, S. (2010, 08 10). *We Live in a Jungle of Artificial Intelligence that will Spawn Sentience*. Consulté le 01 22, 2020, sur singularityhub: <https://singularityhub.com/2010/08/10/we-live-in-a-jungle-of-artificial-intelligence-that-will-spawn-sentience/>
- ALEXANDRE, L. (2017). *La guerre des intelligences*. Lattès.
- ALWOSHEEL A., v. C. (2018). Is your dataset big enough? Sample size requirements when using artificial neural networks for discrete choice analysis. *Journal of Choice Modelling*, 167-182.
- Arte (Producteur), & LE MAIRE, J. (Réalisateur). (2019, 03 19). *Burn out aux urgences : immersion à l'hôpital* [Film]. Consulté le 02 22, 2020, sur Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=RRaqbhaXt4g>
- BEN-DAVID, S. (s.d.). Learnability can be undecidable. *Nature Machine Intelligence*, 1(1), 44-48.
- BOSTROM, N. (2003). When machines outsmart humans. *Futures*, 35, 759-764.
- BRACHMAN, R. J. (2006, 12 15). (AA)AI More than the Sum of Its Parts. *AI Magazine*, 27(4), 19.
- BUOLAMWINI J., G. T. (2020). *Intersectional Accuracy Disparities in Commercial Gender Classification*. Consulté le 02 21, 2020, sur PMLR: <http://proceedings.mlr.press/v81/buolamwini18a.html>
- CAMERON, A. (2016). MAPS: A Quantitative Radiomics Approach for Prostate Cancer Detection. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 63(6), 1145-1156.
- CAMPILLOS LLANOS, L. (2015). *Un système de dialogue pour dynamiser un patient virtuel*.
- CEYHAN M., O. Z. (2017). E-Medical Test Recommendation System Based on the Analysis of Patients' Symptoms and Anamneses. *Badnjevic A*, 62.
- CHOLLET, F. (2018). *Deep Learning with Python*. Manning Shelter Island.

- COLLAS, A. (2019, 07 30). *L'intelligence artificielle, nouvel outil pour faciliter le travail des avocats*. Consulté le 02 10, 2020, sur le monde: https://www.lemonde.fr/economie/article/2019/07/30/l-intelligence-artificielle-nouvel-outil-pour-faciliter-le-travail-des-avocats_5494947_3234.html
- COUDRAY, N. O. (2018). Classification and mutation prediction from non-small cell lung cancer histopathology images using deep learning. *Nature Medicine*, 24, 1559–1567.
- DETTMERS, T. (2018, 12 16). *A Full Hardware Guide to Deep Learning*. Consulté le 07 05, 2020, sur Tim Dettmers: <https://timdettmers.com/2018/12/16/deep-learning-hardware-guide/>
- ERICKSON Bradley, K. P. (2017). Machine Learning for Medical Imaging. *Radiographics*, 37(2), 505-515.
- Gènéthique. (2019). *Intelligence artificielle et médecine, le miroir aux alouettes ?* Consulté le 02 21, 2020, sur Génétique: <http://www.genethique.org/fr/intelligence-artificielle-et-medecine-le-miroir-aux-alouettes-71324.html>
- GOTTESMAN, O. e. (2019). Guidelines for reinforcement learning in healthcare. *Nature Medicine*, 25(1), 16-18.
- GRABER, M. e. (2005). Diagnostic error in internal medicine. *Arch Intern Med*, 165(13), 1493-1499.
- HAWKING, S. (2016, 10 19). *"The best or worst thing to happen to humanity" - Stephen Hawking launches Centre for the Future of Intelligence*. Consulté le 07 05, 2020, sur University of Cambridge: <https://www.cam.ac.uk/research/news/the-best-or-worst-thing-to-happen-to-humanity-stephen-hawking-launches-centre-for-the-future-of>
- HORNIGOLD, T. (2018, 04 06). *How Fast Is AI Progressing? Stanford's New Report Card for Artificial Intelligence*. Consulté le 07 05, 2020, sur Singularity Hub: <https://singularityhub.com/2018/01/18/how-fast-is-ai-progressing-stanfords-new-report-card-for-artificial-intelligence/>
- HUANG, S. e. (2018). Applications of Support Vector Machine (SVM) Learning in Cancer Genomics. *Cancer genomics & proteomics*, 15(1), 41–51.

- ILIFFE, S. M. (2003). Sooner or later? Issues in the early diagnosis of dementia in general practice: a qualitative study. *Family Practice*, 20(4), 376–381.
- Innov'Asso. (2018, 04 28). *L'intelligence artificielle au service de la santé : entre révolution et prudence*. Consulté le 02 22, 2020, sur Innov'Asso: <https://www.innovasso.fr/dossier/lintelligence-artificielle-au-service-de-la-sante-entre-revolution-et-prudence/>
- JACOB, H. e. (2019). AUTOMATIC POLYP DETECTION IN COLONOSCOPY – GENERAL COMPARISON OF SYSTEM AND VIDEO ANALYSIS STATISTICS. *ESGE Days 2019*.
- JEAN, A. (2020). *De l'autre côté de la machine*. L'Observatoire.
- JOUEN, F. (2018, 05 31). "L'intelligence artificielle a déjà un impact sur le vivant". (E. Cario, Intervieweur)
- KHOSRAVI, P. (2018). Deep Convolutional Neural Networks Enable Discrimination of Heterogeneous Digital Pathology Images. *EBioMedicine*, 27, 317-328.
- KHOSRAVI, P. K. (2018). Deep Convolutional Neural Networks Enable Discrimination of Heterogeneous Digital Pathology Images. *EBioMedicine*, 317-328.
- LE BOLZER, J. (2019). *Bernard Nordlinger : « La santé est l'un des premiers domaines d'application de l'intelligence artificielle »*. Consulté le 02 21, 2020, sur Les Echos: <https://www.lesechos.fr/thema/transformation-services-publics/bernard-nordlinger-la-sante-est-lun-des-premiers-domaines-dapplication-de-lintelligence-artificielle-1034588>
- LI, L. M. (2017). Study on specificity of colon carcinoma-associated serum markers and establishment of SVM prediction model. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 24(3), 644-648.
- MICROSOFT. (2017, 10 11). *L'intelligence artificielle révolutionne la médecine*. Consulté le 02 10, 2020, sur Microsoft experiences: <https://experiences.microsoft.fr/business/intelligence-artificielle-ia-business/intelligence-artificielle-medecine/>

- MILLER, A. (2019, 05 13). *The intrinsically linked future for human and Artificial Intelligence interaction*. Consulté le 07 05, 2020, sur Journal of Big Data: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40537-019-0202-7>
- MORDVINTSEV, A. (2015, 06 17). *Inceptionism: Going Deeper into Neural Networks*. Consulté le 02 10, 2020, sur [ai.googleblog.com](https://ai.googleblog.com/2015/06/inceptionism-going-deeper-into-neural.html): <https://ai.googleblog.com/2015/06/inceptionism-going-deeper-into-neural.html>
- NOUYRIGAT, V. (2018, 04 23). *I.A. : la faille inattendue*. Consulté le 03 12, 2020, sur SCIENCE&VIE: <https://www.science-et-vie.com/archives/i.a.-la-faille-inattendue-41754>
- PELACCIA, T. T. (2014). How and when do expert emergency physicians generate and evaluate diagnostic hypotheses? A qualitative study using head-mounted video cued-recall interviews. *Ann Emerg Med.*, 64(6), 575-585.
- RAFFRAY, M. (2019, 09 26). *Luc Julia: "L'intelligence artificielle généralisée ne pourra jamais exister avec les technologies actuelles"*. Consulté le 07 05, 2020, sur L'Opinion: <https://www.lopinion.fr/edition/economie/luc-julia-l-intelligence-artificielle-generalisee-ne-pourra-jamais-196394>
- RAJARAMAN, S. (2018). Pre-trained convolutional neural networks as feature extractors toward improved malaria parasite detection in thin blood smear images. *PeerJ*.
- SHINDE, A. K. (2017). Heart Disease Prediction System using Multilayered Feed Forward Neural Network and Back Propagation Neural Network. *International Journal of Computer Applications*, 166(7), 32-36.
- TURING, A. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, LIX, 433-460.
- VILLANI, C. (2018). *Donner un sens à l'intelligence artificielle*. Mission confiée par le Premier Ministre Édouard Philippe.
- XING, Y. e. (2007, 11 21-23). Combination Data Mining Methods with New Medical Data to Predicting Outcome of Coronary Heart Disease. 868-872.
- YU, K. e. (2016). Predicting non-small cell lung cancer prognosis by fully automated microscopic pathology image features. *Nature Communications*, 7(1).

6 Liste des figures et des annexes

AUCUNE ENTREE DE TABLE D'ILLUSTRATION N'A ETE TROUVEE.

CODE 1 CORRELATION ENTRE LES DONNEES, CUMUL DES JOURS	45
CODE 2 AJOUT D'UNE NOUVELLE COLONNE AFIN DE SIMULER LE TEMPS ENREGISTRE	49
CODE 3 DONNEES (ECG) SANS DONNEES TEMPORELLES.....	49
CODE 4 DONNEES (ECG) AVEC DONNEES TEMPORELLES	49
CODE 5 ENTRAINEMENT DU MODELE CNN.....	56
CODE 6 NORMALISATION DE LA DONNEE.....	E
CODE 7 PREDICTION ET LABELLISATION DU RESULTAT DU CNN	F
FIGURE 1 REPRESENTATION D'UN RESEAU DE NEURONES.....	11
FIGURE 2 REPARTITION DES VILLES DES REpondANTS	21
FIGURE 3 MOTS LES PLUS RECURRENTS CONCERNANT LA NOTION D'IA AU PANEL	22
FIGURE 4 CORRESPONDANCE ENTRE LE GROUPE D'AGE ET L'AFFIRMATION DE LA CITATION D'ELON MUSK	23
FIGURE 5 REPARTITION DES AVIS CONCERNANT L'ETAT DU SYSTEME MEDICAL FRANÇAIS.....	24
FIGURE 6 REPARTITION DE LA SATISFACTION DU SYSTEME MEDICAL FRANÇAIS.....	25
FIGURE 7 L'IA PEUT-ELLE ETRE UNE SOLUTION AUX DEFAILLANCES DU SYSTEME MEDICAL ?	26
FIGURE 8 L'IA POURRAIT-ELLE PALLIER LES DEFICITS DU SYSTEME MEDICAL (AVIS DES PROFESSIONNELS)	26
FIGURE 9 REPARTITION DE L'AUTODIAGNOSTIC DANS LE PANEL	27
FIGURE 10 REPARTITION DES REPONSES CONCERNANT LA CONSULTATION REALISEE PAR IA	27
FIGURE 11 MOTS FREQUEMMENT UTILISES PAR LE PANEL POUR DECRIRE LA FACILITE OU NON DE S'AUTODIAGNOSTIQUER.....	28
FIGURE 12 QUANTITE DE DONNEES POSSIBLEMENT PARTAGEABLE PAR LE PANEL.....	29
FIGURE 13 PEUR DU PIRATAGE AU SEIN DU PANEL.....	30
FIGURE 14 PEUR DU PIRATAGE MIS EN RELATION AVEC LE DON DE DONNEES POSSIBLE.....	30
FIGURE 15 CROISEMENT DES DONNEES ENTRE L'UTILISATION D'OBJETS CONNECTES ET LE DON DE DONNEES POSSIBLE.....	31
FIGURE 16 ARBRE DE DECISIONS (ANAMNESE) GENERE PAR MACHINE LEARNING SUR LES MALADIES CARDIAQUES	42
FIGURE 17 DONNEES DU COVID SANS CORRELATIONS	45
FIGURE 18 DONNEES DU COVID AVEC CORRELATIONS/APLATISSEMENT	45
FIGURE 19 REGRESSION LINEAIRE POUR LE COVID-19.....	46
FIGURE 20 REGRESSION POLYNOMIALE SUR LES NOUVEAUX CAS DE COVID	47
FIGURE 21 ZOOM SUR UNE PARTIE DE LA REGRESSION POLYNOMIALE DES NOUVEAUX CAS DE COVID	47
FIGURE 22 REPRESENTATION DE L'ECG AVEC DES DONNEES TEMPORELLES.....	49
FIGURE 23 VISUALISATION DE LA PERFORMANCE DU MODELE	51
FIGURE 24 PREDICTION ET VALEUR ACTUELLE D'UN ECG	51
FIGURE 25 IMPORT DES DIFFERENTS MODULES NECESSAIRES DANS LE PROGRAMME PYTHON.....	54
FIGURE 26 DECLARATION DU RESEAU DE NEURONES AVEC KERAS	55
FIGURE 27 RADIOGRAPHIE SOUS FORMAT JPEG, VISION "HUMAINE"	57

FIGURE 28 RADIOGRAPHIES VISUALISEES PAR ORDINATEUR (DEUX COUCHES)	57
FIGURE 29 REPRESENTATION DES IMPLEMENTATIONS DE RESEAUX DE NEURONES	A
FIGURE 30 EXEMPLE DE SVM AVEC UN SEUIL DIFFERENT (ET HYPERPLANE)	A
FIGURE 31 DIFFERENCE ENTRE PROGRAMMATION ET MACHINE LEARNING	A
FIGURE 32 REPRESENTATION SIMPLE D'UN NEURONE NATUREL.....	B
FIGURE 33 REPARTITION DU PANEL INTERROGE : HOMME / FEMME	B
FIGURE 34 DENSITE DE L'AGE DU PANEL.....	B
FIGURE 35 TAUX DE PROFESSIONNELS DE LA SANTE DANS LE PANEL INTERROGE.....	C
FIGURE 36 REPARTITION DE LA CONFIANCE EN L'IA PAR LE PANEL ET LES PROFESSIONNELS	C
FIGURE 37 REPARTITION DE LA CONNAISSANCE SUR LE SUJET DE L'IA DANS LE PANEL	C
FIGURE 38 REPARTITION DE LA CONNAISSANCE SUR LE SUJET DE L'IA AU SEIN DU PANEL EN FONCTION DE L'AGE	D
FIGURE 39 NUAGE DE MOTS CONCERNANT L'AVIS DU SYSTEME MEDICAL FRANÇAIS	D
FIGURE 40 REPARTITION DES DONNEES POSSIBLEMENT PARTAGEABLE PAR LE PANEL.....	D
FIGURE 41 REPARTITION DE L'USAGE DES OBJETS CONNECTES PAR TRANCHE D'AGE.....	E
FIGURE 42 EXTRAIT DES DONNEES DISPONIBLES (PATIENT N°181 INCLUS)	E
FIGURE 43 MAX POOLING, CONSERVATION DE LA VALEUR MAXIMALE	E
FIGURE 44 REPRESENTATION DES DIFFERENTES COUCHES DU CNN POUR LA PNEUMONIE.....	F

7 ANNEXES

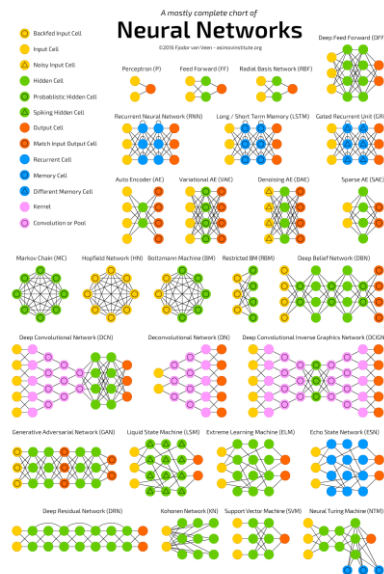


Figure 29 Représentation des implémentations de réseaux de neurones

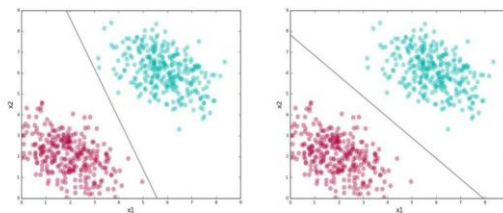


Figure 30 Exemple de SVM avec un seuil différent (et hyperplane)

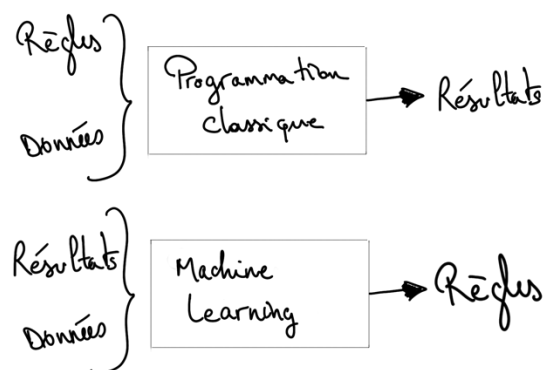


Figure 31 Différence entre programmation et machine learning

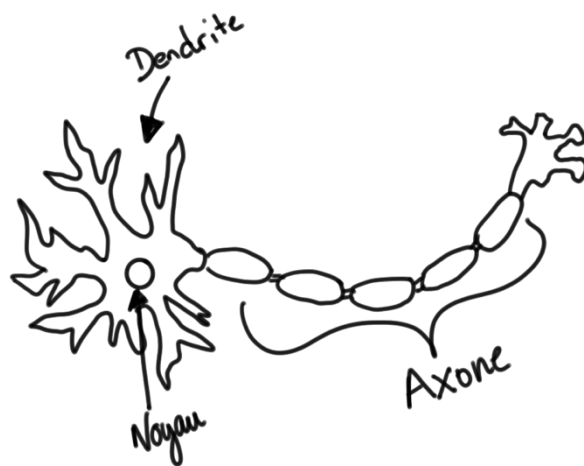


Figure 32 Représentation simple d'un neurone naturel

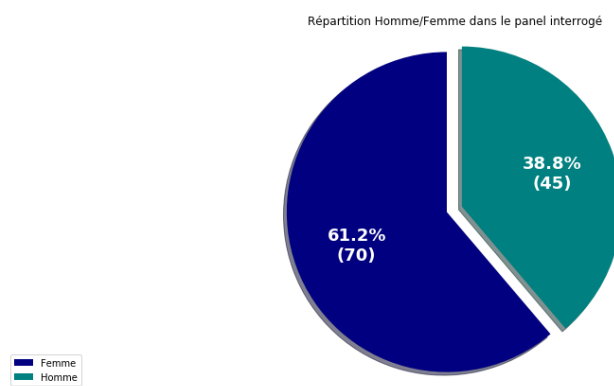


Figure 33 Répartition du panel interrogé : homme / femme

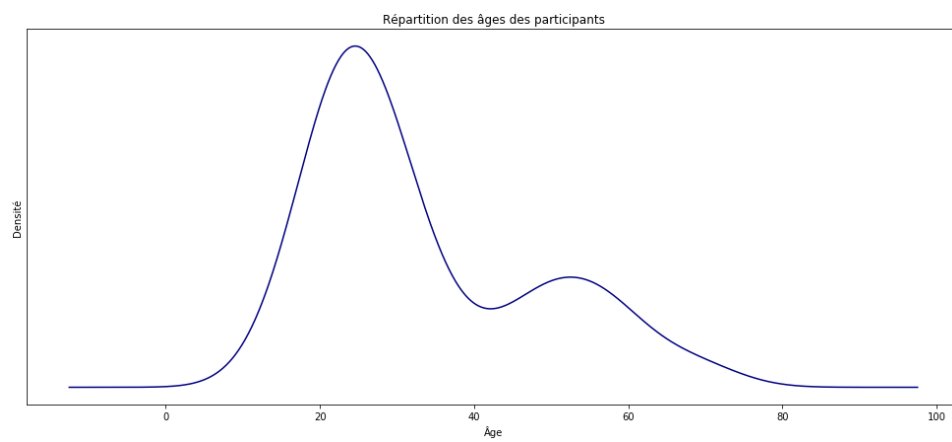


Figure 34 Densité de l'âge du panel

Répartition des professionnels de la santé dans le panel interrogé

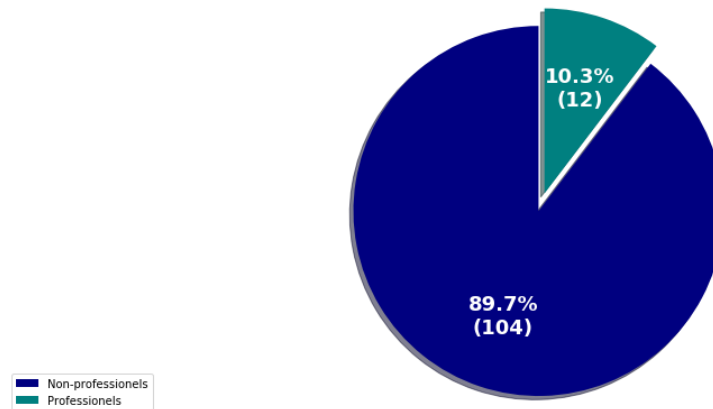
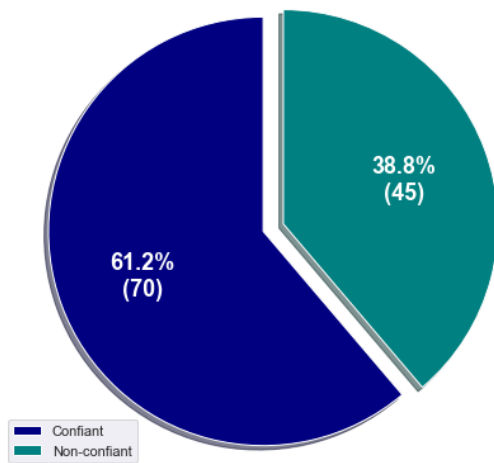


Figure 35 Taux de professionnels de la santé dans le panel interrogé

Répartition de la confiance en l'IA par le panel interrogé



Répartition de la confiance en l'IA par les professionnels de la santé du panel interrogé

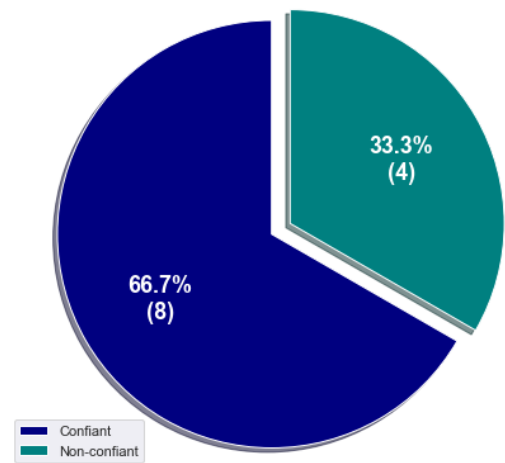


Figure 36 Répartition de la confiance en l'IA par le panel et les professionnels

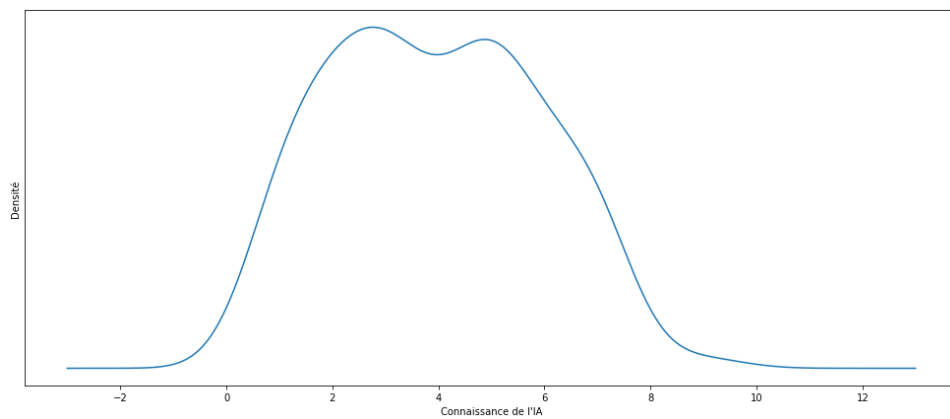


Figure 37 Répartition de la connaissance sur le sujet de l'IA dans le panel



Figure 38 Répartition de la connaissance sur le sujet de l'IA au sein du panel en fonction de l'âge



Figure 39 Nuage de mots concernant l'avis du système médical français

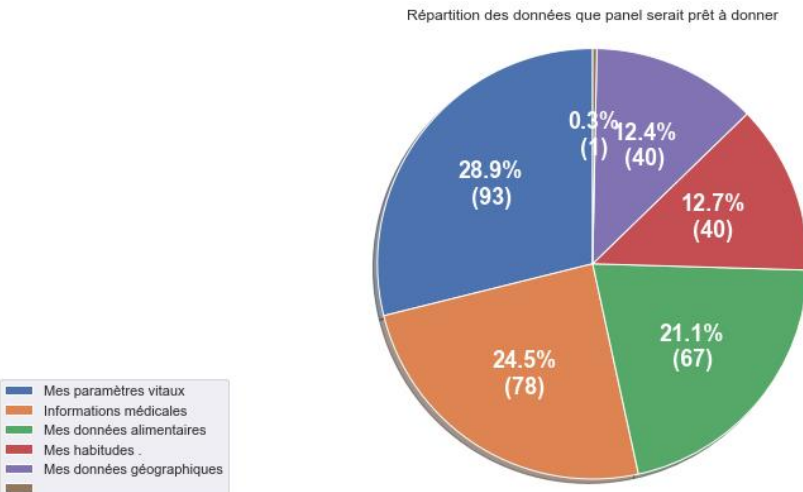


Figure 40 Répartition des données possiblement partageable par le panel

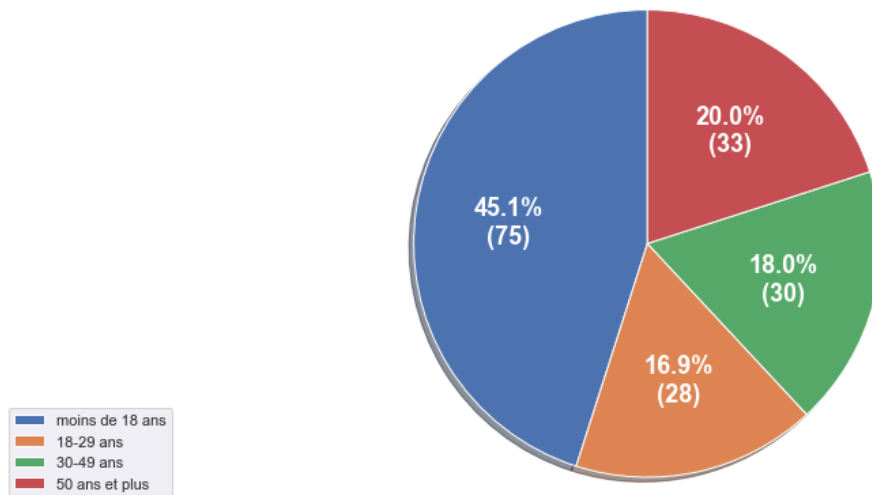


Figure 41 Répartition de l'usage des objets connectés par tranche d'âge

	age	sexe	douleur_thoracique	tension	cholesterol(mg/dl)	diabète?	ecg	max_freq_card	angine_exercice?	depression_ST_exercice_repos	pente_ST	nb_gd_vaisseaux	anémie	target
181	0	0	0	150	225	0	0	114	0	1.0	1	3	3	0
152	0	1	3	170	227	0	0	155	0	0.6	1	0	3	1
175	0	1	0	110	167	0	0	114	1	2.0	1	0	3	0
295	0	1	0	140	187	0	0	144	1	4.0	2	2	3	0
88	0	0	2	110	214	0	1	158	0	1.6	1	0	2	1

Figure 42 Extrait des données disponibles (patient N°181 inclus)

```
# normalize data between 0 and 1
scaler = MinMaxScaler(feature_range=(0, 1))
dataset = scaler.fit_transform(dataset)
```

Code 6 Normalisation de la donnée

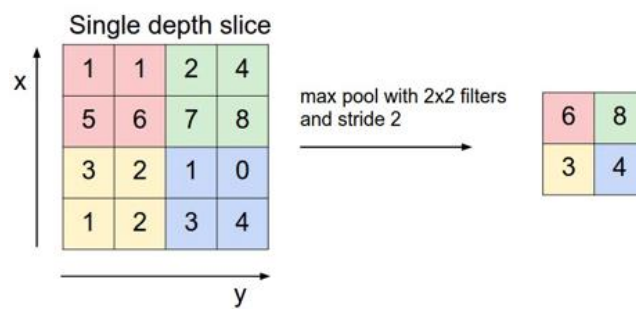


Figure 43 Max Pooling, conservation de la valeur maximale

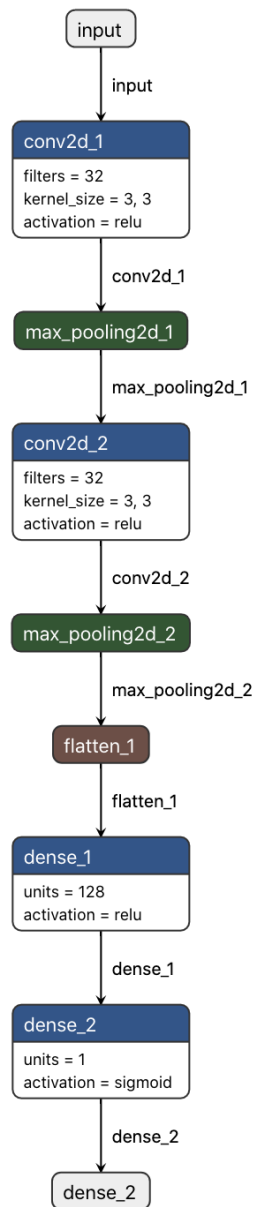


Figure 44 Représentation des différentes couches du CNN pour la pneumonie

```

## input_img = image to analyse
## categories = possible labels (NORMAL|PNEUMONIA)
img = image.load_img(input_img, target_size=(64, 64))
# map to array (computer vision)
x = image.img_to_array(img)
x = np.expand_dims(x, axis=0)
images = np.vstack([x])
# predict category
category = model.predict_classes(images, batch_size=10)
category_index = categorie[0][0]
print('The X-ray is considered to be : ', categories[category_index])

```

Code 7 Prédiction et labellisation du résultat du CNN

Questionnaire 1 Questions du questionnaire quantitative

Vous êtes :
Votre âge :
Votre ville :
Travaillez-vous dans le secteur du médical ?
Quel est votre connaissance de l'intelligence artificielle ?
Êtes-vous d'accord avec la définition ci-dessus ?
Êtes-vous en accord avec la citation ci-dessus concernant le danger de l'IA ?
Êtes-vous prêt(e)s à faire confiance à une intelligence artificielle ?
Selon vous l'IA pourrait-elle nuire à l'humanité ?
Utilisez-vous régulièrement des objets connectés (montres, lampes, balances...)
Quel terme(s) vous évoque l'intelligence artificielle ? (Merci de séparer vos termes par ';')
Pensez-vous que le système médical français est défaillant (ressources, techniques, organisation etc confondus) ?
Actuellement, avec la pandémie covid-19 pensez-vous que le système médical français est en défaillance (ressources, techniques, organisation etc confondus) ?
De par vos expériences, quel est votre ressenti concernant le système médical français ?
Pour vous ce ressenti se base sur :
Seriez-vous prêt(e)s à vous auto-diagnostiquer (reconnaître une maladie sans intervention d'un professionnel de la santé) ?
Avec le covid-19 seriez-vous davantage intéressé par l'auto-diagnostic ?
Serait-il plus facile pour vous de vous entretenir avec une IA plutôt qu'un Humain lors d'une consultation (médecin traitant, spécialiste..) ?
Pourquoi ?
Voyez-vous en l'IA une manière de pallier les déficits que le secteur du médical connaît (ex: manque de personnel, prise en charge)
Tout comme le don du sang et afin qu'une IA soit plus efficace face à certaines maladies ou sur certaines populations vous être prêt(e)s à donner :
Si vous souhaitez faire un don de vos données vous pourriez donner :
Le piratage de ces données vous effraie-t-il ?
Selon vous en cas de mauvais diagnostic, qui devrait être responsable ?