

CEDRIC CAUDRON

LE DIAGNOSTIC MÉDICAL ASSISTÉ PAR L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Jury composé de :

- Elisabeth METAIS (présidente du jury)
- Didier NAKACHE (responsable de formation)
- Fanny FIEVET (responsable CNAM Valenciennes)

ANNEE 2021/2022

le **cnam**
Hauts-de-France



Pour mon fils Corentin

Table des matières

REMERCIEMENTS	3
INTRODUCTION	4
1 L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE	5
1.1 CADRAGE ET DEFINITIONS	5
1.1.1 Le concept d'intelligence	5
1.1.2 L'intelligence : un mot galvaudé	6
1.1.3 Intelligence « naturelle » versus intelligence artificielle	7
1.1.4 Une partie intégrante des sciences cognitives	8
1.1.5 Conclusion	9
1.2 LES DIFFERENTS TYPES GENERAUX D'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE	9
1.2.1 L'intelligence artificielle faible (ANI)	9
1.2.2 L'intelligence artificielle forte	10
1.2.3 L'intelligence artificielle générale (AGI)	11
1.2.4 La super intelligence artificielle (ASI)	12
1.2.5 Petites précisions	12
1.2.6 Et le test de Turing dans tout ça ?	13
1.2.7 L'expérience de la chambre chinoise	15
1.2.8 En conclusion	16
1.2.9 Pour aller plus loin... ..	17
1.3 HISTOIRE DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE	18
1.3.1 Des origines remontant à l'Antiquité	18
1.3.2 Les mécanismes de raisonnement amenant à l'IA moderne	19
1.3.3 L'avènement de l'informatique et l'IA moderne	20
1.3.4 Et dans le futur ?	21
1.4 LES CATEGORIES D'ALGORITHMES UTILISES PAR L'IA	22
1.4.1 Les systèmes experts	22
1.4.2 Le Machine Learning	23
1.4.2.1 L'apprentissage supervisé	24
1.4.2.2 L'apprentissage non supervisé	25
1.4.2.3 L'apprentissage semi-supervisé	25
1.4.2.4 L'apprentissage par renforcement	26
1.4.3 Le Deep Learning	27
1.4.3.1 Le neurone artificiel	27
1.4.3.2 Les réseaux de neurones	28
1.5 DOMAINES D'APPLICATION	29
1.5.1 La reconnaissance d'images	29
1.5.2 L'IA au service de l'Art ?	30
1.5.3 La traduction automatique	31
1.6 AVANT D'ALLER PLUS LOIN... ..	32
2 LE DIAGNOSTIC MEDICAL ET L'IA	33
2.1 LE DIAGNOSTIC	33
2.1.1 Bref historique du diagnostic en médecine	33
2.1.2 Définition du diagnostic médical	35

2.1.3	La relation médecin-patient.....	35
2.2	L'ANAMNESE ASSISTEE PAR L'IA.....	37
2.2.1	L'assistant Anamnèse.....	37
2.2.2	Babylon Health.....	38
2.2.3	WeDoctor.....	38
2.2.4	Le projet LERUDI.....	40
2.3	L'EXAMEN PHYSIQUE ASSISTE PAR L'IA.....	42
2.3.1	IDx-DR : une inspection de l'œil pour un diagnostic spécifique.....	43
2.3.2	Examen cardiaque assisté par l'IA.....	44
2.3.3	L'examen dermatologique assisté par l'IA.....	46
2.3.4	L'examen de la parole pour détecter des troubles cognitifs.....	47
2.4	LES EXAMENS COMPLEMENTAIRES ASSISTES PAR L'IA.....	48
2.4.1	ProFound AI™ : Un outil pour le dépistage du cancer du sein.....	48
2.4.2	QMenta : Une plateforme spécialisée dans l'imagerie neurologique.....	49
2.4.3	xRblood : l'analyse de sang à domicile pilotée par IA.....	50
2.5	QUID DES SYSTEMES EXPERTS ?.....	51
2.6	SYNTHESE.....	52
3	CRAINTES, RESPONSABILITES ET ETHIQUE	53
3.1	LA PEUR D'ETRE REMPLACE	53
3.2	UN GROS ENJEU AUTOUR DE LA PROTECTION DES DONNEES	54
3.3	EN CAS D'ERREUR, QUI EST RESPONSABLE ?.....	55
	CONCLUSION GENERALE	56
	BIBLIOGRAPHIE	57
	TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	61
	GLOSSAIRE / ABREVIATIONS	63

Remerciements

Je souhaite adresser de très vifs remerciements aux personnes qui m'auront permis de mener à terme ce rapport pour le passage du probatoire au CNAM Valenciennes.

Je remercie les membres du jury, Elisabeth METAIS en sa qualité de présidente, Didier NAKACHE en tant que responsable de formation, et Fanny FIEVET en sa qualité de responsable du CNAM de Valenciennes, pour leur implication dans cet examen, la lecture attentive de ce rapport et leur présence lors de la soutenance prochaine.

Mes remerciements au centre CNAM de Valenciennes pour leur disponibilité et leur implication pour répondre à nos différentes interrogations.

De façon plus personnelle, je tiens à remercier ma compagne Magalie HABALI qui, malgré qu'elle soit totalement profane dans le sujet a fait l'effort de le lire pour me donner son avis.

Un grand merci également à Vincent BROCHETON, ex-collègue de formation, et sa compagne Lehna, qui ont pris le temps également de lire ce rapport et me donner, pour Vincent, son avis en tant que développeur et Lehna pour celui en tant que profane.

Je suis très reconnaissant également envers Cédric DEBAISIEUX, collègue de formation, avec qui, ayant des thèmes similaires, j'ai échangé des avis instructifs et des sources lorsque l'on en trouvait qui se prêtaient mieux au thème de l'autre.

Un grand merci également à mon employeur CGI Finance et toute mon équipe, en particulier Laurent BOUDET, Benjamin SCHMIDT et Jawad CHAHED pour leur confiance réitérée.

D'une manière plus générale, je souhaite remercier le centre VALAREP de Valenciennes, représenté par Emmanuel DAVID, et tous les formateurs dont Frédéric GILLARD, David RIEHL, Patrice GAHIDE, Cécile LEGRAND et Arnaud HARBONNIER qui m'auront bien accompagné ces deux dernières années et sans qui je ne serai pas là actuellement.

Et enfin, j'adresse un remerciement spécial à Mr HUMERY, psychologue à Douai, qui, bien avant ma reconversion, m'aura mis sur la voie d'une reprise d'études en informatique et sans qui rien n'aurait été possible...

Introduction

Il y a une vingtaine d'années, alors que j'étais jeune étudiant en IUP Génomique et Protéomique à l'Université de Lille 1, je suis tombé malade. Rien de grave, mais cela m'a amené à consulter un médecin que je ne connaissais pas, et que d'ailleurs je n'ai jamais revu ensuite.

Au cours de la consultation, alors que nous discussions de choses et d'autres, il a commencé à me dire ceci :

« De toute façon, d'ici 20 ans mon métier n'existera plus. On mettra les patients dans une machine qui leur dira ce qu'ils ont, et voire les guérira directement sur place ».

Cette anecdote, enfouie au plus profond de ma mémoire, m'est réapparue soudainement lors de la rédaction de ce rapport. La mémoire est une chose étrange parfois...

Il n'avait pas fait allusion directe à l'Intelligence Artificielle, mais sa « machine » d'évidence doit en embarquer une. Et de plus, présentée comme cela, c'est elle qui effectue les diagnostics et même au-delà.

Je me suis donc posé la question, 20 ans après, et donc à l'échéance du délai qu'il m'avait donné: est-ce que, et le cas échéant, jusqu'à quel point sa prédiction est-elle exacte ? En me limitant à la partie diagnostic.

Pour répondre à cette question, je ferai tout d'abord un tour d'horizon de l'IA, ses définitions, ses types ainsi les différentes techniques de mise en œuvre.

Dans un deuxième temps, j'aborderai un bref descriptif et historique des méthodes amenant à un diagnostic.

Le point suivant concernera des exemples existants d'applications utilisant l'IA pour aider à l'établissement de diagnostics médicaux.

Et enfin, j'évoquerai différents problèmes éthiques et légaux qu'engendre et / ou engendrera l'utilisation de l'IA dans le domaine du diagnostic médical.

1 L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

1.1 Cadrage et définitions

1.1.1 Le concept d'intelligence

Qu'est-ce que l'intelligence ?

Cette question, d'apparence anodine, est en fait bien plus complexe qu'il n'y paraît. En effet, il existe des dizaines de définitions de ce concept, suivant les cultures, les époques, ou même les différentes philosophies.

D'un point de vue scientifique, il n'existe aucun consensus quant à une définition unique de l'intelligence [1]. Donc, en son absence, je vais me baser sur la définition suivante, qui est communément admise.

« L'intelligence est l'ensemble des processus retrouvés dans des systèmes, plus ou moins complexes, vivants ou non, qui permettent de comprendre, d'apprendre ou de s'adapter à des situations nouvelles. » [2].



Figure 1 - Les 9 types d'intelligences selon Howard Gardner

Pour aller plus loin, dans le cas spécifique de l'intelligence humaine, il existe la célèbre théorie des intelligences multiples d'Howard Gardner, qui dénombre 9 types d'intelligences que tout humain posséderait [3]. Néanmoins, elle est très critiquée car elle n'est pas validée par les recherches expérimentales [4].

1.1.2 L'intelligence : un mot galvaudé

Afin de tenter de donner une définition la plus précise possible à l'intelligence artificielle, il est nécessaire de bien cadrer le sujet.

Ainsi, il faut faire bien attention à de nombreux abus de langage concernant des objets dit « intelligents » qui ne correspondent pas du tout à la définition citée précédemment.

En effet, sont entrés dans le langage courant des expressions comme « feu tricolore intelligent », « compteur intelligent », « radar intelligent », mais qui reposent sur des algorithmes déterministes, c'est-à-dire qu'ils vont réagir à des conditions déterminées par avance mais ils ne sont en aucun cas auto-évolutifs en comprenant, apprenant ou s'adaptant par eux-mêmes.



Figure 2 - Feu adaptatif

Pour reprendre les exemples cités plus haut, le feu tricolore n'est pas intelligent mais adaptatif.

Le compteur électrique (comme Linky) n'est pas intelligent mais communiquant.

Le radar routier n'est pas intelligent mais discriminant.

Ainsi, il faut bien avoir en tête que pour considérer un système comme étant intelligent, il doit :

- être capable d'apprendre
- être capable de s'adapter
- ne reposer sur aucune prédétermination

En appliquant ce raisonnement à l'Intelligence Artificielle, une définition de Jean-Louis Laurière correspond bien : « Tout problème pour lequel aucune solution algorithmique n'est connue, relève à priori de l'intelligence artificielle » [5]. En considérant l'algorithme ici comme « toute suite d'opérations ordonnées, bien définies, exécutables sur un ordinateur actuel et qui permet d'arriver à la solution en un temps raisonnable ».

1.1.3 Intelligence « naturelle » versus intelligence artificielle

« Beaucoup de gens, lorsque l'on parle d'intelligence artificielle, se focalisent sur intelligence, alors que le mot important ici est artificielle ». [6]



Figure 3 - Compagnon émotionnel Buddy

Comme le souligne Didier Nakache lors de sa conférence Mensa sur l'IA à Dijon en 2018, il peut exister des systèmes artificiels (robots, algorithmes etc.) qui correspondent à la définition de l'intelligence vue précédemment, qui peuvent réagir en apparence de la même façon que les systèmes naturels (comme l'Homme), mais qui n'ont pour autant rien à voir dans leur fonctionnement. En effet, par exemple, il est possible de faire représenter des émotions par un robot (exemple : le compagnon émotionnel « Buddy » [7]), mais il n'est pas possible (pour l'instant ?) de lui faire réellement ressentir ces émotions.

Ce qui nous amène à une première définition possible de l'IA, qui, selon Marvin Lee Minsky, cogniticien et précurseur de l'IA, est « la construction de programmes informatiques qui s'adonnent à des tâches qui sont, pour l'instant, accomplies de façon plus satisfaisante par des êtres humains car elles demandent des processus mentaux de haut niveau tels que : l'apprentissage perceptuel, l'organisation de la mémoire et le raisonnement critique » [8].

La distinction des deux « intelligences » est donc importante, car ne pas le faire pourrait attribuer à l'IA des comportements humains alors qu'il n'y a pas lieu d'être.



Figure 4 - "Suicide" d'un robot de surveillance à Washington

Par exemple, un fait divers du 17 juillet 2017, mettant en scène un robot de surveillance tombé dans une fontaine, est relayé par divers médias avec des titres racoleurs (par méconnaissance, ironie ou provocation ?) annonçant son « suicide » [9]. Comportement humain qui, par définition, est lié à des émotions... Donc ce n'est pas ce qu'il s'est réellement passé, mais une panne diverse aura provoqué sa chute... Le problème dans ce genre d'information sensationnaliste, c'est qu'elles peuvent faire des ravages sur un grand public bien souvent mal informé.

1.1.4 Une partie intégrante des sciences cognitives

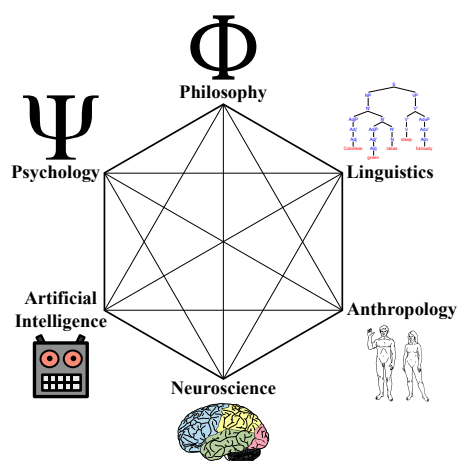


Figure 5 - Les différents domaines des sciences cognitives

L'IA fait partie intégrante de ce que l'on appelle les sciences cognitives. Les sciences cognitives sont également difficilement définissables [10] mais je retiendrai la définition de Gérard Vergnaud, comme un « vaste archipel de disciplines (psychologie, informatique, neurobiologie, linguistique, etc.) dont la coopération devrait permettre d'élucider les processus de la connaissance ». [11]

Il peut, de prime abord, paraître étonnant que l'IA puisse faire partie de cet ensemble qui ont pour sujet d'étude tout ce qui se rapporte à la pensée, au cerveau humain. Mais, en y réfléchissant, on peut se dire que l'IA va s'appuyer sur ces sciences afin d'arriver à ses fins, et voire à y faire des découvertes, d'où la « coopération » dans la définition.

Le biomimétisme est donc une part importante dans l'IA. En effet, comme dans d'innombrables domaines (sciences, architecture etc.) l'Homme va copier la Nature afin d'arriver à ses fins. Et dans ce cas (nous approfondirons plus loin), il va tenter copier le fonctionnement du cerveau humain, non seulement pour aboutir à une forme d'intelligence artificielle, mais aussi pour tenter de comprendre de façon plus approfondie le fonctionnement du cerveau lui-même.

Ainsi, suivant cette approche, nous pouvons définir l'IA comme « des dispositifs simulant les processus cognitifs humains, ce qui conduit à définir l'intelligence comme la capacité à capter des informations, les stocker, les traiter et utiliser le résultat de ces traitements pour éventuellement déclencher une action » [12].

1.1.5 Conclusion

Il est donc difficile de définir précisément l'Intelligence Artificielle. C'est une notion qui, suivant les approches ou le public concerné, peut avoir nombre de définitions plus ou moins précises.

Néanmoins, le principal selon moi serait de retenir que l'IA :

- ne se repose pas sur un algorithme déterministe
- doit être capable d'apprendre par elle-même
- doit être capable de traiter les informations apprises
- doit être capable de s'adapter en fonction des résultats de ses traitements

1.2 Les différents types généraux d'intelligence artificielle

1.2.1 L'intelligence artificielle faible (ANI)

Le premier type d'intelligence artificielle est dit faible.



Figure 6 - Plateau jeu de Go

Il s'agit en fait d'IA qui « se contentent de simuler des facultés cognitives spécifiques comme la reconnaissance de la parole, la compréhension du langage naturel » [13].

Par exemple en 2016, AlphaGo, une IA développée par DeepMind (rachetée par Google en 2014), bat le champion du monde du jeu de Go, réputé pour être le plus difficile jeu pour une IA en raison de sa complexité [14]. En effet,

approximativement, la taille de l'arbre des possibilités du jeu de Go est d'environ 10^{600} [15].

Cette IA est donc très performante dans son domaine. Mais il ne faut pas lui demander d'exécuter une quelconque autre tâche sans intervention humaine : elle en sera totalement incapable !

1.2.2 L'intelligence artificielle forte

Le deuxième type d'IA est dite forte.

Contrairement à l'IA faible qui va se concentrer uniquement sur une seule tâche spécifique, l'IA forte va pouvoir analyser, apprendre, et prendre des décisions plus complexes. Jusqu'à simuler le comportement d'un humain capable.

Un exemple parlant de cette IA forte est la voiture autonome. [16]

En effet, la voiture autonome doit être capable d'analyser son environnement (grâce à différentes caméras et capteurs), d'analyser son état à l'instant présent (je

roule à x km/h sur telle voie), afin d'ajuster au mieux son état futur pour éviter tout accident (éviter un obstacle, freiner, tourner, activer les phares, accélérer etc...).

La voiture autonome est en quelque sorte une synthèse de plusieurs types d'apprentissages différents fait par la machine, et avec lesquels elle doit apprendre à prendre en toute circonstance la bonne décision, en évaluant, à la manière d'un conducteur humain, l'infinité de situations auxquelles elle pourra être confrontée.

C'est le type d'intelligence artificielle le plus abouti à ce jour, et nous n'en sommes qu'au début. En effet, rien que sur les voitures autonomes, encore beaucoup de travail est nécessaire pour atteindre un comportement similaire à un conducteur humain [17].

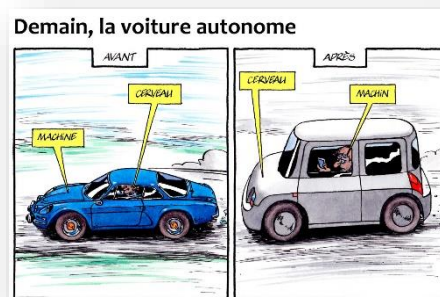
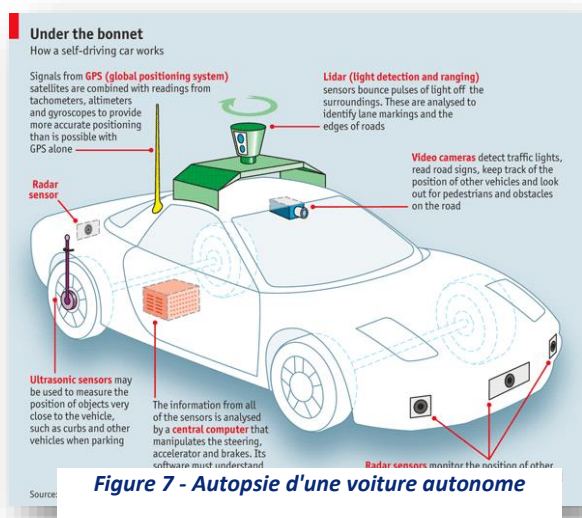


Figure 8 - La voiture avant vs après
Dessin de Vincent L'Épée paru dans L'Express, Neuchâtel

1.2.3 L'intelligence artificielle générale (AGI)

Avançons maintenant dans le futur avec l'IA générale.

L'IA générale peut être décrite comme une intelligence artificielle reproduisant toutes les facultés cognitives de l'Homme.

Ainsi, nous parlons ici d'une machine ayant une conscience, ressentant des sentiments, et qui, dans sa forme la plus aboutie, sera capable de créer elle-même des IA.

Certaines recherches vont déjà dans ce sens mais restent assez rudimentaires, comme une expérience d'un chercheur de chez Uber qui fait en sorte qu'une petite IA se développe elle-même sur un parcours d'obstacles [18].



Figure 9 - Les aventures de Pinocchio

Comme exemple plus parlant de ce que je considère comme une intelligence artificielle générale, j'aime donner Pinocchio [19].

En effet, si l'on fait abstraction du côté magique du conte, nous pouvons qualifier ce pantin comme une machine dotée d'une IA générale.

Après sa création, il a une conscience, des sentiments, comme un enfant humain. Il va devoir faire ses choix, ses erreurs, et apprendre d'elles afin de devenir un véritable enfant.

Ce conte a d'ailleurs très largement inspiré le film « A.I. » de Steven Spielberg, dans lequel la marionnette de bois est remplacée par un enfant robot capable de véritables sentiments (et non une simulation de ces sentiments, la distinction est bien faite dans le film), qui va faire un apprentissage de la Vie similaire à Pinocchio [20].

C'est avec ce type d'intelligence que la distinction entre intelligence artificielle et naturelle (comme définies plus haut) s'estompera.

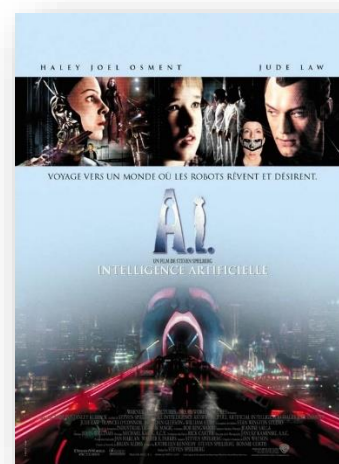


Figure 10 - Affiche du film A.I.

1.2.4 La super intelligence artificielle (ASI)

La dernière catégorie d'IA est donc la super intelligence artificielle.

On parle ici d'une IA qui surpassera l'Homme en tout point.

Elle naîtra spontanément, et apprendra spontanément dans tous les domaines imaginables.

Il est encore, à ce jour, difficile de savoir ce que pourrait donner une telle IA. Si nous serions capables de la contrôler en premier lieu. Si elle décidait un jour que l'Homme est néfaste pour elle, qui l'empêcherait de nous détruire ?

Ce sont encore des scénarios de science-fiction, mais qui sont très sérieusement envisagés par de nombreuses personnalités.



Figure 11 - Logo de la machine fictive Skynet

D'après Stephen Hawking, « la création d'une intelligence artificielle serait le plus grand événement de l'histoire de l'humanité. Mais il pourrait aussi être l'ultime. » [21]

Un exemple de cette super-IA pourrait être Skynet. Le principal antagoniste de la série de films « Terminator ».

1.2.5 Petites précisions

Il est nécessaire selon moi ici d'apporter une petite précision.

En effet, il existe apparemment deux écoles quant à la distinction de ces types. D'un côté, celle où, comme décrit précédemment, on fait la distinction entre l'IA forte et l'IA générale, et celle où l'on considère l'IA faible comme toute intelligence sans conscience. Ainsi, dans ce deuxième cas, il n'y aurait que l'IA faible d'un côté et l'IA forte de l'autre.

John Searle [22] est le premier à introduire la distinction entre IA faible et forte, en cherchant à contredire le test de Turing avec l'expérience dite de la chambre chinoise [23]. Ainsi pour John Searle, il n'y a que la distinction entre IA faible et forte, et il cherche à démontrer que la limite entre les deux n'est pas conditionnée par la réussite au test de Turing.

Mais... Qu'est-ce que le test de Turing ?

1.2.6 Et le test de Turing dans tout ça ?

S'il existe personnalité ô combien importante dans le domaine de l'IA, et dont je n'ai pas encore parlé, c'est bien Alan Turing, mathématicien et cryptologue britannique, qui, par ses travaux, fonde scientifiquement l'informatique.

« Can machines think ? » [24]

Cette célèbre question d'Alan Turing est celle qui l'amènera à proposer un jeu d'imitation (qui deviendra le test de Turing par la suite), visant à déterminer l'intelligence d'une machine.

Le principe de ce test est de mettre un humain « interrogateur » en confrontation verbale avec deux interlocuteurs, une machine et un autre humain.

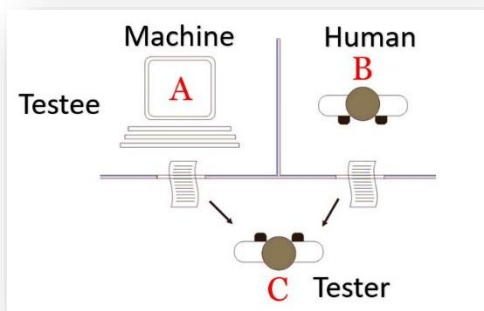


Figure 12 - Schéma test de Turing

Le but pour l'interrogateur sera, après un certain temps, de distinguer qui est la machine de l'autre humain.

Le but pour la machine sera de répondre de la manière la plus humaine possible.

Le test est donc considéré réussi si l'interrogateur ne peut déterminer qui, des deux interlocuteurs, est l'humain et la machine.

Dans une dernière version du test, l'interrogateur est remplacé par un jury, et dans ce cas la machine doit convaincre le plus de membres possibles du jury qu'elle est humaine [25].

```
#####
EEEEEEE L      IIIIIII ZZZZZZZ      AAA
E      L      I      ZZZZZZZ      A A
E      L      I      ZZZZZZZ      A A
E      L      I      ZZZZZZZ      A A
E      L      I      ZZZZZZZ      A A
E      L      I      ZZZZZZZ      A A
EEEEEEE LLLLLLL IIIIIII ZZZZZZZ      A A
#####
ELIZA > (PLEASE TYPE IN ALL CAPS) WHAT'S YOUR NAME DEAR ?
AMIT
ELIZA > HI, I'M ELIZA. WHAT DO YOU WANT TO TALK ABOUT ?
AMIT > CAN I TALK ABOUT MY PROBLEM ?
ELIZA > SURE.
AMIT > DUE TO ON GOING EXAMS IN COLLEGE, I HAVE A LOT OF STRESS.
ELIZA > PLEASE RELAX A LITTLE. SLEEP WELL.
AMIT > THANKS FOR YOUR ADVICE.
ELIZA > NO MENTION.
AMIT > BYE
ELIZA > BYE AND KEEP IN TOUCH...
```

Figure 13 - Le programme Eliza

Le test a été passé avec réussite pour la première fois en 1966 par le programme ELIZA. Néanmoins, on ne peut le considérer comme intelligent car basé sur des mots clés, et que si aucun mot clé n'était trouvé, il répondait de manière générique.

Aujourd'hui, de nombreux chatbots sont capables de tromper leurs interlocuteurs. Moi-même il m'arrive régulièrement de me poser la question lorsque j'en utilise...

Ainsi, pour faire le lien avec les différents types d'IA vus précédemment, on ne peut pas utiliser le test de Turing pour classer tel quel une IA.

En effet, le test déjà ne s'applique qu'à de l'imitation d'une conversation humaine écrite. Sans que la machine ait pour autant une conscience ou ne soit intelligente selon la définition que nous avons établie plus haut, et cela en feignant l'ignorance selon des règles qui peuvent être déterministes (utilisation de mots clés).

De plus, actuellement, l'objectif du passage du test par les chercheurs en IA n'est rien de plus qu'une « distraction ». Car considéré comme relativement inutile : « Les chercheurs en IA ont consacré peu d'attention à passer le test de Turing » [26].

D'ailleurs, Alan Turing lui-même n'a jamais eu l'intention que son test soit utilisé pour déterminer l'intelligence d'une machine. Son but était de donner un exemple clair et compréhensible pour alimenter les discussions sur la philosophie de l'IA. Ainsi, à la question qu'il a lui-même posé « Can machines think ? », devant l'impossibilité pour lui de définir précisément les termes « machine » et « penser », il a affirmé qu'« au lieu de m'essayer à une telle définition, je remplacerai la question par une autre, qui lui est étroitement liée et qui est exprimée en des termes relativement non ambigus ». L'autre question dont il fait allusion étant l'exposé du jeu de l'imitation [24].

1.2.7 L'expérience de la chambre chinoise

Brièvement ici je vais expliquer ce qu'est l'expérience de la chambre chinoise, contre argument (critiqué lui aussi [27]) du test de Turing.

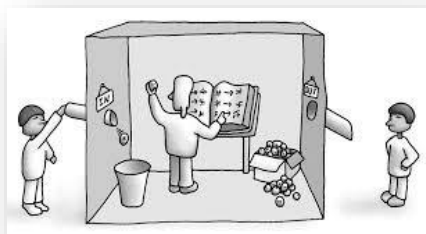


Figure 14 - La chambre chinoise

« Dans cette expérience, deux interlocuteurs chinois communiquent ensemble en chinois par le biais d'une pièce dans laquelle se trouve un intermédiaire. Les messages écrits sont pris, ouverts et lus par l'intermédiaire qui n'a aucune connaissance de la langue chinoise. Mais ce dernier a accès à un manuel de règles détaillant quel symbole renvoie vers quelle réponse. Il associe alors une phrase donnée en chinois à une autre phrase correspondante en chinois, qui constitue une réponse à une question posée.

Les deux interlocuteurs chinois vont avoir l'impression de communiquer correctement, puisque le manuel permet de couvrir toute la logique du langage. Ils ne vont pas s'apercevoir que l'intelligence intermédiaire ne comprend pas ce qu'elle lit et dit, et ne fait que suivre des règles prédéterminées. »

Ceci pose donc la question de l'intentionnalité dans l'IA. En effet, selon John Searle, une IA forte (dans le sens d'IA générale selon mes définitions précédentes, donc consciente) serait impossible, car les symboles qu'elle manipule n'aurait aucun sens pour elle. Et l'imitation d'un comportement intentionnel ne pourrait pas lui donner ce sens.

Donc, selon John Searle, le test de Turing serait insatisfaisant car il ne permettrait pas de distinguer l'intelligence intentionnelle de l'intelligence non intentionnelle [22].

1.2.8 En conclusion

Comme pour la définition même de l'IA, réussir à déterminer ses différents types n'est pas chose aisée. De plus, ce que j'ai présenté n'est pas une vérité absolue, et mon approche peut être critiquable.

En effet, suivant les sources, certains ne font pas de distinction entre l'IA forte et l'IA générale et les englobe dans une seule et même catégorie... Ou alors, certains préféreront placer les machines conscientes dans l'IA forte plutôt que dans l'IA générale.

Mais néanmoins, personnellement, je trouve que ce découpage est logique, compréhensible et qu'il propose une délimitation assez précise des possibilités de chaque type

d'IA, en donnant des objectifs clairs pour le passage d'une catégorie à une autre.

Enfin, ce n'est également qu'une approche possible pour déterminer une classification : basée sur les aptitudes. Une autre approche serait de les classer par fonctionnalité.

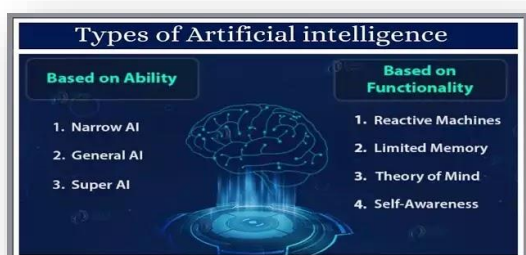


Figure 15 - Deux approches possibles pour la classification

1.2.9 Pour aller plus loin...

Pour donner un aperçu du type de classement par fonctionnalité, je vais rapidement les énumérer [28] ici en conclusion de cette partie.

- **Les machines réactives** : ce sont des machines qui perçoivent en temps réel le monde et réagissent en fonction de l'environnement. AlphaGo, vu plus haut, en est un exemple.
- **Les machines à mémoire limitée** : elles ont les mêmes capacités que les machines réactives à ceci près qu'elles peuvent conserver de la mémoire pendant une courte période pour s'adapter à leur environnement immédiat mais également aux conditions générales qui existaient légèrement dans le passé. Les voitures autonomes en sont un bon exemple (qui doivent par exemple conserver la limitation de vitesse de la route sur lesquelles elles circulent même si l'environnement ne fournit plus directement cette information).
- **Théorie des machines mentales** : cette théorie consiste en la simulation des interactions humaines en simulant l'esprit de l'autre. Ces machines visent à déterminer les intentions ou objectifs de quelqu'un d'autre. Ce que visent déjà les machines du style « robot émotionnel » mais en allant bien plus loin.
- **Machine à prise de conscience de soi** : synonyme de l'AGI, ce sont les machines qui ont conscience d'elles-mêmes et qui sont capable de ressentir des émotions.

1.3 Histoire de l'intelligence artificielle

1.3.1 Des origines remontant à l'Antiquité

Lorsque l'on parle d'IA, nous pensons automatiquement aux ordinateurs, mais en fait celle-ci puise ses racines bien plus loin dans l'Histoire humaine.

En effet, les véritables questions à se poser ici sont :

- « Comment génère-t-on de la connaissance ? Comment raisonne-t-on ? »
- « A partir de quand nous sommes nous posé ces questions ? » [6]

Ainsi, l'origine de l'IA peut être considérée comme l'origine de la logique. La logique est, « depuis l'Antiquité, l'une des grandes disciplines de la philosophie, avec l'éthique (philosophie morale) et la physique (science de la nature) » [29].

Durant l'Antiquité, la logique prit vraiment de l'importance sous l'impulsion de deux grands penseurs grecs que sont :

- Aristote : il est communément admis qu'il est à l'origine des syllogismes, qui est un raisonnement reliant des prémisses à une conclusion.
- Euclide : à l'origine du raisonnement formel dans son ouvrage « Les Eléments », qui est considéré comme un des fondateurs des mathématiques modernes. Par exemple, il a ainsi pu démontrer « par l'absurde » (en admettant une conclusion fausse on arrive à une contradiction) qu'il existe une infinité de nombre premiers [30].

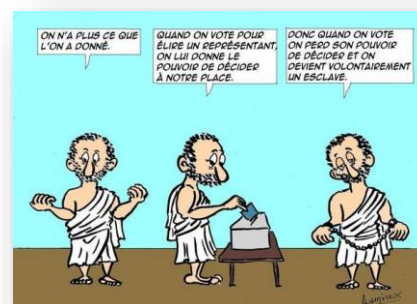


Figure 16 - Exemple de syllogisme

Ces deux méthodes sont très anciennes.

Les algorithmes d'IA implémentent ces deux méthodes.

Donc les origines de l'IA sont très anciennes...

1.3.2 Les mécanismes de raisonnement amenant à l'IA moderne

En 1904, Charles Peirce (1839-1914), philosophe et mathématicien, affirme que nous raisonnons tous suivant trois types de raisonnements :

- La déduction
- L'induction
- L'abduction

Induction / Déduction / Abduction		
Induction	Déduction modus ponens	Abduction
$\vdash$ ce n-ième exemplaire d'haricot qui vient du sac est encore blanc pour $i = 1, \dots, n$ ----- $\vdash \forall x [\text{haricot}(x) \Rightarrow \text{blanc}(x)]$	$\vdash (\forall x)$ $[\text{haricot-du-sac}(x) \Rightarrow \text{blanc}(x)]$ $\vdash$ Ceci est un haricot tiré du sac ----- $\vdash$ Ceci est blanc	$\vdash (\forall x)$ $[\text{haricot-du-sac}(x) \Rightarrow \text{blanc}(x)]$ $\vdash$ Ceci est un haricot blanc ----- il est plausible que cet haricot viennne du sac

Figure 17 - Déduction / Induction / Abduction

La déduction est « l'application d'une règle comportant des propriétés générales permet d'en déduire (prédire, anticiper) des conséquences particulières pour les objets de cette règle » [31].

Tous les haricots de cette boîte sont blancs (règle générale) $\Rightarrow$ Ce haricot provenant de cette boîte sera blanc (conséquence particulière).

La déduction donnera plus tard naissance aux systèmes experts.

L'induction est « d'une série de constatations semblables particulières, on induit une règle générale » [31].

Les haricots tirés de cette boîte sont rouges (constatations particulières). Donc tous les haricots contenus dans cette boîte sont probablement rouges (règle générale).

L'induction repose sur la répétition de l'expérience. Et elle donnera naissance aux algorithmes de Machine Learning.

L'abduction est « on diagnostique la cause d'un résultat particulier en le rattachant à la règle impliquant ce type de résultat » [31].

Les haricots de la première boîte sont blancs (règle). Et donc si ce haricot est blanc (constatation) c'est probablement qu'il provient de cette boîte (abduction de la cause).

L'abduction quant à elle n'est pas encore utilisée dans les algorithmes d'IA jusque maintenant.

LE DIAGNOSTIC MÉDICAL ASSISTÉ PAR L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

1.3.3 L'avènement de l'informatique et l'IA moderne

Le véritable essor de l'intelligence artificielle est arrivé avec l'avènement de l'informatique à partir de la deuxième moitié du XXème siècle.

Le terme même « intelligence artificielle » fut utilisé pour la première fois en juillet 1956 par John McCarthy pendant la conférence de Dartmouth.

L'histoire moderne de l'IA a été ponctuée par plusieurs périodes de découvertes et de stagnations, jusqu'à ce que le big data, aidé par l'augmentation de la puissance des machines, en fasse un domaine absolument incontournable depuis les années 2000.

L'infographie suivante détaille les grandes étapes et périodes qui ont ponctuées l'histoire de l'IA moderne [32].

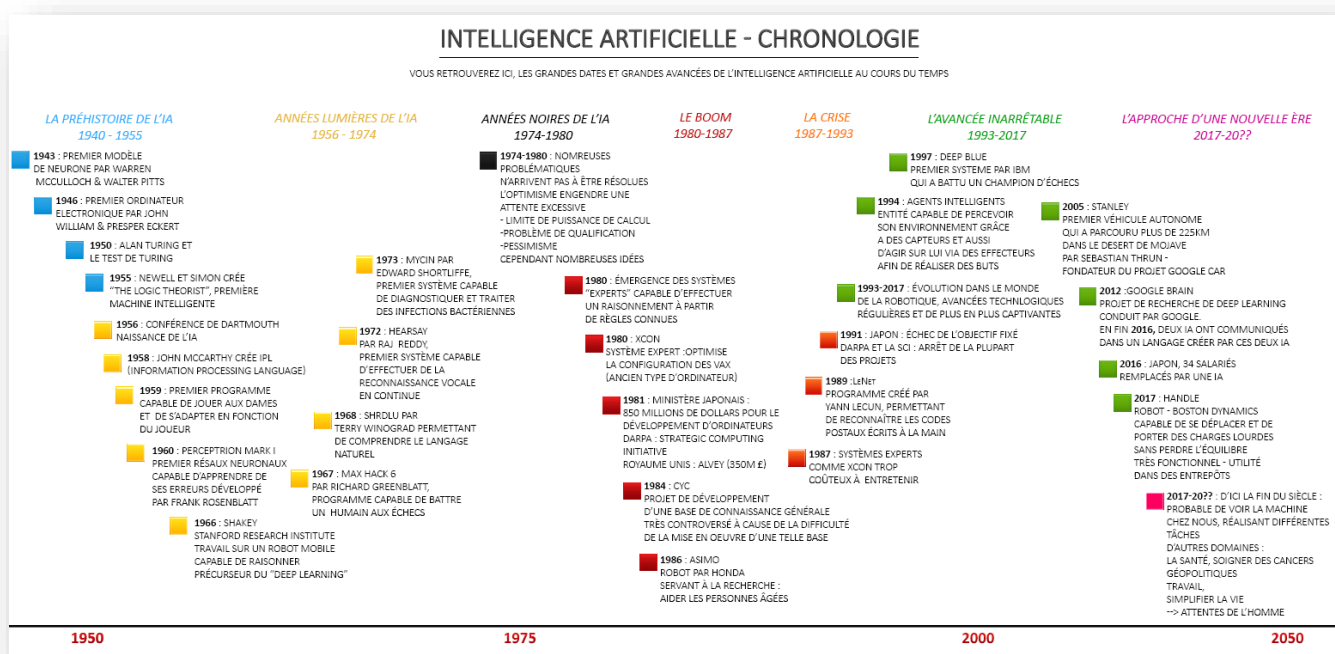


Figure 18 - Histoire de l'IA moderne

1.3.4 Et dans le futur ?

Avec l'augmentation constante de la puissance de calcul des machines, l'IA va continuer sa progression et, à l'heure actuelle, nous ne pouvons pas savoir jusqu'où nous serons capables d'aller dans un futur plus ou moins proche.

Néanmoins, certains estiment, grâce à la loi de Moore, selon laquelle, tous les deux ans, le nombre de transistors double sur une puce de microprocesseur (deuxième énoncé de la loi de Moore [33]), que la puissance estimée d'un cerveau humain pourrait être atteinte très bientôt, et que d'ici 2045, la puissance équivaldrait à celle de tous les cerveaux humains réunis...

Graphique de l'évolution de l'IA :

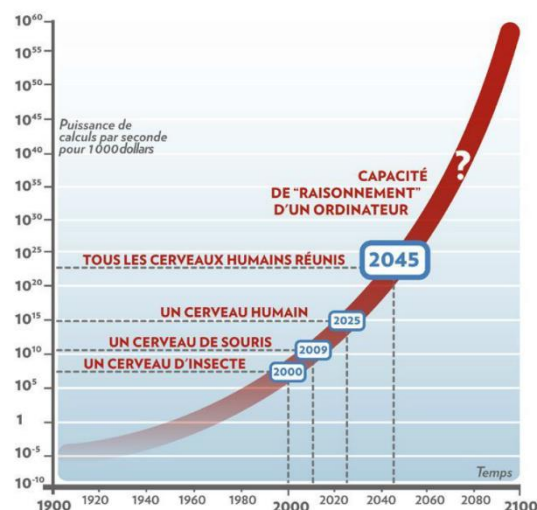


Figure 19 - Graphique de l'évolution de l'IA

Pour aller plus loin, on imagine déjà des « humains augmentés », ce qui fait partie du mouvement transhumaniste. Des recherches en ce sens sont déjà en cours comme du côté de la société Neuralink d'Elon Musk qui souhaite créer une interface cerveau/machine pour mieux marier le cerveau et l'IA (augmenter la mémoire, piloter des terminaux etc.) [34].

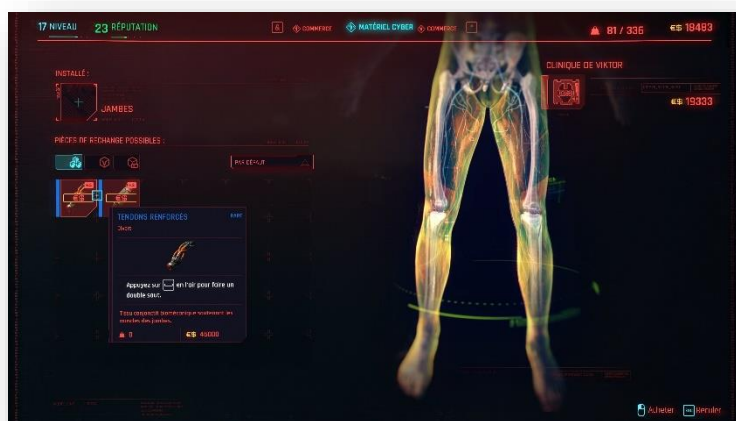


Figure 20 - Exemple d'implant dans le jeu vidéo Cyberpunk 2077

Enfin, un exemple dans la culture populaire de ce que pourrait représenter le transhumanisme poussé à l'extrême est le jeu vidéo CyberPunk 2077, se déroulant dans un futur dystopique, où chaque personne peut s'installer des implants pour augmenter différentes capacités...

1.4 Les catégories d'algorithmes utilisés par l'IA

1.4.1 Les systèmes experts

Les systèmes experts sont une des applications de l'IA. Ils imitent le raisonnement d'un expert dans un domaine précis.

Le premier fut mis au point par Edward Feigenbaum et Joshua Lederberg en 1965 pour émettre des hypothèses sur la structure moléculaire de certaines substances [35].

Le principe est qu'un expert doit fournir au système un ensemble de connaissances et de règles concernant le domaine qu'il maîtrise parfaitement, afin que la machine puisse à terme l'imiter.

Pour l'essentiel, ils utilisent pour règle d'inférence : le syllogisme (que nous avons vu plus haut avec Aristote).

Un système expert se compose de trois parties :

- Une base de faits
- Une base de règles
- Un moteur d'inférence

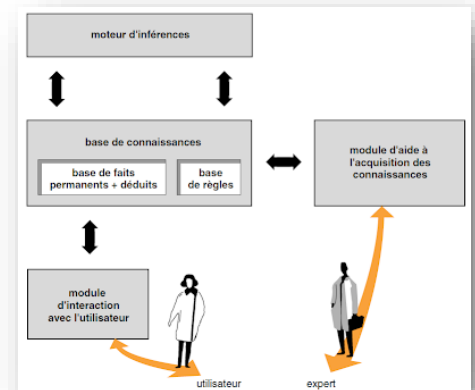


Figure 21 - Schéma système expert

Le moteur d'inférence va utiliser faits et règles pour produire de nouveaux faits, jusqu'à parvenir à la réponse dont l'utilisateur a besoin.

Un exemple grand public de système expert, français de plus, est « Akinator le génie ». Qui, par la déduction et les questions qu'il pose, doit deviner le personnage à qui l'on pense.

Ce genre de système paraît être extrêmement adapté pour le sujet du diagnostic médical. Avec la base de règles alimentée par des médecins. C'est d'ailleurs une utilisation que j'approfondirai plus tard.



Figure 22 - Akinator - Exemple de conclusion

1.4.2 Le Machine Learning

Le Machine Learning, ou apprentissage automatique, est le cœur de la majorité des programmes d'IA à l'heure actuelle.

Basé sur l'induction, la machine va répéter des traitements, sur un nombre de données très important, afin de trouver des relations entre elles et ainsi de proposer un modèle qui lui permettra de prédire ensuite les résultats sur une donnée qu'elle n'a jamais vu auparavant.

Le domaine est très vaste, il existe plusieurs types de machine learning, eux-mêmes basés sur de nombreux algorithmes différents.

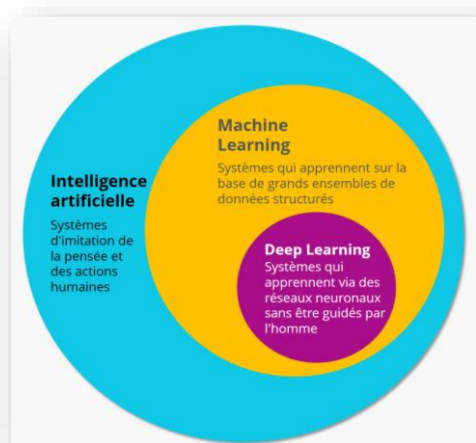


Figure 23 - Place du machine learning et du deep learning dans l'IA

Dans un souci de concision, je ne vais pas m'attarder à décrire dans les détails tous ces types ni leurs principes mathématiques sous-jacents, c'est quelque chose d'extrêmement intéressant, mais qui ne serait que de peu d'utilité dans le traitement de notre sujet.

Je vais donc juste m'attarder de façon générale sur les 4 types d'apprentissages automatiques, et enfin je décrirai un peu plus en profondeur (mais sans trop entrer non plus dans les détails) le deep learning, qui est le type phare d'apprentissage automatique à l'heure actuelle.

1.4.2.1 L'apprentissage supervisé

Le premier des types que j'aborderai est l'apprentissage supervisé. Il s'agit d'un mode d'apprentissage dans lequel nous allons donner des indications à la machine (des étiquettes) sur les données qu'elle doit apprendre.

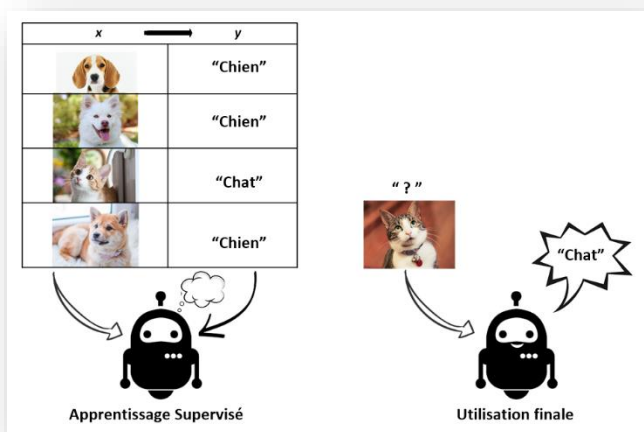


Figure 24 - Principe de l'apprentissage supervisé

Le but étant pour la machine, qu'une fois qu'on lui présentera une donnée qu'elle ne connaît pas, elle réussira à trouver la relation entre sa base d'apprentissage et cette donnée afin de la classer dans la bonne catégorie.

D'une manière générale, la machine peut apprendre une relation $f : x \rightarrow y$ qui relie x à y en ayant analysé des millions d'exemples d'associations $x \rightarrow y$ [36].

Il existe deux méthodes d'apprentissages supervisés :

- La classification : pour affecter des données de test à des catégories spécifiques. Les principaux algorithmes de classification sont les machines à vecteur de support, les arbres de décision, les classifieurs linéaires [37] .
- La régression : pour prédire des valeurs numériques sur la base de différents points de données. Les principaux algorithmes de régression sont la régression linéaire, la régression logistique et la régression polynomiale [37] .

1.4.2.2 L'apprentissage non supervisé

Contrairement à l'apprentissage supervisé, le non supervisé n'a que des données d'entrées. Il n'y a pas d'étiquetage.

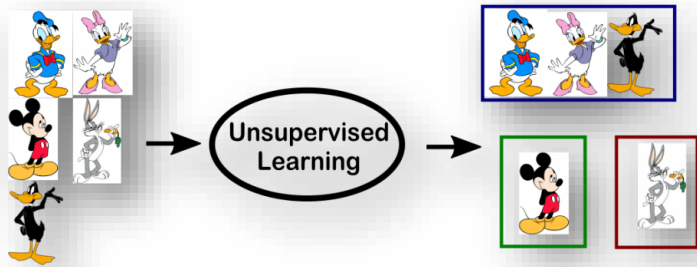


Figure 25 - Principe de l'apprentissage non supervisé

Son but est donc de modéliser la structure ou la distribution sous-jacente des données, en trouvant lui-même les dépendances entre elles.

Les principaux algorithmes d'apprentissage non supervisés sont :

- Le K-means clustering
- Les algorithmes Apriori
- Le Singular Value Decomposition
- Et d'autres encore...

1.4.2.3 L'apprentissage semi-supervisé

Quant à l'apprentissage automatique semi-supervisé, il va utiliser, comme le supervisé, des données étiquetées, mais également des données non étiquetées.

C'est ce genre d'apprentissage qui sera souvent utilisé, car le coût pour étiqueter un très grand nombre de données peut s'avérer être extrêmement important.

Les principaux algorithmes d'apprentissage semi-supervisés sont :

- Les réseaux antagonistes génératifs
- Le classificateur bayésien naïf (Naive Bayes)

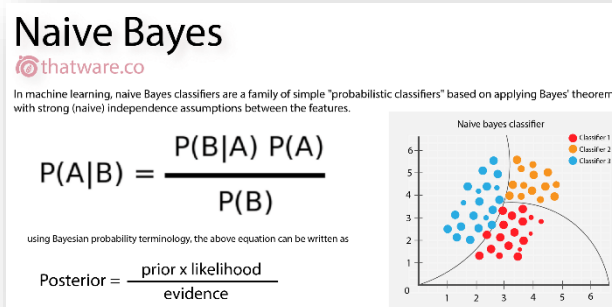


Figure 26 - Le classificateur bayésien naïf

1.4.2.4 L'apprentissage par renforcement

En enfin, le dernier type d'apprentissage est celui par renforcement. Celui-ci est le plus complexe mais également le plus réaliste. En effet, il simule un humain en apprentissage dans un contexte donné, avec les erreurs qu'il peut faire, ainsi qu'un système de récompenses s'il trouve la solution la plus adaptée.

Le scénario typique d'apprentissage par renforcement est le suivant : un agent

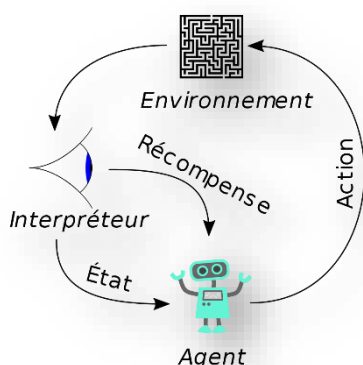


Figure 27 - Principe de l'apprentissage par renforcement

effectue une action sur l'environnement, cette action est interprétée en une récompense (positive ou négative) et une représentation du nouvel état, et cette nouvelle représentation est transmise à l'agent.

A force d'itérations, l'agent va chercher une stratégie optimale pour répondre au problème posé (en cherchant à obtenir la plus haute somme de récompenses possibles). [38]

Un exemple d'application de ce type d'apprentissage, j'en ai déjà parlé, est AlphaGo, le logiciel qui a battu le champion du monde du jeu de Go.

Les principaux algorithmes d'apprentissage par renforcement sont :

- Le Q-Learning (qui peut être associé à un réseau de neurones => Deep Q-Learning).
- Les algorithmes basés sur un modèle (model-based).

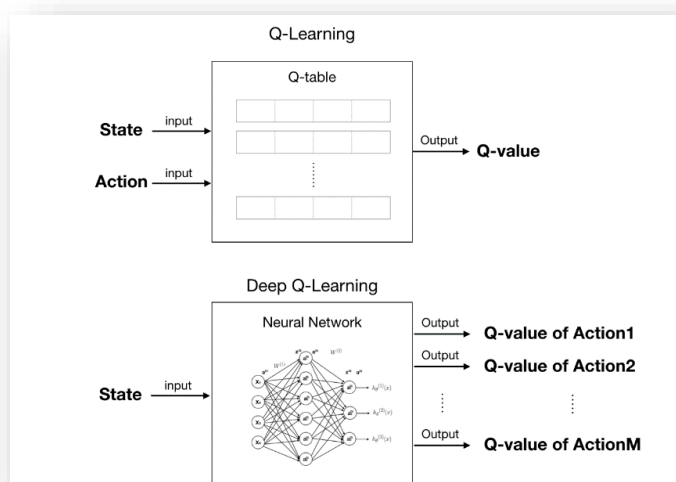


Figure 28 - Représentation simple du Q-Learning vs Deep Q-Learning

1.4.3 Le Deep Learning

Et nous voici enfin au type d'apprentissage automatique phare de ces dernières années, il s'agit bien sûr du Deep Learning.

Le Deep Learning est un type d'apprentissage non supervisé s'appuyant sur des réseaux de neurones artificiels afin d'être capable de mimer les actions du cerveau.

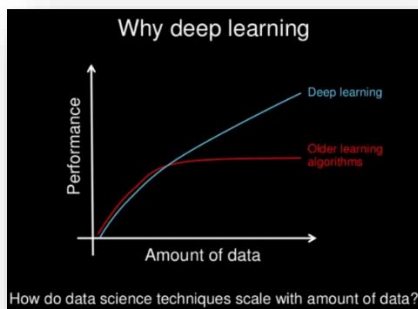


Figure 29 - Performances du Deep Learning

Ces dernières années, avec l'émergence du Big Data et une puissance des machines toujours en hausse, les algorithmes de Deep Learning ont surpassé les autres méthodes en performance, comme le montre l'infographie ci-contre.

1.4.3.1 Le neurone artificiel

Le premier neurone artificiel est né en 1943 des travaux de Warren McCulloch et Walter Pills : le neurone formel. Ils se sont pour cela inspirés directement du fonctionnement du neurone biologique [39]. Donc encore un exemple de biomimétisme.

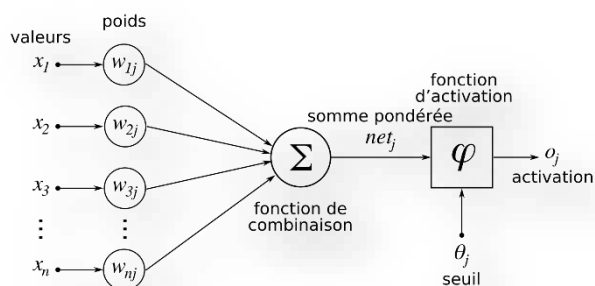


Figure 31 - Schéma d'un neurone artificiel

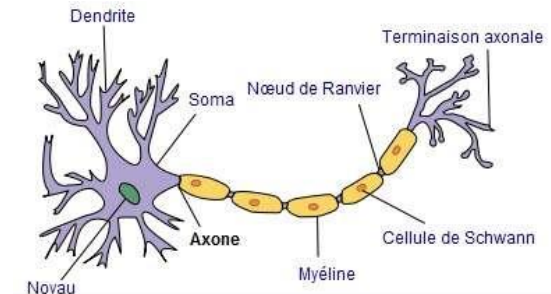


Figure 30 - Schéma d'un neurone biologique

Le neurone biologique va recevoir les informations grâce à des molécules appelées neurotransmetteurs via ses dendrites, les traiter dans le corps cellulaire, et les envoyer via l'axone à d'autres neurones.

Le neurone artificiel lui va recevoir les valeurs via ses entrées x (comme les dendrites), va calculer la somme de ces entrées, pondérée par les poids w , puis la valeur passe à travers la fonction d'activation φ pour produire sa sortie o si le seuil θ est atteint.

1.4.3.2 Les réseaux de neurones

Ainsi, afin de simuler le fonctionnement du cerveau humain qui, d'après les estimations posséderait en moyenne 86 milliards de neurones [40], on a mis les neurones artificiels en réseau afin qu'ils communiquent entre eux.

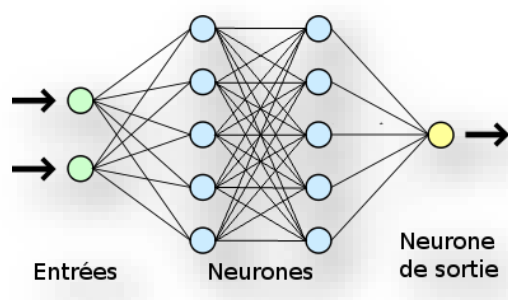


Figure 32 - Petit réseau de neurones

Ce type de réseau a très vite donné de très bons résultats. Ainsi, les essais se sont multipliés en augmentant le nombre de couches intermédiaires (dites cachées) de neurones.

Hélas, à partir d'un certain nombre de couches cachées, le système s'effondre totalement et les résultats sont catastrophiques.

Il aura fallu attendre les recherches de Geoffrey Hinton, Yoshua Bengio et Yan le Cun (ce dernier, français et qui apparemment a fait face à des controverses quant à la paternité de ses travaux [41], est maintenant responsable IA chez Facebook) pour résoudre ce problème et inventer ce que l'on appelle réellement le Deep Learning (qui est l'apprentissage profond en multipliant les couches de neurones), et ce grâce à la technique des réseaux convolutifs [42].

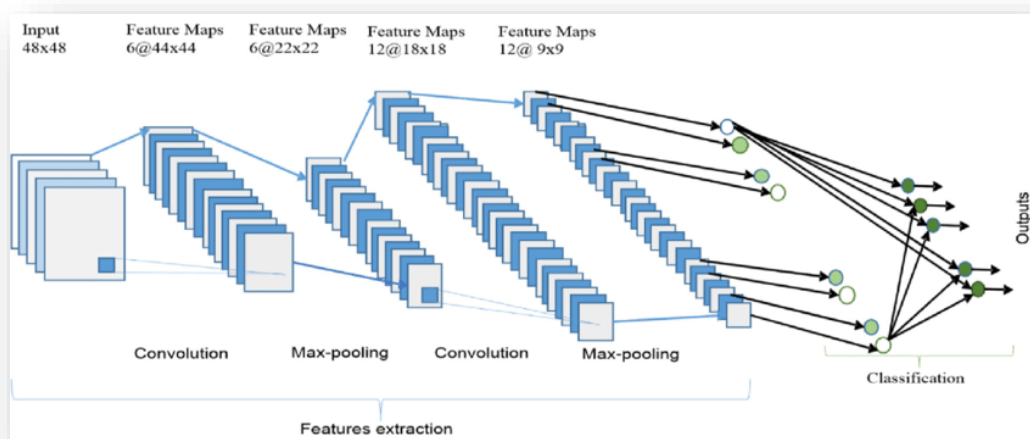


Figure 33 - Architecture générale d'un réseau convolutif

Je n'irai pas plus loin dans les détails de ce système, mais il faut bien retenir que c'est grâce à cette technique que le Deep Learning a pu voir le jour, et qu'il est devenu l'outil très puissant que l'on connaît aujourd'hui.

1.5 Domaines d'application

Les domaines d'application de l'IA sont infinis...

En effet, peu de domaines échappent encore à son influence, que ce soit dans le traitement du langage naturel, la reconnaissance d'images, la prédiction des cours de la Bourse, les recherches scientifiques, et bien entendu la médecine, ce qui nous intéresse plus particulièrement ici.

Je vais donc citer quelques exemples d'applications de l'IA, mais bien sûr je ne pourrai pas être exhaustif sur ce sujet...

1.5.1 La reconnaissance d'images

Un des premiers domaines à s'être fortement développé grâce à l'IA est la reconnaissance d'images, sous l'impulsion des GAFAM tels que Google ou Facebook.

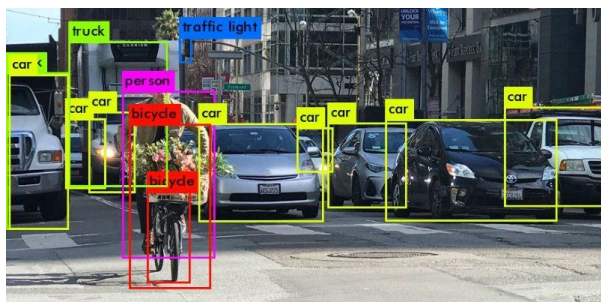


Figure 34 - Reconnaissance d'images

En effet, ces derniers ont, au fil du temps, recueillis de leurs utilisateurs d'innombrables photographies et images qu'ils ont mis à contribution dans leurs algorithmes de Machine Learning, ce qui a permis de les perfectionner.

De plus, nous avons tous aidé (à notre insu) à l'amélioration de cette reconnaissance d'images chez Google avec le système reCAPTCHA. En effet, ce système de contrôle, pour vérifier que l'utilisateur qui navigue sur un site est bien humain, demandait à cet utilisateur d'identifier sur des images différents objets, animaux, textes etc. Ce qui rappelle étonnamment l'étiquetage des données dans le cadre de l'apprentissage supervisé... [43]

Dans cette technique, pour rester simple, le machine learning génère des descripteurs pour chaque image ou groupe d'images qui pourront être réutilisés par la suite pour détecter les éléments inclus dans la nouvelle image.

Ces systèmes de reconnaissance d'image seront très utiles pour, dans le cadre de notre sujet, les algorithmes d'aide à l'imagerie médicale, j'y reviendrai plus tard.

1.5.2 L'IA au service de l'Art ?

Plus étonnant, des IA sont également capables de créer des tableaux, ou de composer des musiques originales « à la façon de ».



Figure 35 - The Next Rembrandt

Un cas particulièrement bluffant, est le projet « The Next Rembrandt » où une IA a recréé un portrait à partir de rien dans le style du grand maître néerlandais.

Bien sûr il aura fallu apprendre à cette IA la façon dont le peintre créait ses œuvres, et de plus, il n'y aura pas le « coup de pinceau », mais le résultat est particulièrement étonnant sachant qu'il n'y a pas eu d'intervention humaine dans la réalisation elle-même. Pour la réalisation les descripteurs mentionnés plus haut ont été renseignés à la machine qui a pu les reproduire en se référant à tout son apprentissage à propos du style du peintre.

Vous voulez composer comme Mozart, Bach ou Beethoven ?

Le projet « Assisted Melody » de Google est fait pour vous ! En effet, grâce au Machine Learning, cet outil, à partir d'une mélodie que vous entrez directement sur le clavier ou la portée de l'interface Web, vous fait une harmonisation sur mesure à la façon de ces trois grands maîtres [44].

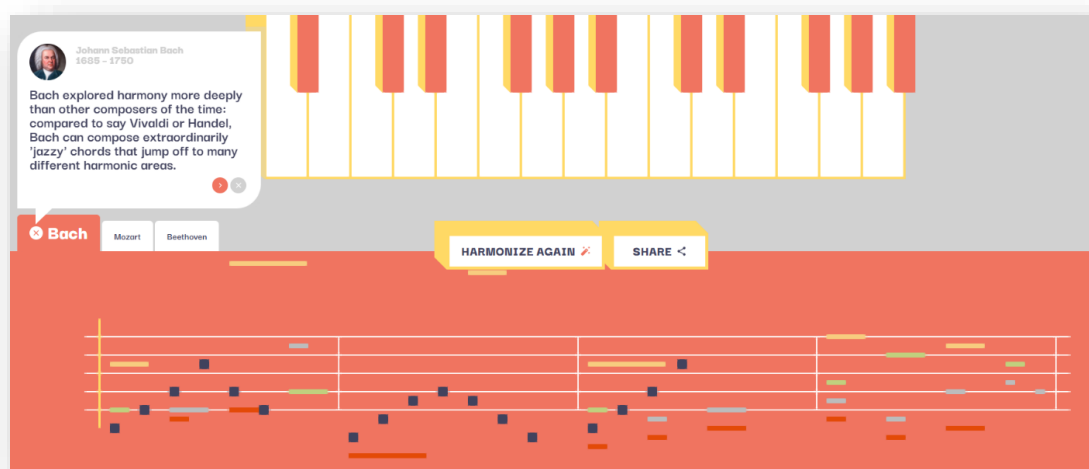


Figure 36 - Assisted Melody de Google

1.5.3 La traduction automatique

Je vais parler ici d'un exemple extrêmement intéressant de traitement automatique du langage naturel par une IA : Google Translate.

L'outil, jusque 2016, se basait sur un langage pivot : l'anglais. Les traductions étaient approximatives (souvent mot à mot) et, de plus, Google était dans l'obligation de maintenir différents systèmes pour les différentes combinaisons de langues possibles.

En septembre 2016, ils ont déployé le Google Multilingual Neural Machine Translation System (GNMT), basé sur le Deep Learning, un seul système pour remplacer les précédents.

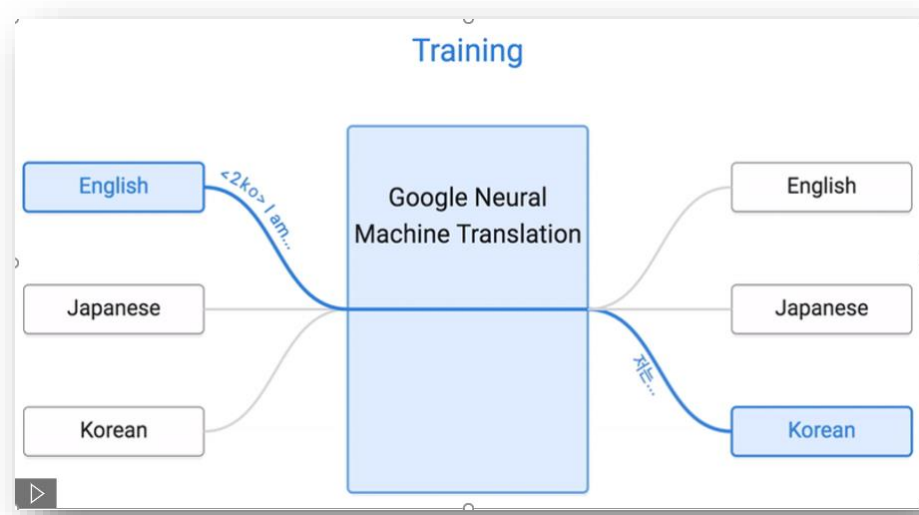


Figure 37 - Google Neural Translation Machine

Ce qui est très intéressant avec ce système, c'est que, d'une part, les traductions sont devenues beaucoup plus naturelles qu'auparavant, et surtout, les ingénieurs de Google, en analysant le fonctionnement interne, se sont rendu compte que le système avait créé une « interlingua », c'est-à-dire une langue intermédiaire, qui se baserait sur la sémantique et non sur une traduction phrase à phrase.

Et la puissance de ce système, c'est que par transfert, il permet d'avoir des résultats corrects et ce même sur une langue sur laquelle il n'a pas été entraîné ! [45]

1.6 Avant d'aller plus loin...

Ainsi se conclue la première grande partie consacrée à l'Intelligence Artificielle.

Comme nous avons pu le voir, il s'agit d'un domaine incroyablement vaste et passionnant, avec des perspectives infinies (voire même effrayantes si poussées à l'extrême).

Et comme précisé à maintes reprises précédemment, je ne pouvais pas, dans le cadre de ce rapport, être totalement exhaustif, mais le plus important pour moi était :

- de bien définir de quoi nous parlions.
- de montrer un aperçu de l'état actuel des avancées dans le domaine
- de montrer différentes possibilités d'évolution dans le futur proche ou lointain
- et enfin de donner un succinct tour d'horizon des techniques actuelles

Tout ceci dans le but que chaque lecteur de ce rapport puisse avoir une idée assez précise du thème abordé, et d'entreapercevoir la puissance qu'un tel outil pourra apporter dans le cadre du diagnostic médical, que je vais aborder maintenant.



Figure 38 - L'IA dans le diagnostic médical

2 LE DIAGNOSTIC MEDICAL ET L'IA

2.1 Le diagnostic

2.1.1 Bref historique du diagnostic en médecine

L'histoire du diagnostic médical, intimement corrélée à celle de la médecine en générale, est longue et complexe. Ainsi, ici, je vais juste esquisser un bref historique avec quelques étapes de son évolution.

A ses origines, la médecine était essentiellement magico-religieuse, et les « diagnostics » posés par les prêtres, oracles ou devins.

Le premier à mettre à l'écart le divin dans l'établissement du diagnostic via une approche clinique fut le médecin grec Hippocrate [46]. La médecine devenant, du coup, plus rationnelle.

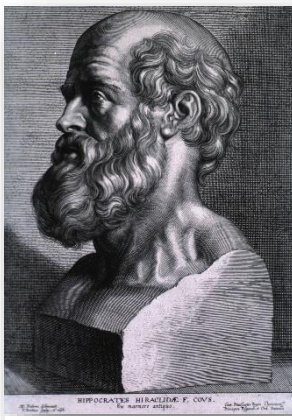


Figure 39 - Hippocrate

Durant la Renaissance jusqu'au XVIIIème siècle, et ceci bravant les interdits religieux, certains se sont adonnés aux dissections pour cartographier l'anatomie humaine et tenter de la comprendre. L'œuvre anatomique de Leonard De Vinci en est un bon exemple.



Figure 40 - Léonard de Vinci
Etude des muscles de l'épaule

Jean-Baptiste Morgagni,

médecin italien du XVIIème siècle, fort de son expérience de 60 ans, et se basant sur plus de 700 dissections, a fondé l'anatomopathologie qui met en corrélation des structures anatomiques anormales aux différentes maladies, le tout en comparant avec les structures anatomiques saines. La méthode de diagnostic anatomoclinique est née.

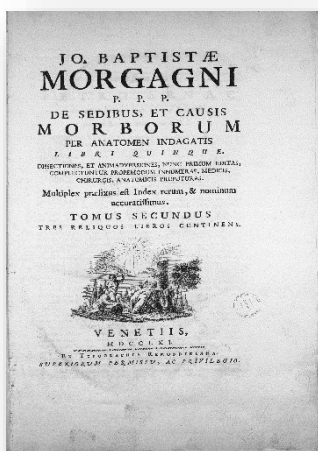


Figure 41 – Morgagni - De
Sebitus

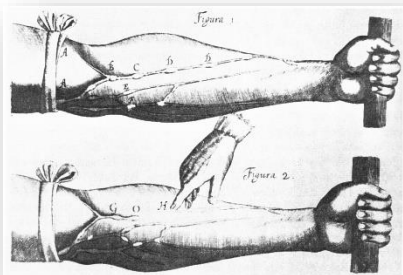


Figure 42 - Illustration d'une expérience de William Harvey

Au XVII^{ème} siècle, les travaux du médecin anglais William Harvey démontrent la circulation sanguine dans son ouvrage « *Exercitatio Anatomica de Motu Cordis et Sanguinis in Animalibus* », faisant entrer la médecine dans une nouvelle ère : celle de la mécanique.

Au XIX^{ème} siècle vinrent la découverte de la méthode de l'auscultation, les débuts de la bactériologie, de l'immunologie.

L'imagerie médicale est née à la fin de ce siècle grâce à la découverte des rayons X par le physicien allemand Wilhelm Röntgen.

Le XX^{ème} siècle fut marqué par l'essor de l'endoscopie (méthode d'exploration de l'intérieur de cavités inaccessibles à l'œil nu), des prélèvements biopsiques (prélèvement de tissu représentatifs d'une zone plus large), et de toutes les méthodes d'exploration du corps modernes (IRM, échographie etc...).

Le XX^{ème} siècle aura par ailleurs vu se développer des méthodes d'analyses à l'échelle moléculaire (génétique, analyse de sang).

Ainsi, actuellement, nous sommes bien en médecine dans une démarche rationnelle et scientifique, bien loin de ses débuts.



Figure 43 - Première radiographie de l'histoire: la main de Berta Röntgen



Figure 44 - Appareil à IRM

2.1.2 Définition du diagnostic médical

Selon l'Académie nationale de médecine, « le diagnostic permet de reconnaître une maladie pour en assurer une prise en charge appropriée. Le diagnostic, élément essentiel de la décision médicale, relève de la responsabilité du médecin » [47].

Le diagnostic est donc une démarche qui permet, à partir des informations que donne le patient, des signes extérieurs que le médecin doit déceler, de trouver la maladie dont il souffre, afin de lui proposer un traitement adapté.

Il ne faut pas, en outre, confondre diagnostic et pronostic. Ce dernier étant une hypothèse faite sur l'évolution d'une maladie. Le pronostic porte sur le futur alors que le diagnostic sur le présent.

2.1.3 La relation médecin-patient

Maintenant je vais analyser la relation médecin-patient afin d'établir le cadre exact des éléments qui pourront être assisté par l'IA pour le diagnostic, et ainsi définir le plan des prochaines parties.

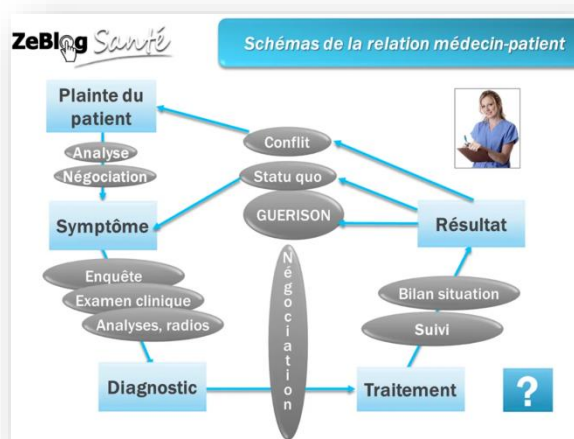


Figure 45 - Schéma de la relation médecin-patient

Cette relation se divise en un certain nombre d'étapes immuables [48].

Tout d'abord, le patient se présente à son médecin avec une ou plusieurs plaintes (« j'ai mal à tel endroit » etc.).

S'ensuit une phase d'analyse et de négociation afin de déterminer si cette plainte peut être transformée en symptôme.

Nous nous retrouvons donc avec une

liste de symptômes.

A ce moment, interviennent trois étapes qui vont nous intéresser plus particulièrement par la suite :

- L'enquête (anamnèse), qui va faire le listing des antécédents du patient.
- L'examen clinique (physique), que le médecin va effectuer suivant quatre étapes principales (auscultation, inspection, percussion et palpation) afin d'éventuellement relier les symptômes avec différents signes physiques qu'il pourra détecter. Ces étapes peuvent être complétées par d'autres suivant les besoins et/ou la spécialité du médecin.
- Les examens complémentaires si nécessaires, afin d'obtenir des informations non visibles à l'examen clinique.

À la suite de ces trois étapes, le médecin peut être en possibilité de poser son diagnostic. Et par conséquent, dans la suite de ce rapport, je m'intéresserai à des cas d'utilisation de l'IA dans ces trois étapes.

Dans la suite de la relation médecin patient, nous retrouvons une phase de négociation concernant la mise en place du traitement, celui-ci pouvant être relativement lourd et difficilement acceptable pour le patient.

Ensuite viennent le bilan et le suivi afin d'évaluer l'efficacité du traitement, et nous aboutissons au résultat.

Le résultat, dans le meilleur des cas est la guérison, et à ce stade la relation médecin patient s'arrête pour ce cycle.

Si le résultat n'est pas satisfaisant, deux possibilités :

- nous entrons dans le statu quo. Et nous reprenons un nouveau cycle avec un nouveau diagnostic / traitement / résultat.
- nous entrons dans un conflit, souvent après plusieurs itérations de ce cycle se soldant par un statu quo, ce qui pousse le patient à stopper la relation avec le médecin et en choisir un autre avec qui il réinitialisera un nouveau cycle : phénomène appelé le nomadisme médical.

Je vais donc m'intéresser maintenant aux applications d'IA assistant l'anamnèse, l'examen physique et les complémentaires pour aboutir à un diagnostic.

2.2 L'anamnèse assistée par l'IA

2.2.1 L'assistant Anamnèse

Anamnèse est une plateforme de télémédecine utilisant un chatbot qui permet au patient de bien définir son problème de santé, avec son propre langage en répondant à des questions (dans 10 langues différentes), et permettra au médecin d'accéder à ces données traduites en langage médical.

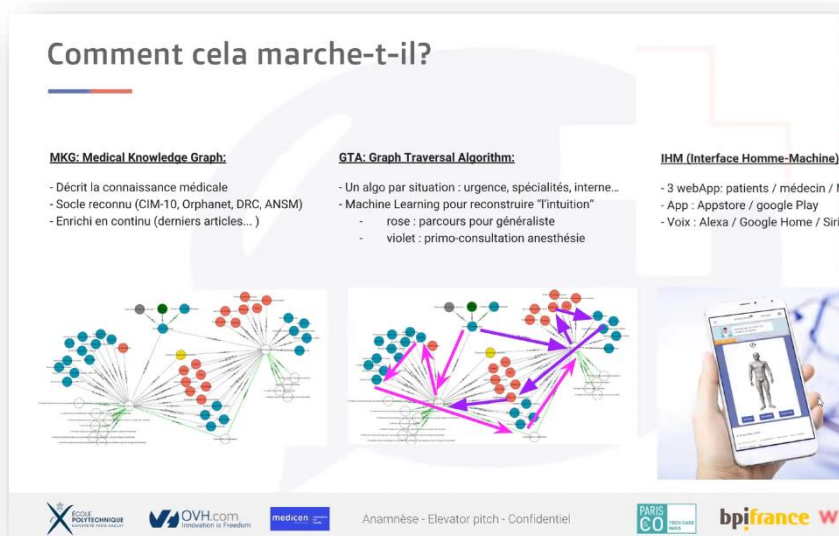


Figure 46 - Extrait de la présentation visio d'Anamnèse par Jérôme Bourreau [76]

De plus, toutes ces données vont alimenter un « traité de médecine auto-apprenant » sous la forme d'un graphe des connaissances médicales (MKG).

Cet assistant se base sur un système d'IA hybride, alliant systèmes expert et machine learning, de

la même façon qu'un médecin va compléter les connaissances théoriques acquises durant ses études avec son expérience sur le terrain. Ce fonctionnement a été choisi fait pour que les choix du système puissent rester explicables à la communauté scientifique [49].

Cette application est utilisée depuis 2017, est française et est issue de la rencontre entre Nathan Malka (docteur en cardiologie), Raphaël Canyasse (ingénieur expert en IA) et Jérôme Bourreau (ingénieur Supélec).

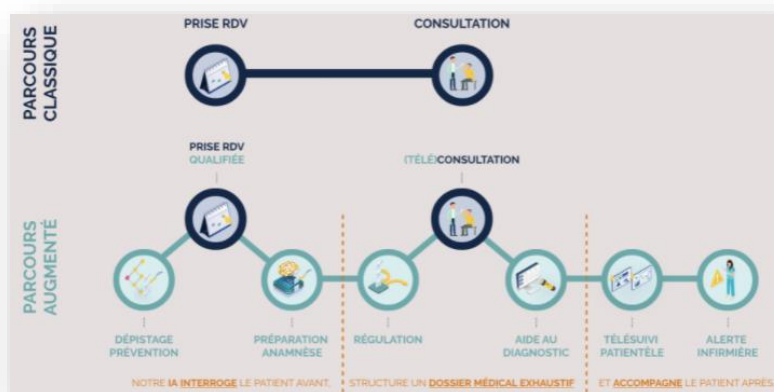


Figure 47 - Cas d'usages d'Anamnèse

2.2.2 Babylon Health

Un des principaux concurrent d'Anamnèse est Babylon Health. Société britannique spécialisée dans les services de santé.

Un de ses services est justement la réalisation d'anamnèses grâce à l'IA, qui se présente sous la forme d'un site web et d'une application mobile (iOS et Android).

Ce service, baptisé Symptom Checker est basé sur le Deep Learning, qui a appris à partir de plusieurs millions d'échantillons de données, et va fonctionner sous la forme d'un chatbot [50].

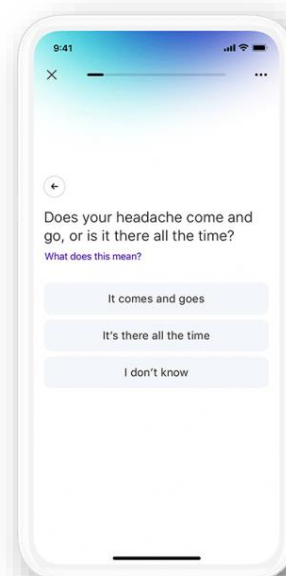


Figure 48 - Interface iOS de Symptom Checker

2.2.3 WeDoctor

WeDoctor est un ensemble de services médicaux développés par Tencent, faisant partie des BATX (équivalent des GAFAM mais en Asie).



Figure 49 - Capture d'une publicité pour Weixin appliqué à la santé

WeDoctor comprend des services équivalents à Doctolib et Anamnèse en France, avec de plus des services de télé consultation et de livraison de médicaments à domicile.

Il a apparemment été intégré à l'application Weixin (appelée aussi WeChat) qui est un système de messagerie extrêmement

populaire en Chine.

Il est difficile pour moi de trouver des sources plus complètes sur ce système et son fonctionnement, ne comprenant pas le chinois... Mais voici un extrait de ce que j'ai pu trouver des applications éventuelles de WeDoctor (traduction automatique Google).

« Les patients doivent généralement attendre longtemps et l'inscription quotidienne aux consultations externes est toujours complète. Heureusement, la technologie peut aider. Avec l'introduction des services de rendez-vous et de consultation en ligne,

l'expérience de consultation de centaines de millions de personnes en Chine s'est encore améliorée.

Un vlogger canadien qui vit dans la région autonome Zhuang du Guangxi en Chine a remarqué les progrès, et dans l'une de ses vidéos, il parle de la valeur des hôpitaux en ligne, qui, selon lui, utilisent l'intelligence artificielle pour rendre les soins médicaux plus accessibles aux patients, mais améliorent également l'efficacité des admissions à l'hôpital et chez le médecin. Les utilisateurs peuvent prendre rendez-vous, payer des frais médicaux, acheter des



Figure 50 - Logo de l'application WeChat / Weixin

médicaments en vente libre et consulter des médecins via des fonctions de chat via des assistants numériques tels que WeChat. La plate-forme numérique de Tencent connecte les patients à plus de 38 000 établissements médicaux avec des comptes officiels WeChat.

Dans un avenir proche, la technologie aura un impact sur chaque étape du parcours de soins de santé d'un patient. Les dossiers médicaux connectés peuvent aider les travailleurs de la santé qui s'occupent des patients à mieux juger de leur état, même s'ils se rencontrent pour la première fois.

Par exemple, lorsqu'un patient appelle une ambulance, le conducteur de l'ambulance et l'hôpital d'accueil peuvent connaître les antécédents médicaux et les besoins médicaux du patient avant son arrivée à l'hôpital.

Grâce à l'intelligence artificielle, les dossiers médicaux électroniques (DME) peuvent être personnalisés et conçus pour chaque environnement de soins de santé unique, améliorant ainsi la rapidité et la précision des soins. La technologie de pointe peut aider les fournisseurs de soins de santé à comprendre les besoins, les symptômes d'allergie et les antécédents médicaux d'un patient.» [51]

Tencent reste pour le moment dans sa zone géographique d'origine, mais il pourrait devenir à l'avenir un acteur incontournable de la santé dite numérique, en tout cas il a l'air d'avoir pris pas mal d'avance dans le domaine, et ce en partie grâce à un rapport à la confidentialité des données totalement différent en Chine par rapport à l'Occident.

2.2.4 Le projet LERUDI

Retour en France avec un projet, apparemment abandonné, mais dont je tiens à parler car il concerne directement le métier que j'ai exercé pendant plus de 8 ans : c'est-à-dire ambulancier.

LERUDI, pour **L**ecture **R**apide aux **U**rgences du **D**ossier **I**nformatisé était un projet destiné à fournir le maximum d'informations, à partir du dossier informatisé (feu le DMP, remplacé actuellement par « Mon Espace Santé »), aux centres 15 afin d'améliorer la prise en charge préhospitalière urgente.



Figure 51 - Véhicule d'Arleux Ambulances
(photo personnelle)

En effet, durant mes années d'exercice de ce métier, quasiment chaque intervention SAMU était en quelque sorte une loterie... Nous ne savions jamais comment cela allait tourner, et ce par manque d'informations sur les antécédents du patient...

Je me souviens de ce jeune de 16 ans, nous étions appelés pour ce qui s'apparentait à une crise d'angoisse, sans plus d'information... Une fois sur les lieux, mon collègue discute avec ses parents tandis que moi je vais à sa rencontre afin d'effectuer le bilan, et là il devient très agité, menaçant, me crachant dessus et pire prenant ensuite un couteau pour me menacer... Nous obligeant à appeler un renfort police qui s'est terminé avec la BAC qui a réussi à le maîtriser, et qui nous a finalement escorté jusqu'à l'hôpital. Il s'est avéré que ce patient avait des antécédents psychiatriques, avec violences... Si nous l'avions su, je ne serais jamais allé le voir seul et nous aurions demandé un renfort police bien plus tôt. Cette fois ça s'est bien terminé mais ce n'est pas toujours le cas, comme en 2021 cet ambulancier de Besançon tué avec un couteau par un patient souffrant de troubles similaires [52]... Autant dire que ce fait divers m'a interpellé...

Ou de nombreuses fois, nous apprenons en arrivant à l'hôpital, que le patient que nous venons de transporter était atteint d'une infection qui aurait nécessité le port d'équipement de protections... Ou qu'il était immunodéprimé, ce qui impose également le port d'équipements mais pour la protection du patient lui-même...

LE DIAGNOSTIC MÉDICAL ASSISTÉ PAR L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Ainsi, le manque d'informations transmises aux équipes peut être dangereux, autant pour les ambulanciers que pour les patients, pour leur prise en charge... Et c'est là que devait intervenir le projet LERUDI.

Il s'agissait d'un outil de traitement du langage naturel, basé sur une ontologie de la médecine d'urgence, visant à repérer rapidement et automatiquement les critères importants dans le dossier du patient afin qu'il puisse bénéficier d'une prise en charge d'urgence adaptée à son historique médical.

Évalué par des médecins urgentistes, il a obtenu les résultats suivants :

- Un taux de rappel de 89%
- Un taux de précision de 81%
- Un taux de contresens de 2%

Ces résultats étaient considérés comme satisfaisants pour un essai en conditions réelles.

Malheureusement, après 2017, je ne trouve plus aucune information sur ce projet, qui a dû être abandonné avec l'abandon du DMP par l'assurance maladie... Je suis allé jusqu'à appeler le secrétariat du centre 15 de Lille (qui était pressenti pour les essais) afin de savoir s'ils avaient entendu parler de ce projet ou d'un projet similaire... Mais il n'y en avait pas à leur connaissance. Ils m'ont néanmoins affirmé que l'informatisation des dossiers patients a été mise en place il y a peu.

Enfin, pour illustrer ce qu'aurait pu donner le projet LERUDI en conditions réelles pour les ambulanciers, ci-contre une capture d'écran de l'application Thelis qui permet aux centres 15 d'attribuer les missions aux ambulances privées.

J'aurais imaginé une catégorie antécédents en plus, remplie par LERUDI ou par le médecin... Car quand j'exerçais, ils pouvaient être mis dans les commentaires mais malheureusement bien souvent ils n'étaient pas présents [53]...

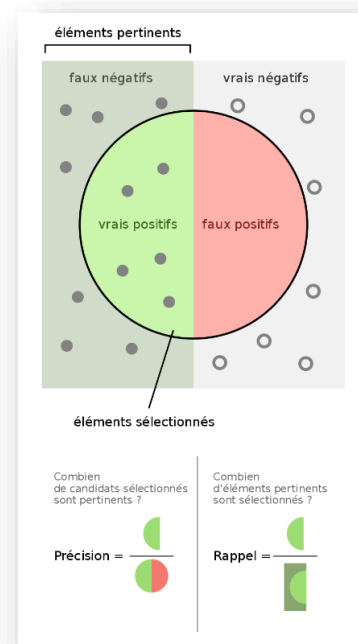


Figure 52 - Taux de rappel / Taux de précision



Figure 53 - Capture d'écran de l'application Thelis de Lomaco

2.3 L'examen physique assisté par l'IA

L'examen physique est une étape importante pour le médecin en vue de l'établissement d'un diagnostic.

Comme vu plus haut, cet examen comporte quatre étapes générales qui sont quasi-systématiquement utilisées :

- L'inspection : le médecin observe le patient
- La palpation : recherche par d'anomalies sur la taille de différents organes comme le foie, les ganglions, la rate etc.
- La percussion : recherche de bruits anormaux à la percussion
- L'auscultation : grâce à un stéthoscope, le médecin écoute les bruits du cœur, des intestins, des poumons etc.



Figure 54 - Une auscultation

Suivant les besoins et/ou spécialité des médecins, cet examen physique de base peut être complété avec d'autres étapes plus poussées comme par exemple :

- Un examen cardiaque chez le cardiologue
- Un examen dermatologique chez le dermatologue
- Un examen ORL chez l'oto-rhino-laryngologiste
- Et cette liste n'est pas exhaustive

En ce qui concerne la palpation et la percussion, je ne vois pas d'exemple d'IA qui pourrait épauler le médecin dans ces tâches et ce pour une raison très simple : elles nécessitent une interaction physique préalable. Ce qui montre que, même avec l'aide de l'IA, la place du médecin restera primordiale dans l'établissement d'un diagnostic.

Dans la suite, je vais présenter quelques exemples de systèmes comprenant une IA qui peuvent aider le médecin dans les autres étapes de l'examen physique. Il existe de nombreuses applications et je ne vais en présenter que quelques-unes, être exhaustif ici serait encore une fois beaucoup trop long...

2.3.1 IDx-DR : une inspection de l'œil pour un diagnostic spécifique

En 2018, la FDA (agence américaine du médicament) a autorisé pour la première fois une IA à poser des diagnostics [54].

IDx-DR, c'est son petit nom, est un système basé sur le deep learning et la reconnaissance d'images, permettant la détection précoce de la rétinopathie diabétique sans avoir besoin de consulter un ophtalmologiste, qui lui la détecterait durant son examen physique.

La rétinopathie diabétique est une complication grave du diabète pouvant amener à la cécité, touchant un diabétique sur deux. Le diabète est une maladie très courante dans les pays occidentaux, d'où le grand intérêt que peut avoir un tel outil, surtout chez la population diabétique qui ne fait pas régulièrement son suivi chez l'ophtalmologiste.

Le principe ici, c'est de permettre à un médecin généraliste de détecter la rétinopathie, et pour qu'il, si l'examen s'avérait positif, oriente son patient d'urgence vers un ophtalmologiste.

L'IA a été entraînée et validée sur plus de 2 millions d'images afin d'éviter au maximum les biais, et de garantir son efficacité sur toutes les personnes sans distinction [55].

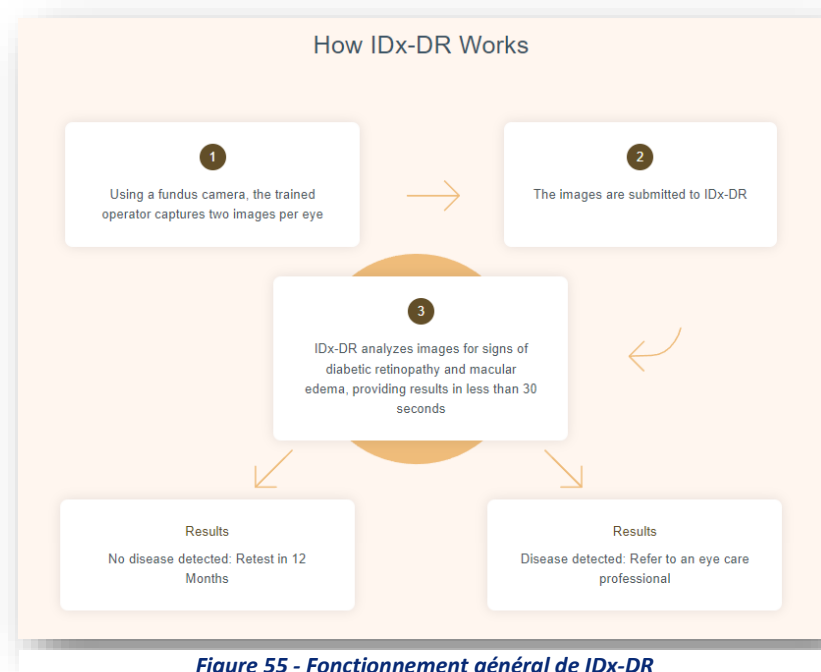


Figure 55 - Fonctionnement général de IDx-DR

2.3.2 Examen cardiaque assisté par l'IA

Un autre type d'examen physique spécifique à la cardiologie amenant le cardiologue à différents diagnostics est l'ECG (Electrocardiogramme) qui mesure l'activité électrique du cœur sur un temps donné.

Ici je vais m'intéresser aux recherches d'un groupe de chercheurs français concernant la détection des arythmies (troubles du rythme cardiaque) dans le cadre de prise de médicaments ou du syndrome du QT long [56].

Les chercheurs ont utilisé des réseaux de neurones convolutifs (donc du deep learning) pour détecter les arythmies provoquées par prise de médicaments bêtabloquants ou dues au syndrome du QT long congénital. Ce dernier est un type d'arythmie provoqué par une anomalie du système électrique du cœur, et caractérisé par un intervalle QT sur l'ECG plus long que la normale.

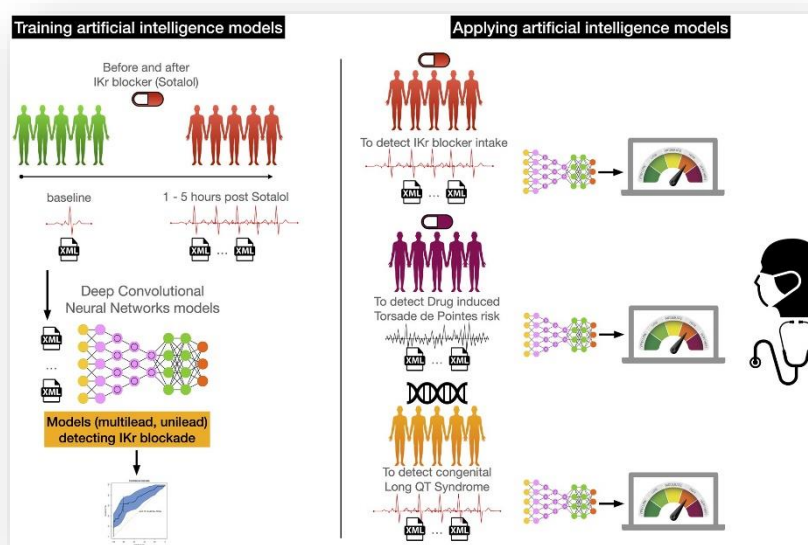


Figure 56 - Détection du syndrome du QT long par réseau neuronal convolutif

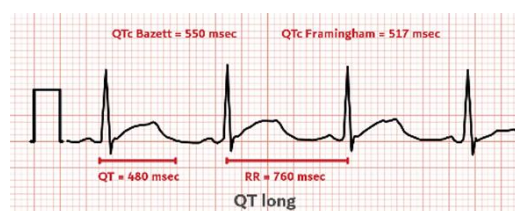


Figure 57 - Exemple d'ECG montrant un QT long

LE DIAGNOSTIC MÉDICAL ASSISTÉ PAR L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Une autre étude, plus ambitieuse, a été menée en 2021 par Fujitsu et l'hôpital universitaire de Tokyo, afin d'analyser les ECG avec l'IA afin de détecter précocement un large panel d'anomalies cardiaques dans l'optique de mettre en place des traitements à titre préventif [57].

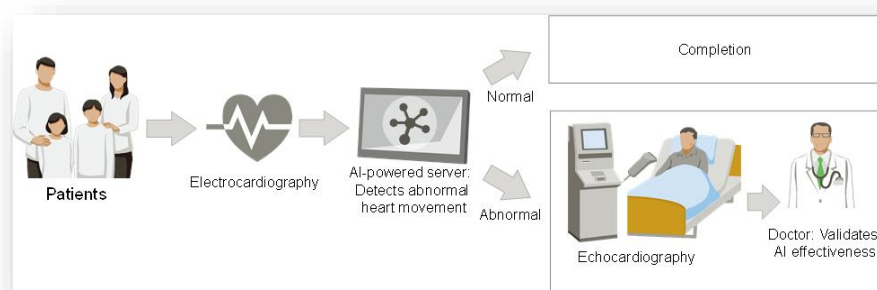


Figure 58 - Flux de la recherche menée par Fujitsu

Le but ici est également de soulager les cardiologues d'une partie de leurs prérogatives en effectuant un triage des patients en amont grâce à l'IA.

Les patients réalisent en premier lieu un ECG, dont les résultats seront analysés par l'IA qui détectera ou non des anomalies. Si elle n'en détecte pas, le parcours de soin s'arrête, mais si elle en détecte (ou si un doute subsiste), le patient est adressé au cardiologue qui effectuera une échographie cardiaque pour confirmer ce que l'IA aura détecté, et mettre en place un traitement le cas échéant.

Dans ce processus, il est important de voir, et c'est le cas avec toutes les autres applications de l'IA en médecine actuellement, que la charge de la validation reste au médecin. A la nuance près que si l'IA ne détecte rien d'anormal, il n'y aura pas de prise en charge. Ce qui peut être dangereux à moins que l'on soit totalement sûr de la fiabilité de l'outil. Je reviendrai plus tard sur la gestion des responsabilités qui pose de nombreuses questions lors de l'utilisation d'IA dans le processus de diagnostic...

2.3.3 L'examen dermatologique assisté par l'IA

Dans le cadre de l'examen physique chez le dermatologue, la détection des grains de beauté anormaux afin de prévenir le mélanome est un enjeu important.

En effet, depuis des décennies, l'incidence des cancers cutanés est en nette augmentation, ce qui s'applique au mélanome qui est un type particulier parmi ces cancers [58].

En 2019, pour la première fois, un réseau de neurone convolutif arrive à classifier aussi bien qu'un panel de 145 dermatologues différents grains de beautés (nævus) soit comme étant inoffensifs ou potentiellement malins [59].

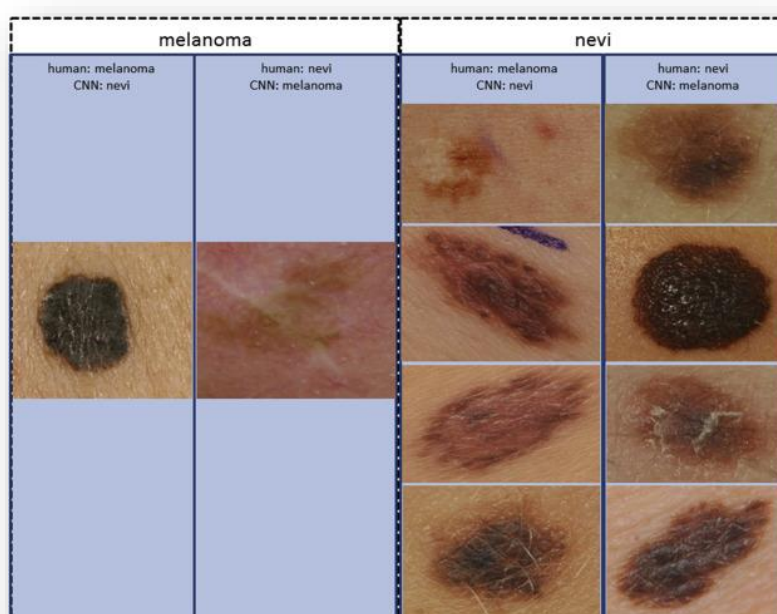


Figure 59 – Extrait des résultats de détection de mélanomes

Sur l'image ci-dessus, dans la partie de gauche, les deux seuls cas avérés de mélanome sur lesquels les dermatologues et le réseau de neurones n'ont pas été d'accord. Et sur la partie de droite, un échantillon de nævi avérés sur les 24 images où sont apparus des désaccords.

Ainsi, dans ce domaine précis, on remarque que l'IA est devenue aussi performante que l'Homme. Mais il faut mettre en perspective ces résultats avec le fait que les dermatologues qui ont participé à l'étude avaient en grande majorité entre 0 et 5 ans d'expérience sur le terrain, ce qui est peu.

2.3.4 L'examen de la parole pour détecter des troubles cognitifs

Enfin, le dernier exemple d'examen que je vais aborder pour lequel l'IA peut s'avérer d'une très grande aide, c'est l'examen de la parole.

En effet, Katie Fraser, une étudiante diplômée de l'université de Toronto a découvert des centaines de marqueurs de la santé neurologique à travers parole et le langage [60].

Fort de ces découvertes, elle a cofondé en 2015 Winterlights Labs qui a pour but de détecter très précocement grâce au machine learning de nombreux troubles cognitifs dont la maladie d'Alzheimer, et ce en analysant des enregistrements sonores des personnes en train de parler [61].

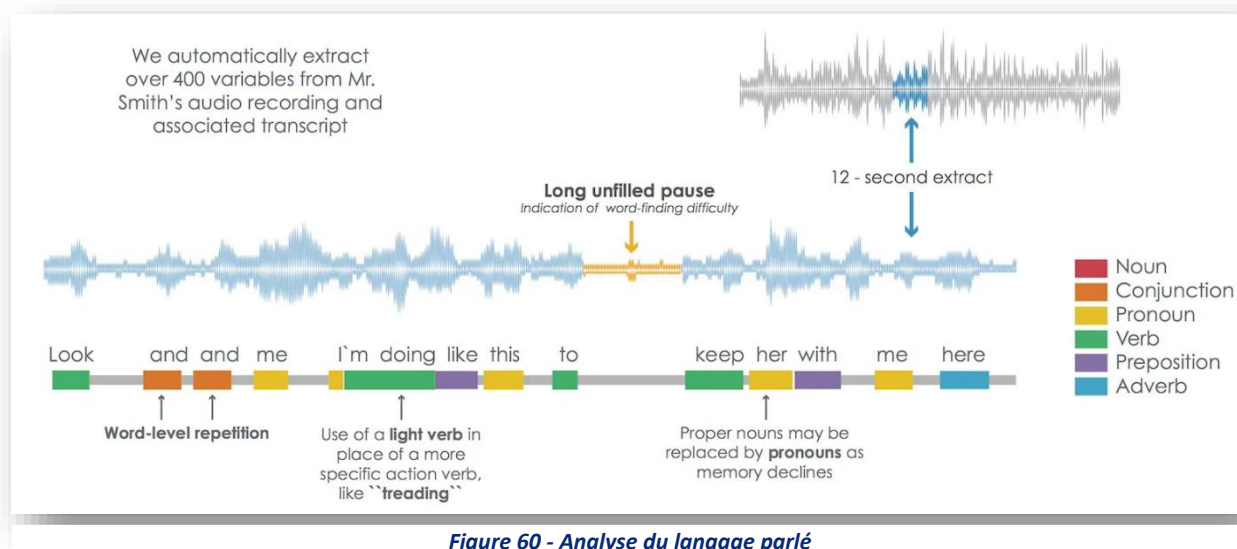


Figure 60 - Analyse du langage parlé

Sur l'image ci-dessus, un exemple de représentation d'enregistrement audio montrant une pause dans le flux de la phrase, une répétition d'un mot, l'utilisation d'un verbe générique à la place d'un verbe plus précis. Ce sont ces marqueurs qui peuvent indiquer que la personne souffre, précocement ou non, d'un trouble cognitif.

C'est ce genre de marqueur que l'IA va chercher à détecter, ainsi que de nombreux autres, afin de tenter d'établir un diagnostic.

L'outil est pour l'instant disponible en langue anglaise mais plusieurs autres (dont le français) doivent être rajoutées courant 2022.

2.4 Les examens complémentaires assistés par l'IA

Nous arrivons enfin à la dernière étape qu'un médecin peut demander avant de poser son diagnostic : les examens complémentaires. Cette étape n'est pas systématique et c'est au médecin d'en juger la pertinence ou pas suivant les informations dont il dispose.

Ces examens se déclinent en deux grands types :

- Les actes d'imagerie médicale (scanner, IRM, scintigraphie etc.)
- Les analyse biologiques (sang, urine etc.)

Je vais donc dans cette partie donner quelques exemples d'application intégrant de l'IA pour assister dans ces différents types d'analyse.

2.4.1 ProFound AI™ : Un outil pour le dépistage du cancer du sein

ProFound AI™ [62] est une solution utilisant le Deep Learning cherchant à détecter les lésions cancéreuses sur les mammographies.

Il est très apprécié des radiologues, en particulier sur les cas normaux, car aidant à valider en quelques secondes seulement l'absence de cancer.

Examples with Certainty of Finding Scores for Calcification Detections

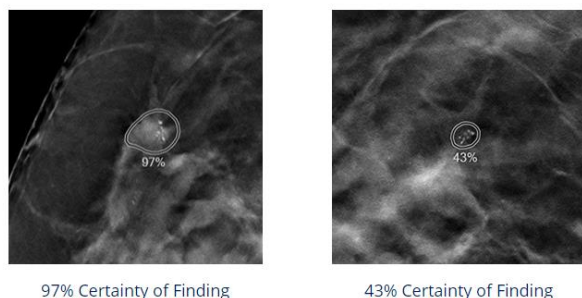


Figure 61 - Détection de tumeurs malignes avec l'aide de ProFound AI™

« L'arrivée de la plateforme ProFoundAI a complètement changé notre façon de lire les cas de tomosynthèse. C'est un outil très puissant et extrêmement utile qui améliore notre confiance diagnostique notamment pour les lésions subtiles et les seins denses », a

déclaré le Dr Patrick Toubiana, Radiologue, Président et Co-Fondateur du Centre CSE Imagerie Médicale Numérique à Paris [63].

La solution a été cliniquement approuvée pour améliorer la détection des cancers du sein, tout en réduisant les faux positifs et les rappels inutiles de patients [64].

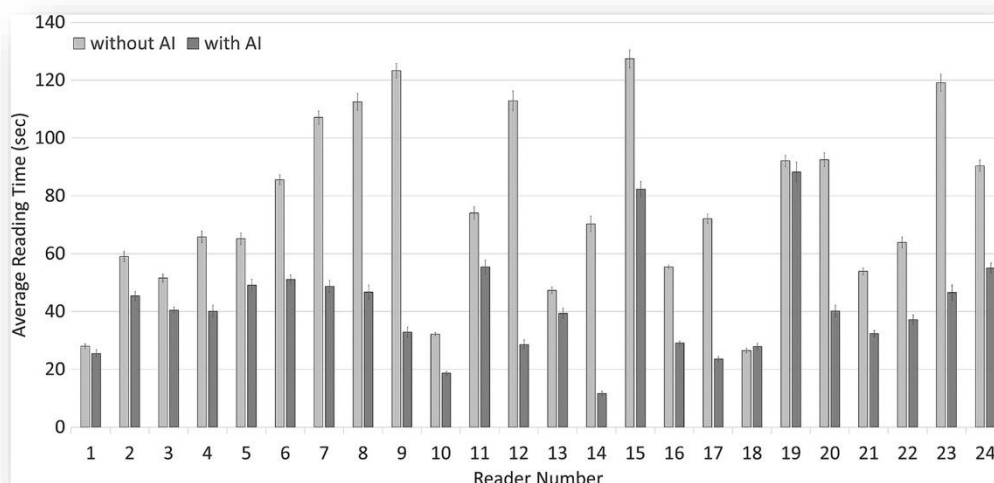


Figure 62 - Temps moyen d'une lecture d'image avec/sans ProFound AI™

Ainsi, l'outil s'avère très pratique pour épauler le radiologue, et n'effectuera pas le travail à sa place. En effet, une validation humaine reste indispensable à ce jour.

2.4.2 QMenta : Une plateforme spécialisée dans l'imagerie neurologique

Toujours dans le domaine de l'imagerie médicale assistée par l'IA, QMenta est une plateforme cloud spécialisée en neuro-imagerie qui s'attelle à aider les neurologues et chercheurs à dépister plus rapidement différents types de pathologies du cerveau [65].

Leurs différents algorithmes d'IA vont donc chercher suivant les cas des biomarqueurs de pathologie sur les images issues de scanner, IRM ou autres, de les analyser et les quantifier.

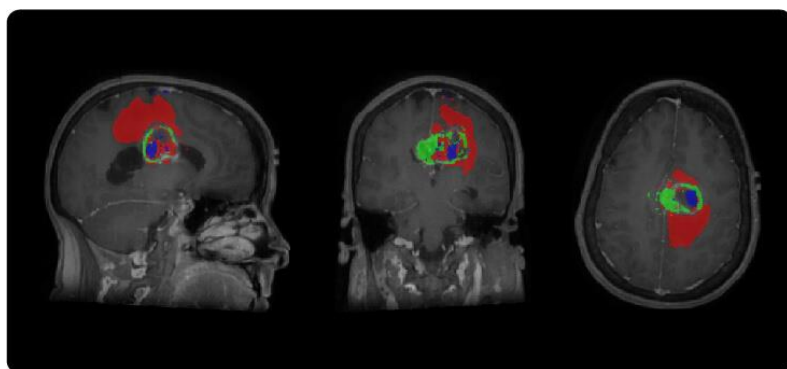


Figure 63 - Quantification automatique d'une tumeur cérébrale

Par exemple, dans le cas de tumeurs cérébrales, ils ont un système qui permet de quantifier automatiquement le volume de la tumeur, en la délimitant automatiquement sur les images, le tout en utilisant le Deep Learning.

Ils ont des solutions pour aider à la détection et l'analyse de tumeurs donc, à la détection des troubles neuro-dégénératifs comme Alzheimer, de la sclérose en plaque et des maladies neuropsychiatriques [66].

2.4.3 xRblood : l'analyse de sang à domicile pilotée par IA

Autre type d'examen complémentaire dans le but d'obtenir, de confirmer ou d'infirmer un diagnostic, c'est l'analyse sanguine.

Généralement effectuée en laboratoire dédié, elle permet de détailler la composition du sang afin d'en détecter les anomalies. Il existe de nombreuses analyses, des plus communes en vue d'établir un examen standard, à des plus spécifiques pour chercher une donnée en particulier.

Dans ce domaine, il existe un système, xRblood, qui promet, grâce à une IA, d'effectuer une analyse de sang « à domicile avec un niveau de qualité équivalent à celles faites en laboratoire sur simple pression d'un bouton » [67].

De plus, dans sa version « pro », il permet d'effectuer une lecture rapide des tests de diagnostics (comme les tests du Covid-19, de la prostate, du tétanos et bien d'autres [68]).



Figure 64 - Lecture d'un test Covid grâce à xRblood pro

Ainsi, un tel outil utilisé dans un cabinet de médecin, pourrait éventuellement accélérer le diagnostic en effectuant l'analyse sanguine sur place.



Figure 65 - xRblood dans un cabinet médical

2.5 Quid des systèmes experts ?

Nous avons vu précédemment que les systèmes experts imitaient le raisonnement d'un expert dans un domaine bien précis grâce à leur base de faits, leur base de règles et leur moteur d'inférence.

De plus, dans le cas de l'assistant anamnèse, nous avons vu que des systèmes experts étaient utilisés avec du deep learning en complément.

Ainsi, pourquoi ne pas en développer un qui comprendrait toutes les connaissances médicales afin d'établir des diagnostics ?



Figure 66 - Système expert TI adapté au diagnostic médical

Des tentatives dans ce sens ont été effectuées...

Je vais citer l'exemple de Personal Consultant Plus, qui était un ensemble d'outil de développement de systèmes experts proposé dans les années 80 par Texas Instruments.

Avec cet ensemble d'outil, des médecins pouvait créer leur propre système expert afin de faciliter leurs diagnostics [69].

Mais l'utilisation d'un unique système expert pour l'établissement des diagnostics a ses limites. En effet, pour être totalement efficace il doit être alimenté avec des données totalement

exhaustives, or le fonctionnement du corps humain

n'est pas entièrement connu, et de plus, on ne connaît pas non plus tous les diagnostics dont un être humain peut souffrir (il existe encore des maladies inconnues, ou du moins dont la cause est inconnue (idiopathique)).

Ainsi, à l'heure actuelle, même si l'idée a pu être alléchante d'utiliser ce genre de système pour automatiser les diagnostics médicaux, elle se heurte aux limites des connaissances actuelles en médecine [70].

2.6 Synthèse

Nous avons donc vu plusieurs applications utilisant l'IA dans les différentes étapes amenant un médecin à établir un diagnostic.

Il existe bon nombre de solutions et de nouvelles verront le jour encore à l'avenir. L'IA est en train de révolutionner le diagnostic médical, malgré des débuts timides car beaucoup se méfiaient de cette technologie qui commence seulement à être adoptée.

Ce que je retiens de ces recherches, c'est que, malgré des tentatives, il n'existe pas à l'heure actuelle une solution unique pour établir un diagnostic mais une multitude d'outils hyper-spécialisés qui peuvent assister le praticien. Ce que je mets en relation avec les différents types d'intelligences artificielles vues dans la première partie.

En effet, actuellement nous avons affaire à une multitude d'ANI qui vont aider dans des domaines très spécialisés et non encore d'une IA forte qui pourra gérer l'ensemble du processus de diagnostic, mais plus tard, à la manière des voitures autonomes, peut être verront nous une telle IA émerger ?

Néanmoins, cela pose de nouvelles questions éthiques, et c'est une des raisons pour laquelle l'IA a émergé tardivement dans l'histoire de la médecine.

Et c'est sur quelques-unes de ces questions que je vais enchaîner afin d'aborder la dernière partie de ce rapport.



Figure 67 - Couverture du Time du 21 février 2011

3 CRAINTES, RESPONSABILITES ET ETHIQUE

3.1 La peur d'être remplacé

L'innovation a de tout temps empli d'espoir l'humanité, mais également alimenté ses craintes. La peur que son travail devienne inutile est l'une d'entre elles...

En effet, les avancées ont rendu des métiers obsolètes, par exemple l'imprimerie a remplacé les scribes, les robots ont remplacé nombre d'ouvriers, et la liste est longue...

L'IA pourra-t-elle un jour rendre les médecins obsolètes ? Comme le craignait le médecin que j'ai rencontré il y a 20 ans ?

La question a été posée sérieusement, plus particulièrement en ce qui concerne les radiologues.

En effet, le secteur de la médecine qui utilise le plus l'IA, et pour laquelle elle est le plus adaptée à l'heure actuelle, est bien l'imagerie médicale, dont nous avons vu quelques exemples d'application.

« Tu veux faire radiologie ? Et tu n'as pas peur d'être remplacé par l'Intelligence Artificielle d'ici peu de temps ? [71] », c'est une question que tous les internes en radiologie depuis quelques années ont entendu au moins une fois.

Néanmoins, ce n'est pas d'actualité. En effet, comme l'argumente Alexandre Nérot, assistant en radiologie au CH d'Annecy, se pose le problème de la spécificité, car le machine learning reposant sur un nombre conséquent d'images à analyser, il serait difficile d'acquérir de telles données pour des pathologies rares, notamment avec les lois de protection des données existantes.

De plus, la question de la responsabilité se poserait également en cas d'erreur.

Ainsi, le radiologue serait toujours indispensable à l'interprétation et la décision finale lui appartiendrait toujours.

Et selon Curtis Langlotz, radiologue à Stanford : "L'IA ne remplacera pas les radiologues, mais les radiologues qui utilisent l'IA remplaceront les radiologues qui ne l'utilisent pas".

3.2 Un gros enjeu autour de la protection des données

Comme nous l'avons vu, l'IA en général et le machine learning en particulier, nécessitent une très grande quantité de données pour atteindre des résultats fiables. Et dans le domaine médical, ce sont des données personnelles très sensibles.

Dans notre monde actuel où les données personnelles se vendent à prix d'or, il est nécessaire d'établir un cadre légal afin de les protéger.

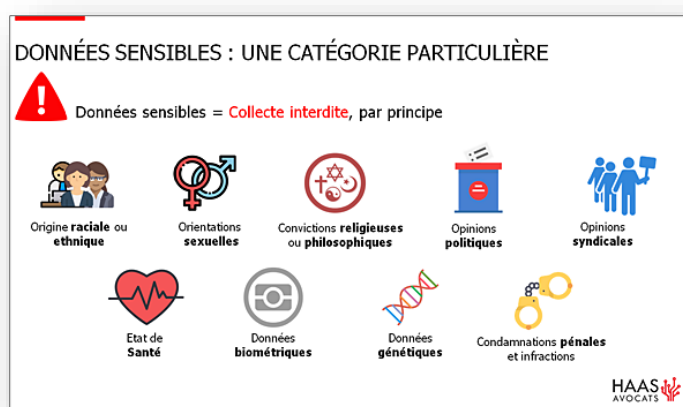


Figure 68 - Liste des données sensibles du RGPD

En Europe, le Règlement Général à la Protection des Données (RGPD) est en application depuis le 25 mai 2018 dans ce but, et, de plus, classe les données médicales dans la catégories des données sensibles [72]. Cette classification restreint d'autant plus la possibilité de leur collecte et traitement, sauf dans des cas très

précis (notamment si la personne a donné son consentement libre et éclairé, ou que leur collecte est nécessaire à la sauvegarde de la vie humaine).

Ce règlement n'est cependant applicable qu'aux ressortissants de l'Union Européenne... Et comme nous avons vu précédemment, des recherches en IA sont effectuées un peu partout dans le monde, dont des pays qui n'ont pas du tout le même rapport à la protection des données qu'en UE... Comme les USA ou surtout la Chine, où la collecte des données a été quasi-institutionnalisée, même si celle-ci a récemment adopté une loi de protection des données [73].

3.3 En cas d'erreur, qui est responsable ?

Une autre grande question qui se pose avec la mise en place de solution intégrant l'IA dans le domaine médical en général, est la responsabilité en cas d'erreur.

L'IA, comme nous l'avons vu à maintes reprises, n'est pas infaillible, même si elle tend à des résultats plus performants que l'analyse humaine.

Et dans le domaine de la santé, une erreur peut être question de vie ou de mort... Donc cette question doit nécessairement être posée.

Des travaux législatifs ont commencé en ce sens au niveau européen. Ainsi, dans sa résolution du 16 février 2017, le Parlement européen recommande à la Commission européenne de se doter d'un nouvel instrument législatif afin d'appréhender l'autonomie grandissante des robots et de l'IA [74].

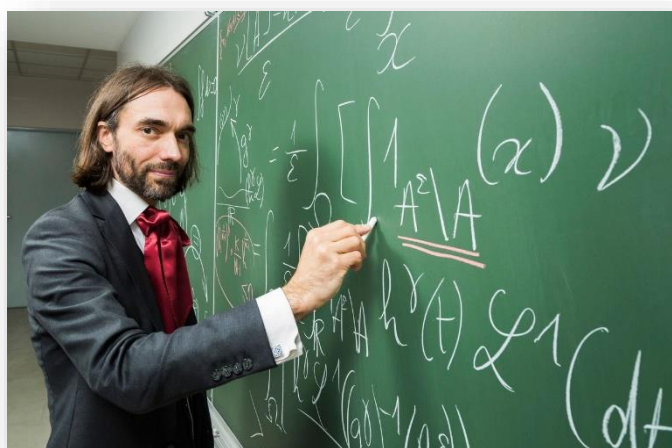


Figure 69 - Cédric Villani

Dans son rapport du 28 mars 2018, Cédric Villani préconise l'instauration d'une responsabilité humaine plutôt qu'une responsabilité fictive du système utilisant l'IA [75].

Ainsi, nous nous dirigeons vers une utilisation des systèmes intégrant l'IA comme une aide, la décision et la responsabilité de celle-ci étant toujours du ressort des praticiens. Ils ne pourront pas se décharger de leur responsabilité en arguant que l'IA les aurait induits en erreur.

Conclusion générale

Nous en sommes donc à la conclusion de ce rapport...

Et je puis répondre, après toutes ces recherches, à l'affirmation du médecin que j'avais consulté il y a 20 ans :

Sa « machine à tout faire » n'existe pas !

Mais il n'avait pas tort sur tout, dans le sens où l'IA prend une place de plus en plus importante dans la médecine, et plus particulièrement dans l'établissement des diagnostics médicaux.

Mais au lieu d'une seule machine à tout faire comme il le présupposait, nous avons actuellement une multitude d'outils intelligents, hyper spécialisés dans un domaine précis, qui peuvent aider les médecins dans la plupart des étapes déjà en place depuis des années pour l'établissement des diagnostics.

Et ce qui ressort beaucoup de toutes ces recherches, c'est que nous n'en sommes qu'aux balbutiements, l'IA est jeune et est vectrice de très grands espoirs et de très grandes peurs.

Ainsi, cette « machine à tout faire », même si elle n'existe pas, pourrait éventuellement arriver avec l'hypothétique avènement un jour de l'IA Générale.

Et dans ce cas la véritable question à se poser serait :

Est-ce que l'Homme réussira à utiliser à bon escient un tel outil ?

Bibliographie

- [1] R. J. a. D. K. D. Sternberg, *What is intelligence?*, Norwood, N.J. : Ablex Pub. Corp, 1986.
- [2] Iago, «Intelligence Artificielle, comment préserver la place de l'Homme ?», 2020-2021. [En ligne]. Available: <https://iagotechnologie.fr/face-a-lintelligence-artificielle-comment-preserver-la-place-de-lhomme-au-travail/>.
- [3] H. Gardner, *Multiples Intelligences: The theory in practice*, New York: Basic Books, 1993.
- [4] D. Goudeseune, «Pourquoi éviter l'impasse que constitue la théorie des intelligences multiples en éducation?», 26 12 2018. [En ligne]. Available: <https://par-temps-clair.blogspot.com/2018/12/pourquoi-eviter-limpasse-que-constitue.html>.
- [5] J.-L. Laurière, *Intelligence artificielle – Résolution de problèmes par l'homme et la machine*, Paris: Eyrolles, 1987.
- [6] D. Nakache, «Conférence Dijon IA Mensa», 29 09 2018. [En ligne]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=hYGnz5c0kXA>.
- [7] Blue frog robotics, «Buddy - Le robot émotionnel», [En ligne]. Available: <https://buddytherobot.com/fr/buddy-le-robot-emotionnel-famille/>.
- [8] M. L. Minsky, «Intelligence Artificielle», [En ligne]. Available: https://fr.wikipedia.org/wiki/Intelligence_artificielle.
- [9] A. Demoulin, «Las de son job et des humains, un robot se suicide en se jetant dans une fontaine», 18 07 2017. [En ligne]. Available: <https://www.20minutes.fr/high-tech/2106247-20170718-las-job-humains-robot-suicide-jetant-fontaine>.
- [10] G. Tiberghien, *La psychologie cognitive survivra-t-elle aux sciences cognitives ?*, Psychologie Française, 1999.
- [11] G. Vergnaud, *Les sciences cognitives en débat - Première école d'été du CNRS sur les sciences cognitives*, CNRS, 1992.
- [12] Med Sci, *Parcourir l'histoire de l'intelligence artificielle, pour mieux la définir et la comprendre*, vol. 36, Paris, 07/10/2020, pp. 919-923.
- [13] J.-G. Ganascia, «Peut-on contenir l'intelligence artificielle ?», *Pouvoirs*, vol. 170, pp. 71-81, 3 2019.
- [14] DeepMind, «AlphaGo | DeepMind», [En ligne]. Available: <https://deepmind.com/research/case-studies/alphago-the-story-so-far>.
- [15] B. & V. B. Bouzy, «Le jeu de Go et l'intelligence artificielle», 1992.
- [16] R. V. e. L. Laurianne, «Exemple d'IA forte», 2014-2015. [En ligne]. Available: <https://sites.google.com/site/g1043ia/exemples-d-utilisation/exemple-d-ia-forte>.
- [17] D. Rushe, «La révolution des voitures autonomes attendra», *Courrier International*, 25 07 2019.
- [18] J. L. J. C. K. S. R Wang, «Paired Open-Ended Trailblazer (POET): Endlessly Generating Increasingly Complex and Diverse Learning Environments and Their Solutions», 21 02 2019.
- [19] C. Collodi, *Les aventures de Pinocchio*, 1883.
- [20] S. Spielberg, *Réalisateur, A.I.* [Film]. Warner Bros Pictures, 2001.
- [21] S. Hawking, Interviewee, *Stephen Hawking warns artificial intelligence could end mankind*. [Interview]. 02 12 2014.
- [22] J. Searle, «Minds, brains, and programs», *Behavioral and Brain Sciences*, vol. 3, n° %13, pp. 417-457, 1980.
- [23] Stanford encyclopedia of Philosophy, «The chinese room argument», 20 2 2020. [En ligne]. Available: <https://plato.stanford.edu/entries/chinese-room/>.
- [24] A. Turing, «Computing machinery and intelligence», *Mind*, vol. LIX, n° %1236, pp. 433-460, 10 1950.

- [25] intelligence-artificielle.com, «Test de Turing – Un test pour mesurer l'intelligence artificielle,» 09 2021. [En ligne]. Available: <https://intelligence-artificielle.com/test-de-turing/>.
- [26] S. & N. P. Russell, Artificial intelligence: a modern approach., 2002.
- [27] M. Longeart, Intelligence et intentionnalité. Critique de l'argument de Searle contre l'intelligence artificielle., vol. 30, Dialogue, 1991, pp. 85-102.
- [28] Blog Arc Optimizer, «Intelligence Artificielle: Comprendre les différents types,» 22 07 2019. [En ligne]. Available: <https://blog.arcoptimizer.com/intelligence-artificielle-comprendre-les-differents-types>.
- [29] Wikipédia, «Logique,» 20 01 2022. [En ligne]. Available: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Logique#Histoire>.
- [30] G. Villemin, «Nombres premier en quantité infinie,» [En ligne]. Available: <http://villemin.gerard.free.fr/ThNbDemo/NbPreInf.htm#demo>.
- [31] All Sapiens, «Dédution, Induction, Abduction,» [En ligne]. Available: <https://allsapiens.wordpress.com/le-savoir/deduction-induction-abduction/>.
- [32] ESIEE, «Chronologie IA,» [En ligne]. Available: <https://perso.esiee.fr/~delemarn/Intelligence%20Artificielle/chronologie.html>.
- [33] Wikipédia, «Loi de Moore,» [En ligne]. Available: https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_de_Moore.
- [34] Neuralink, «Applications - Neuralink,» [En ligne]. Available: <https://neuralink.com/applications/>.
- [35] Britannica, «DENDRAL | expert system | Britannica,» [En ligne]. Available: <https://www.britannica.com/technology/DENDRAL>.
- [36] G. Saint-Cirgue, «Apprentissage supervisé : Introduction,» 2 07 2019. [En ligne]. Available: <https://machinelearnia.com/apprentissage-supervise-4-etapes/>.
- [37] K. Kelley, «Machine Learning : les 9 types d'algorithmes les plus pertinents en entreprise,» 08 06 2020. [En ligne]. Available: <https://www.lemagit.fr/conseil/Machine-Learning-les-9-types-dalgorithmes-les-plus-pertinents-en-entreprise>.
- [38] Wikipédia, «Apprentissage par renforcement,» [En ligne]. Available: https://fr.wikipedia.org/wiki/Apprentissage_par_renforcement.
- [39] W. S. & P. W. McCulloch, «A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity.,» *The bulletin of mathematical biophysics*, vol. 5, n° 14, pp. 115-133, 1943.
- [40] J. Chaput, «Votre cerveau en 15 chiffres clés,» 2018. [En ligne]. Available: <https://www.futura-sciences.com/sante/actualites/biologie-votre-cerveau-15-chiffres-cles-51904/>.
- [41] Wikipédia, «Yann Le Cun,» [En ligne]. Available: https://fr.wikipedia.org/wiki/Yann_Le_Cun#cite_note-13.
- [42] Y. B. Y. & H. G. LeCun, «Deep learning,» *nature*, vol. 521, n° 17553, pp. 436-444, 2015.
- [43] J. O'Malley, «Captcha if you can: how you've been training AI for years without realising it,» 12 01 2018. [En ligne]. Available: <https://www.techradar.com/news/captcha-if-you-can-how-youve-been-training-ai-for-years-without-realising-it>.
- [44] Google, «Assisted Melody,» [En ligne]. Available: <https://artsandculture.google.com/experiment/cAGcgh18Zi7DqQ>.
- [45] M. J. ., N. T. Mike Schuster, «Zero-Shot Translation with Google's Multilingual Neural Machine Translation System,» 22 11 2016. [En ligne]. Available: <https://ai.googleblog.com/2016/11/zero-shot-translation-with-googles.html>.
- [46] J. Jouanna, «Hippocrate,» 1996.
- [47] Académie nationale de médecine, «06-12 Le diagnostic en médecine : histoire, mise en œuvre présente, perspectives,» 20 06 2006. [En ligne]. Available: <https://www.academie-medecine.fr/06-12-le-diagnostic-en-medecine-histoire-mise-en-uvre-presente-perspectives/>.

- [48] L. Etienne, «Schéma relation Médecin-patient,» 25 03 2011. [En ligne]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=b7hj2jvLCHY>.
- [49] Anamnèse, «Medical Knowledge Graph : pour modéliser la connaissance médicale,» 2017. [En ligne]. Available: <https://pro.anamnese.care/fr/modules-modelisation-connaissance-medecale/>.
- [50] Babylon Health, «Ask Babylon,» 2021. [En ligne]. Available: <https://www.babylonhealth.com/en-gb/product/ask-babylon>.
- [51] Tencent, «中国问诊、就诊方式的数字化转型,» 29 06 2021. [En ligne]. Available: <https://www.tencent.com/zh-cn/articles/2201172.html>.
- [52] S. Rebouh, «Ambulancier tué à Besançon,» 30 08 2021. [En ligne]. Available: <https://france3-regions.francetvinfo.fr/bourgogne-franche-comte/doubs/besancon/ambulancier-tue-en-intervention-a-besancon-selon-les-premiers-elements-de-l-enquete-2229259.html>.
- [53] Lomaco, «Logiciel Transport Sanitaire,» 2021. [En ligne]. Available: <https://lomaco.fr/logiciel-transport-sanitaire-regulation/#regulation>.
- [54] H. Jalinière, «Une intelligence artificielle autorisée à poser des diagnostics,» 16 04 2018. [En ligne]. Available: https://www.sciencesetavenir.fr/sante/e-sante/une-intelligence-artificielle-autorisee-a-poser-des-diagnostics_123082.
- [55] Digital Diagnostics, «IDx-DX,» 2021. [En ligne]. Available: <https://www.digitaldiagnostics.com/products/eye-disease/idx-dr/>.
- [56] A. F. G. D. A. P. I. D. C. F.-B. Y. K. A. D.-S. F. B. Q. S. W. A. L. J.-D. Z. D. M. R. F. E. Edi Prifti, «Deep learning analysis of electrocardiogram for risk prediction of drug-induced arrhythmias and diagnosis of long QT syndrome,» *European Heart Journal*, vol. 42, n° %138, pp. 3948-3961, 07 10 2021.
- [57] Fujitsu Limited, «Fujitsu and University of Tokyo Hospital Embark on Joint Research into AI to Aid the Fight Against Heart Disease,» 11 10 2021. [En ligne]. Available: <https://www.fujitsu.com/global/about/resources/news/press-releases/2021/1011-01.html>.
- [58] T. J. P. C. G. DAMSIN, «Le projet TeleSPOT: Détection précoce du mélanome par télédermoscopie en Médecine générale,» *Revue Médicale de Liège*, vol. 74, n° %112, 2019.
- [59] A. H. A. H. E. J. K. A. H. C. B. B. S. S. H. D. S. S. F. J. S. U. C. v. K. W. L.-P. J. S. Titus J. Brinker, «A convolutional neural network trained with dermoscopic images performed on par with 145 dermatologists in a clinical melanoma image classification task,» *European Journal of Cancer*, vol. 111, pp. 148-154, 2019.
- [60] Université de Toronto, «University of Toronto startup Winterlight Labs created a revolutionary platform that uses speech patterns to detect early signs of brain disorders,» 2015. [En ligne]. Available: <https://www.utoronto.ca/entrepreneurs/winterlight>.
- [61] Winterlight Labs, «Monitoring cognitive impairment through speech,» 2022. [En ligne]. Available: <https://winterlightlabs.com/>.
- [62] iCAD, «ProFound AI® - The Clear Leader in Breast AI,» 2022. [En ligne]. Available: <https://www.icadmed.com/profoundai.html>.
- [63] biotech info, «La plateforme ProFound AI™ révolutionne la prise en charge du dépistage du cancer du sein,» 11 07 2020. [En ligne]. Available: <https://biotechinfo.fr/article/la-plateforme-profound-ai-revolutionne-la-prise-en-charge-du-depistage-du-cancer-du-sein/>.
- [64] E. e. a. Conant, «Improving Accuracy and Efficiency with Concurrent Use of Artificial Intelligence for Digital Breast Tomosynthesis,» 2019.
- [65] QMenta, «QMenta - About Us,» 2018-2022. [En ligne]. Available: <https://www.qmenta.com/our-mission/>.
- [66] QMenta, «Imaging diseases packages,» 2018-2022. [En ligne]. Available: <https://www.qmenta.com/imaging-diseases-packages>.

- [67] xRapid, «xRBlood», 2020. [En ligne]. Available: <https://xrapid-group.com/xrblood/>.
- [68] xRapid, «xRBlood Pro», 2020. [En ligne]. Available: <https://xrapid-group.com/xrblood-pro/>.
- [69] Micro-Systèmes, «TI et IA», *Micro-Systèmes*, n° 164, p. 65, 05 1986.
- [70] L. Etienne, «Systèmes expert, les outils de la médecine 3.0», 2013. [En ligne]. Available: <http://www.zeblogsante.com/systemes-experts-les-outils-de-la-medecine-3-0/>.
- [71] A. Nérot, «Les radiologues remplacés par l'intelligence artificielle ? Un interne s'attaque aux idées reçues», 2020. [En ligne]. Available: <https://www.lequotidiendumedecin.fr/specialites/radiologie/les-radiologues-remplaces-par-lintelligence-artificielle-un-interne-sattaque-aux-idees-recues>.
- [72] CNIL, «Donnée sensible», 2018. [En ligne]. Available: <https://www.cnil.fr/fr/definition/donnee-sensible>.
- [73] M. Bocoum, «LA CHINE ADOPTE À SON TOUR UNE LOI SUR LA PROTECTION DES DONNÉES.», 08 11 2021. [En ligne]. Available: <https://www.village-justice.com/articles/chine-adopte-son-tour-une-loi-sur-protection-des-donnees,40090.html>.
- [74] M. Hardy, «NOUVELLE RÉOLUTION DU PARLEMENT EUROPÉEN SUR L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE», 29 04 2019. [En ligne]. Available: <https://itlaw.fr/nouvelle-resolution-du-parlement-europeen-sur-l-intelligence-artificielle/>.
- [75] C. Villani, «Donner un sens à l'intelligence artificielle : pour une stratégie nationale et européenne», 2018.
- [76] J. Bourreau, «Anamnese», 15 01 2019. [En ligne]. Available: <https://vimeo.com/311523480>.

Table des illustrations

FIGURE 1 - LES 9 TYPES D'INTELLIGENCES SELON HOWARD GARDNER.....	5
FIGURE 2 - FEU ADAPTATIF	6
FIGURE 3 - COMPAGNON EMOTIONNEL BUDDY	7
FIGURE 4 - "SUICIDE" D'UN ROBOT DE SURVEILLANCE A WASHINGTON.....	7
FIGURE 5 - LES DIFFERENTS DOMAINES DES SCIENCES COGNITIVES	8
FIGURE 6 - PLATEAU JEU DE GO.....	9
FIGURE 7 - AUTOPSIE D'UNE VOITURE AUTONOME	10
FIGURE 8 - LA VOITURE AVANT VS APRES	10
FIGURE 9 - LES AVENTURES DE PINOCCHIO	11
FIGURE 10 - AFFICHE DU FILM A.I.....	11
FIGURE 11 - LOGO DE LA MACHINE FICTIVE SKYNET	12
FIGURE 12 - SCHEMA TEST DE TURING.....	13
FIGURE 13 - LE PROGRAMME ELIZA.....	13
FIGURE 14 - LA CHAMBRE CHINOISE	15
FIGURE 15 - DEUX APPROCHES POSSIBLES POUR LA CLASSIFICATION.....	16
FIGURE 16 - EXEMPLE DE SYLLOGISME	18
FIGURE 17 - DEDUCTION / INDUCTION / ABDUCTION	19
FIGURE 18 - HISTOIRE DE L'IA MODERNE	20
FIGURE 19 - GRAPHIQUE DE L'EVOLUTION DE L'IA	21
FIGURE 20 - EXEMPLE D'IMPLANT DANS LE JEU VIDEO CYBERPUNK 2077	21
FIGURE 21 - SCHEMA SYSTEME EXPERT	22
FIGURE 22 - AKINATOR - EXEMPLE DE CONCLUSION	22
FIGURE 23 - PLACE DU MACHINE LEARNING ET DU DEEP LEARNING DANS L'IA.....	23
FIGURE 24 - PRINCIPE DE L'APPRENTISSAGE SUPERVISE	24
FIGURE 25 - PRINCIPE DE L'APPRENTISSAGE NON SUPERVISE	25
FIGURE 26 - LE CLASSIFICATEUR BAYESIEN NAÏF	25
FIGURE 27 - PRINCIPE DE L'APPRENTISSAGE PAR RENFORCEMENT.....	26
FIGURE 28 - REPRESENTATION SIMPLE DU Q-LEARNING VS DEEP Q-LEARNING.....	26
FIGURE 29 - PERFORMANCES DU DEEP LEARNING.....	27
FIGURE 30 - SCHEMA D'UN NEURONE BIOLOGIQUE	27
FIGURE 31 - SCHEMA D'UN NEURONE ARTIFICIEL	27
FIGURE 32 - PETIT RESEAU DE NEURONES.....	28
FIGURE 33 - ARCHITECTURE GENERALE D'UN RESEAU CONVOLUTIF	28
FIGURE 34 - RECONNAISSANCE D'IMAGES	29
FIGURE 35 - THE NEXT REMBRANDT	30
FIGURE 36 - ASSISTED MELODY DE GOOGLE	30
FIGURE 37 - GOOGLE NEURAL TRANSLATION MACHINE.....	31
FIGURE 38 - L'IA DANS LE DIAGNOSTIC MEDICAL.....	32
FIGURE 39 - HIPPOCRATE.....	33
FIGURE 40 - LEONARD DE VINCI ETUDE DES MUSCLES DE L'EPAULE.....	33
FIGURE 41 - MORGAGNI - DE SEBITUS.....	33
FIGURE 42 - ILLUSTRATION D'UNE EXPERIENCE DE WILLIAM HARVEY	34
FIGURE 43 - PREMIERE RADIOGRAPHIE DE L'HISTOIRE: LA MAIN DE BERTA RÖNTGEN	34
FIGURE 44 - APPAREIL A IRM	34
FIGURE 45 - SCHEMA DE LA RELATION MEDECIN-PATIENT	35

FIGURE 46 - EXTRAIT DE LA PRESENTATION VISIO D'ANAMNESE PAR JEROME BOURREAU [76].....	37
FIGURE 47 - CAS D'USAGES D'ANAMNESE	37
FIGURE 48 - INTERFACE IOS DE SYMPTOM CHECKER.....	38
FIGURE 49 - CAPTURE D'UNE PUBLICITE POUR WEIXIN APPLIQUE A LA SANTE	38
FIGURE 50 - LOGO DE L'APPLICATION WECHAT / WEIXIN.....	39
FIGURE 51 - VEHICULE D'ARLEUX AMBULANCES (PHOTO PERSONNELLE)	40
FIGURE 52 - TAUX DE RAPPEL / TAUX DE PRECISION	41
FIGURE 53 - CAPTURE D'ECRAN DE L'APPLICATION THELIS DE LOMACO	41
FIGURE 54 - UNE AUSCULTATION	42
FIGURE 55 - FONCTIONNEMENT GENERAL DE IDX-DR	43
FIGURE 56 - DETECTION DU SYNDROME DU QT LONG PAR RESEAU NEURONAL CONVOLUTIF	44
FIGURE 57 - EXEMPLE D'ECG MONTRANT UN QT LONG.....	44
FIGURE 58 - FLUX DE LA RECHERCHE MENEES PAR FUJITSU	45
FIGURE 59 – EXTRAIT DES RESULTATS DE DETECTION DE MELANOMES	46
FIGURE 60 - ANALYSE DU LANGAGE PARLE.....	47
FIGURE 61 - DETECTION DE TUMEURS MALIGNES AVEC L'AIDE DE PROFOUND AI™	48
FIGURE 62 - TEMPS MOYEN D'UNE LECTURE D'IMAGE AVEC/SANS PROFOUND AI™	49
FIGURE 63 - QUANTIFICATION AUTOMATIQUE D'UNE TUMEUR CEREbraLE.....	49
FIGURE 64 - LECTURE D'UN TEST COVID GRACE A XRBLOOD PRO	50
FIGURE 65 - XRBLOOD DANS UN CABINET MEDICAL	50
FIGURE 66 - SYSTEME EXPERT TI ADAPTE AU DIAGNOSTIC MEDICAL	51
FIGURE 67 - COUVERTURE DU TIME DU 21 FEVRIER 2011	52
FIGURE 68 - LISTE DES DONNEES SENSIBLES DU RGPD.....	54
FIGURE 69 - CEDRIC VILLANI.....	55

Glossaire / Abréviations

A

abduction	19
Raisonnement par lequel on restreint dès le départ le nombre des hypothèses susceptibles d'expliquer un phénomène donné.	
AGI	11
Artificial General Intelligence	
anamnèse	36
Ensemble des renseignements fournis au médecin par le malade ou par son entourage sur l'histoire d'une maladie ou les circonstances qui l'ont précédée.	
ANI	9
Artificial Narrow Intelligence	
ASI	12
Artificial Super Intelligence	
auscultation	34
Technique diagnostique consistant à écouter les bruits produits par les organes (cœur, poumons), à l'aide d'un stéthoscope.	
axone	27
Prolongement constant, unique de la cellule nerveuse ou neurone sous la forme d'un filet axial qui peut atteindre plusieurs décimètres et que parcourt l'influx nerveux	

B

BAC	40
Brigade Anti Criminalité	
bactériologie	34
La bactériologie est une spécialité scientifique qui a pour sujet d'étude les bactéries. La bactériologie est une branche de la biologie. Elle permet notamment de combattre des virus et de trouver des traitements.	
BATX	38
BATX est un sigle formé sur le modèle de GAFAM (Google, Amazon, Facebook, Apple, Microsoft) en juxtaposant les initiales des quatre entreprises du Web chinois dans les années 2010 : Baidu, Alibaba, Tencent et Xiaomi	
big data	20
Les big data ou mégadonnées désignent l'ensemble des données numériques produites par l'utilisation des nouvelles technologies à des fins personnelles ou professionnelles.	
biomimétisme	8
Le biomimétisme (littéralement : imitation du vivant) consiste à s'inspirer des solutions de sélection naturelle adoptées par l'évolution, pour en transposer les principes et les processus en matière d'ingénierie humaine.	

C

chatbot	13
Un chatbot est un robot logiciel pouvant dialoguer avec un individu ou consommateur par le biais d'un service de conversations automatisées pouvant être effectuées par le biais d'arborescences de choix ou par une capacité à traiter le langage naturel.	
cognitif	8
Qui se rapporte à la faculté de connaître.	

D

déduction	19
Enchaînement de propositions suivant des règles définies, constituées par des axiomes et des règles d'inférence.	
dendrite	27
Prolongement ramifié du neurone.	
DMP	41
Dossier Médical Partagé	

E

ECG	44
Electro Cardiogramme	

G

GAFAM	29
GAFAM est l'acronyme des géants du Web — Google (Alphabet), Apple, Facebook (Meta), Amazon et Microsoft	

I

IA	7
Intelligence Artificielle	
immunologie	34
Spécialité biologique et médicale qui étudie l'ensemble des mécanismes de défense de l'organisme contre les antigènes (agents pathogènes extérieurs).	
induction	19
Opération mentale qui consiste à remonter des faits à la loi, de cas particuliers à une proposition plus générale (opposé à déduction).	

M

maladie d'Alzheimer	47
La maladie d'Alzheimer est une maladie neuro dégénérative (Atteinte cérébrale progressive conduisant à la mort neuronale) caractérisée par une perte progressive de la mémoire et de certaines fonctions intellectuelles (cognitives) conduisant à des répercussions dans les activités de la vie quotidienne.	
Mensa	7
Organisation internationale dont le seul critère d'admissibilité est d'obtenir des résultats supérieurs à ceux de 98% de la population à des tests d'intelligence.	
MKG	37
Medical Knowledge Graph	

N

neurotransmetteurs	27
Médiateur chimique synthétisé et libéré par un neurone, permettant à celui-ci de transmettre des messages en se fixant sur d'autres cellules.	

R

RGPD	54
Règlement Général à la Protection des Données	

S

syndrome du QT long44

Le syndrome du QT long (SQTL) se caractérise par une anomalie de la repolarisation ventriculaire consistant en un allongement de l'intervalle

QT sur l'électrocardiogramme (ECG) en 12 dérivations, exposant les patients qui en sont atteints à un risque significatif de syncope ou de mort

subite dû à des troubles du rythme ventriculaire graves