

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE LA 2^{EME} ANNEE DE MASTER

Année universitaire 2018-2019
Master Ingénierie de la Santé parcours HealthCare Business

COMMENT L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE PEUT- ELLE CONTRIBUER À AMÉLIORER LE DIAGNOSTIC EN IMAGERIE MÉDICALE

Sous la direction de Monsieur Benjamin TARTER

Composition du jury :

Madame Hélène GORGE Présidente de Jury
Monsieur Benjamin TARTER Directeur de mémoire
Monsieur Alexandre WALLARD 3^{ème} Membre de Jury

REMERCIEMENTS

La rédaction d'un mémoire de fin d'étude symbolise l'achèvement d'un cycle d'études universitaire, et une transition vers un milieu professionnel, le monde du travail. Je tiens à adresser quelques remerciements envers toutes les personnes qui m'ont accompagnées tant dans la rédaction de ce mémoire, que dans mon parcours professionnel.

Je tiens en premier lieu à remercier tout particulièrement **Monsieur Benjamin TARTER**, en ses qualités de Chef Produit Santé de la Femme chez Samsung Healthcare, directeur de ce mémoire, mais également en tant que responsable hiérarchique lors de la réalisation et le déroulement de mon contrat de professionnalisation pour Samsung Healthcare. Benjamin a su être, dès mon entrée en entreprise, doué d'une grande sollicitude et de bienveillance à mon égard. Ses conseils, son expertise et sa disponibilité m'ont permis d'exercer le métier d'Ingénieur d'Application Ultrasons dans les meilleures conditions possibles lors de mon contrat de professionnalisation, et pour un avenir à durée indéterminée.

Benjamin, toutes ces qualités et ce professionnalisme font de toi un vrai leader au sein de l'équipe Samsung Healthcare, et un vrai mentor professionnel me concernant.

Mes remerciements vont également à **Madame Emilie Fleury** en sa qualité de Chef Produit Radiologie Ultrasons chez Samsung Healthcare, ses conseils, ses connaissances et sa disponibilité m'ont permis de m'améliorer et d'élargir mon champ de compétences.

Je remercie également mes collègues de travail, pour leur accueil dans l'entreprise, leurs conseils leur bonne humeur et leurs compétences qui contribuent à faire de Samsung Healthcare un réel leader sur le marché de l'échographie.

Je tiens également à remercier toute l'équipe commerciale privée et publique de Samsung Healthcare avec qui je travaille en étroite collaboration et toujours dans la bonne humeur, merci à vous de rendre ce métier passionnant.

Mes remerciements vont également à **Madame Hélène Gorge** pour ses précieux conseils et la qualité de ses enseignements dispensés qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Enfin, je tiens à adresser mes sincères remerciements à **l'ILIS**, qui a su nous donner les outils théoriques et professionnels lors du déroulement de notre master, merci aux enseignants et intervenants passionnés et dévoués, qui contribuent à nous réaliser et faire de nous de d'excellents professionnels sur le marché du travail.

SOMMAIRE

Remerciements.....	3
Table des illustrations	6
Glossaire.....	7
Introduction	8
L'intelligence artificielle, Innovation de rupture	11
Qu'est ce que l'intelligence artificielle	11
Intelligence artificielle et industrialisation.....	12
Comment fonctionne l'intelligence artificielle	13
<i>L'intelligence artificielle forte</i>	13
<i>L'intelligence artificielle faible</i>	16
<i>Le test de Turing (The Imitation Game)</i>	17
Notions d'Apprentissage Profond et d'Apprentissage Automatique	19
<i>L'apprentissage automatique</i>	19
<i>L'apprentissage profond</i>	20
Les freins du développement de l'intelligence artificielle	22
Les perspectives de développement de l'Intelligence artificielle en imagerie médicale.....	25
Le diagnostic en imagerie médicale Aujourd'hui	26
<i>L'imagerie Structurale</i>	26
<i>L'imagerie Fonctionnelle</i>	26
Les apports de l'Intelligence artificielle	27
<i>Les apports sur le traitement de l'image</i>	28
<i>Le système expert</i>	30
Les outils d'Aide au Diagnostic aujourd'hui	32
<i>S-Detect™, un outil avancé d'aide au diagnostic</i>	33
<i>Le 5D CNS+</i>	35
Perspectives d'évolution de l'IA en imagerie médicale.....	39
<i>L'exemple de BioMind</i>	39
<i>L'exemple de DeepMind</i>	40
Stratégie de développement de l'intelligence artificielle à long terme	41

L'intelligence artificielle d'un point de vue éthique	43
Problématique éthique, enjeux et considérations	43
Démarches européennes	46
Conclusion.....	48
Bibliographie	49
Annexes	53
Exemple de Poster : Categorization of focal breast lesions according to the Ultrasound Breast Imaging Reporting and Data System (BI-RADS US) lexicon: Role of a computer aided decision making support (S-Detect™)	53
Comment l'intelligence artificielle peut elle contribuer à améliorer le diagnostic en imagerie médicale	60
How Artificial Intelligence could improve Diagnosis in medical imaging	60

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Illustration graphique de la croissance exponentielle de l'informatique/an/1000\$.....	15
Figure 2 : Schéma de principe du test de Turing.....	18
Figure 3 : Composition de l'Intelligence Artificielle	22
Figure 4 : Croissance du nombre de transistors dans les microprocesseurs Intel par rapport à la loi de Moore. (15)	23
Figure 5 : Actes Inscrits à la CCAM par grande catégorie en 2016.....	25
Figure 6 : SUPPRESSION des structures osseuses sur une radiographie des poumons grace à l'AI (source Samsung Healthcare)	29
Figure 7 : Compensation de la diffraction des rayons X grâce à un algorithme d'IA (source Samsung Healthcare).....	30
Figure 8 : Principe de fonctionnement du Raisonnement à partir de cas	32
Figure 9 : Résultat de l'analyse effectuée par le S-Detect sur une lésion mammaire	34
Figure 10 : Catégorisation de 160 lésions avant et après évaluation S-Detect. ...	34
Figure 11 : Résultat de l'analyse effectuée par le S-Detect sur une lésion thyroïdienne	35
Figure 12 : Placement des deux points de référence lors de l'utilisation du 5D CNS+	37
Figure 13 : Résultats de l'analyse effectuée par le 5D CNS+	38
Figure 14 : Diagramme comparatif entre DeepMind et deux groupes d'ophtalmologues.....	41

GLOSSAIRE

4P : Médecine Prédicative, Personnalisée, Préventive, Participative

AI : Artificial Intelligence

BI-RADS : *Breast Imaging-Reporting and Data System*

Big Data : anglicisme signifiant littéralement « grosses données », ou mégadonnées, désigne des ensembles de données devenus si volumineux qu'ils dépassent les capacités humaines d'analyse et même celles des outils informatiques classiques de gestion de base de données ou de l'information.

CAD : *Computer Assisted Detection* = Détection assisté par ordinateur

CCAM : Classification Commune des Actes Médicaux

FNMR : Fédération Nationale des Médecins Radiologues

IA : Intelligence Artificielle (abréviation utilisée dans ce mémoire)

IRM : Imagerie par Résonance Magnétique

IRMf : Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle

MIT : Massachusetts Institute of Technology

RCP : Réunion de Concertation Pluridisciplinaire

RGPD : Règlement Général sur la Protection des Données

SFR : Société Française de Radiologie

TI-RADS : *Thyroid Imaging-Reporting and Data System*

INTRODUCTION

La médecine est une science qui consiste en l'art de guérir, cherchant à préserver le fonctionnement normal du corps humain et la santé physique et psychique des individus. Les premières traces écrites de données médicales datent d'environ -1500 av.J.-C. il s'agit d'un document qui fût acheté par Edwin Smith en 1862 et qui documente la façon de soigner 48 types de blessures orthopédiques. Il s'agit de la première trace écrite d'une médecine fondée sur la science et ayant une approche rationnelle et non mystique. Hippocrate est considéré comme un des pères fondateurs de la médecine moderne, qui a donné le courant de pensée de la médecine contemporaine. Cette médecine utilise la recherche scientifique et les progrès technologiques pour diagnostiquer et traiter les maladies et blessures, grâce à l'étude de la physiologie et la mise en place de nouvelles approches thérapeutiques, mais également grâce à la prophylaxie.

L'application et la généralisation de la médecine occidentale depuis le XIX^{ème} siècle a permis l'allongement de la durée de vie des patients, la réduction de la mortalité infantile, l'émergence de la vaccination et l'éradication d'épidémies telles que la peste, la tuberculose, l'élaboration de traitements contre le cancer. Les progrès constants de la médecine découlent également des progrès de l'imagerie médicale, avec la découverte des rayons X par Wilhelm Röntgen puis l'invention du tube à rayon X et la première radiographie de la main réalisée le 22 décembre 1895. Depuis la radiologie n'a cessé de se perfectionner. L'apparition de la tomodensitométrie, la tomographie par émission de positons (TEP), de même que l'imagerie par résonance magnétique (IRM) et l'échographie n'ont cessé de donner des outils de plus en plus fiables et précis pour les praticiens et médecins contribuant à l'amélioration du dépistage du diagnostic et des soins. Toutes ces évolutions en termes de technique de diagnostic par imagerie médicale sont corrélées aux progrès de l'informatique et de la programmation. Les logiciels d'interprétation ont une importance considérable après l'acquisition des données et permettent aux médecins et notamment aux radiologues d'effectuer leur diagnostic en salle d'interprétation sur un poste informatique.

Ces évolutions permettent un diagnostic et une interprétation plus rapide pour les praticiens comme les patients, cela renforce la qualité de la prise en charge et

diminue le stress pour les patients. De plus ces examens dits multimodaux, c'est à dire réalisés sous différentes techniques d'imagerie, soit en même temps soit séparément, peuvent être ce que l'on appelle *recalés* ensembles au sein d'un même document ou d'un même fichier, rendant la lisibilité des images meilleure et facilitant donc le diagnostic.

Cette médecine est dite aujourd'hui médecine des « 4P » pour Prédictive, Personnalisée, Préventive et Participative. Cependant l'interprétation des images et l'établissement d'un diagnostic par imagerie médicale repose toujours sur un praticien ou un opérateur, et peut donc être qualifié « d'opérateur dépendant ». En effet, les procédures d'acquisition d'image sont plus ou moins standardisées, mais dépendent toujours d'un opérateur et des performances d'une machine. Ces paramètres variables d'une machine à l'autre et d'un opérateur à l'autre peuvent amener à des différences d'interprétations des images, ce qui peut entraîner un biais dans l'établissement d'un diagnostic par le médecin. Les enjeux technologiques en imagerie médicale sont donc notamment l'évolution des performances des machines d'imagerie médicale mais surtout la standardisation et l'automatisation des procédures d'acquisition d'images et de leur interprétation.

La réponse des constructeurs sur ces enjeux s'est manifestée récemment avec l'émergence de l'aide automatisée à l'interprétation des images par le biais notamment de logiciels de post-traitement d'images et l'introduction d'algorithmes d'intelligence artificielle. Le terme d'intelligence artificielle se démocratise progressivement dans le langage courant, pour autant elle peut être assez subjective et garde une part de mystère pour certains d'entre nous. Mais qu'est-ce que l'intelligence artificielle ? Comment fonctionne-t-elle ? Quels sont les bénéfices de son utilisation en imagerie médicale ? Quels sont les enjeux de l'intelligence artificielle en imagerie médicale ?

Face à ces questions, une problématique apparaît :

Comment l'intelligence artificielle peut-elle révolutionner le diagnostic en imagerie médicale ?

Pour répondre à cette problématique, nous nous focaliserons en première partie sur ce qu'est aujourd'hui l'intelligence artificielle, comment elle fonctionne, afin de mieux comprendre le contexte entre l'IA et le diagnostic en imagerie médical. En second lieu nous aborderons quelles sont les perspectives d'évolution de l'outil intelligence artificielle et la manière dont cette technologie peut métamorphoser la médecine d'aujourd'hui en médecine de demain. Enfin nous traiterons des limites de dimensions éthiques de l'intelligence artificielle appliquée au diagnostic et à la médecine de manière plus globale.

L'intelligence artificielle est une notion de conception récente, dont le terme « intelligence artificielle » a été inventé par John McCarthy en 1962, mathématicien et informaticien de renom considéré à ce jour comme l'un des pères de l'intelligence artificielle. L'intelligence artificielle est par convention abrégée en « **IA** » ou « **AI** » pour « Artificial intelligence » en langue anglaise.

John McCarthy émet un postulat qui est toujours d'actualité aujourd'hui, selon lui « toute activité intellectuelle peut être décrite avec suffisamment de précision pour être simulée par une machine ».(1)

L'IA apparaît cependant un peu plus tôt de manière plus conceptuelle en 1950, dans une publication de Alan M. Turing, considéré comme le père de l'informatique, mathématicien et théoricien qui publie *COMPUTING MACHINERY AND INTELLIGENCE* By A. M. Turing.(2)

Dans cet article qui demeure une référence en termes d'informatique et d'intelligence artificielle, Turing pose une question « *Can machines think?* »(2) que l'on peut traduire dans la langue de Molière par « *Les machines peuvent-elles penser ?* ». Cette question rhétorique définit à elle seule les enjeux de l'intelligence artificielle.

Marvin Lee Minsky, scientifique américain et confrère de John McCarthy définit l'intelligence artificielle de la manière suivante ; l'intelligence artificielle 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* »(3).

L'intelligence artificielle est donc un ensemble de théories et de techniques qui ont pour objectif de réaliser des machines et des programmes informatiques capable de simuler et potentiellement surpasser l'intelligence humaine.

Les applications potentielles de l'intelligence artificielle sont multiples et théoriquement parallèles aux applications de l'intelligence humaine, avec cependant une échelle de grandeur bien plus importante.

INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ET INDUSTRIALISATION

On peut comparer l'émergence de l'intelligence artificielle à l'industrialisation et la révolution industrielle. La première révolution industrielle est un phénomène apparu au XVIIIème siècle en Grande Bretagne, avec l'émergence de la machine à vapeur inventé par James Watt en 1769.(4) Cette révolution a bouleversé progressivement la société établie qui était jusqu'alors une société à dominante agricole et artisanale, à une société industrielle et commerciale.

La quatrième révolution industrielle a été induite par l'émergence de l'informatique, l'informatique des réseaux et la digitalisation. C'est ce que l'on appelle l'Industrie 4.0 (5), l'industrie du Big Data.

L'industrialisation et les différentes révolutions industrielles de manière générale ont contribué à changer le monde profondément, c'est ce que l'on appelle des innovations de rupture. L'informatique actuelle se résume par une informatique de production de gestion et d'information, imaginée et programmée par la main de l'Homme. L'émergence de l'intelligence artificielle peut apparaître comme étant une innovation de rupture, nous détaillerons cet aspect dans une partie à venir. L'IA va-t-elle bouleverser le monde à la manière de l'arrivée et du déploiement de l'électricité ? Elle est en tout cas dès à présent ce que l'on peut qualifier de phénomène de société, avec toutes les préoccupations qu'elle induit. Les acteurs économiques, les fabricant et les Etats l'ont bien compris. Vladimir Poutine, Président de la Fédération de Russie déclare : *"Celui qui deviendra leader en ce domaine (de l'intelligence artificielle) sera le maître du monde"*(6). Citation qui peut expliquer les craintes et la réfraction des patients comme des médecins dans le sujet qui est le nôtre. Nous allons donc étudier le principe de l'intelligence artificielle et son fonctionnement.

COMMENT FONCTIONNE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

L'intelligence artificielle est un terme regroupant une vaste notion, l'intelligence n'est-elle pas le propre de l'Homme ? On peut en effet classer le concept de l'intelligence artificielle en deux catégories, l'intelligence artificielle forte, et l'intelligence artificielle faible.

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE FORTE

L'intelligence artificielle forte est un concept d'IA qui permettrait de qualifier une machine apte à produire un comportement intelligent, mais surtout à une machine doté d'une conscience et d'une conscience de soi. L'IA forte serait donc capable de se remettre en question et de faire évoluer son fonctionnement selon sa conscience de soi. De nombreux débats existent quant à l'IA forte, et au réalisme de ce concept, certains spécialistes et scientifiques considérant que cette hypothèse est tout bonnement impossible. D'autre scientifiques et neuroscientifiques en revanche affirment désormais avoir démontrés que la conscience de l'Homme possède un support biologique et donc qui serait un support matériel (7). De cette affirmation vient l'idée qu'une intelligence artificielle consciente puisse exister sur un support matériel non biologique, grâce aux algorithmes et à l'informatique.

Le problème de la création et la mise en place de ce type d'IA repose davantage sur un problème de conception qu'un problème de capacités de calcul. Aujourd'hui l'informatique depuis son avènement repose sur un système binaire, c'est à dire sur le 1 ou 0, c'est le bit, que l'on peut traduire de manière *logique* et non *numérique* par *vrai* / *faux*. Les programmes informatiques étant tous basés sur le bit qui est l'unité fondamentale de l'informatique l'intelligence artificielle repose sur de la programmation humaine et donc sur le bit en tant qu'unité.

Les pistes envisagées pour le développement de l'intelligence artificielle forte sont l'introductions de nuances entre le 0 et le 1 du bit, soit différentes nuances entre le *vrai* et le *faux*.

L'intelligence artificielle forte se définit donc comme l'intelligence au sens littéral du terme, doté d'une conscience de soi, on peut donc imaginer des capacités similaires

à l'intelligence humaine c'est à dire des capacités d'analyse, le raisonnement, la créativité et de l'adaptation face à des situations inédites. Ce concept est envisageable dans un futur à moyen terme en utilisant une approche différente et une fois un point de singularité atteint. Cette singularité correspond à un point de basculement où les progrès de l'IA seront tels que les supports de cette dernière (les ordinateurs) seront en mesure de créer eux-mêmes des machines plus puissantes et plus efficaces que celles construites par l'homme.

Le caractère fort de ce type d'IA est liée à la capacité des algorithmes qui seront potentiellement en mesure de se réécrire se démultiplier et se répartir plus logiquement et facilement que la capacité du cerveau humain qui possède des capacités de stockage et de traitement plus limitées. Il s'agit ici du but ultime de l'intelligence artificielle, une fois le point de singularité atteint, celle-ci entrera dans un cercle vertueux d'auto-amélioration.

Raymond C. Kurzweil est un scientifique américain, professeur au Massachusetts Institute of Technology (MIT) spécialiste en recherche sur l'intelligence artificielle.(8) Il publie en 2005 un ouvrage intitulé *the Singularity Is Near (titré Humanité 2.0 en langue française)*(9). Dans cet ouvrage il se base sur la loi de Moore (qui décrit l'amélioration exponentielle incessante de la technologie numérique, sur laquelle nous reviendrons plus loin dans ce mémoire) pour calculer que les ordinateurs de bureau disposeront de la même puissance de traitement que le cerveau humain d'ici 2029, et prédit que la singularité se produira en 2045.

Pour réaliser cette estimation, Kurzweil examine différentes estimations de la capacité de calcul du cerveau et se base sur 10^{16} calculs par seconde et 10^{13} bits de mémoire. Il écrit que 1 000 dollars vont permettre à un ordinateur d'obtenir une puissance égale à celle d'un cerveau d'ici à la décennie 2020, tandis qu'en 2045, le début de la singularité, il estime qu'une même somme d'argent permettrait d'acheter un milliard de fois plus de capacité de calcul que tous les cerveaux humains combinés.

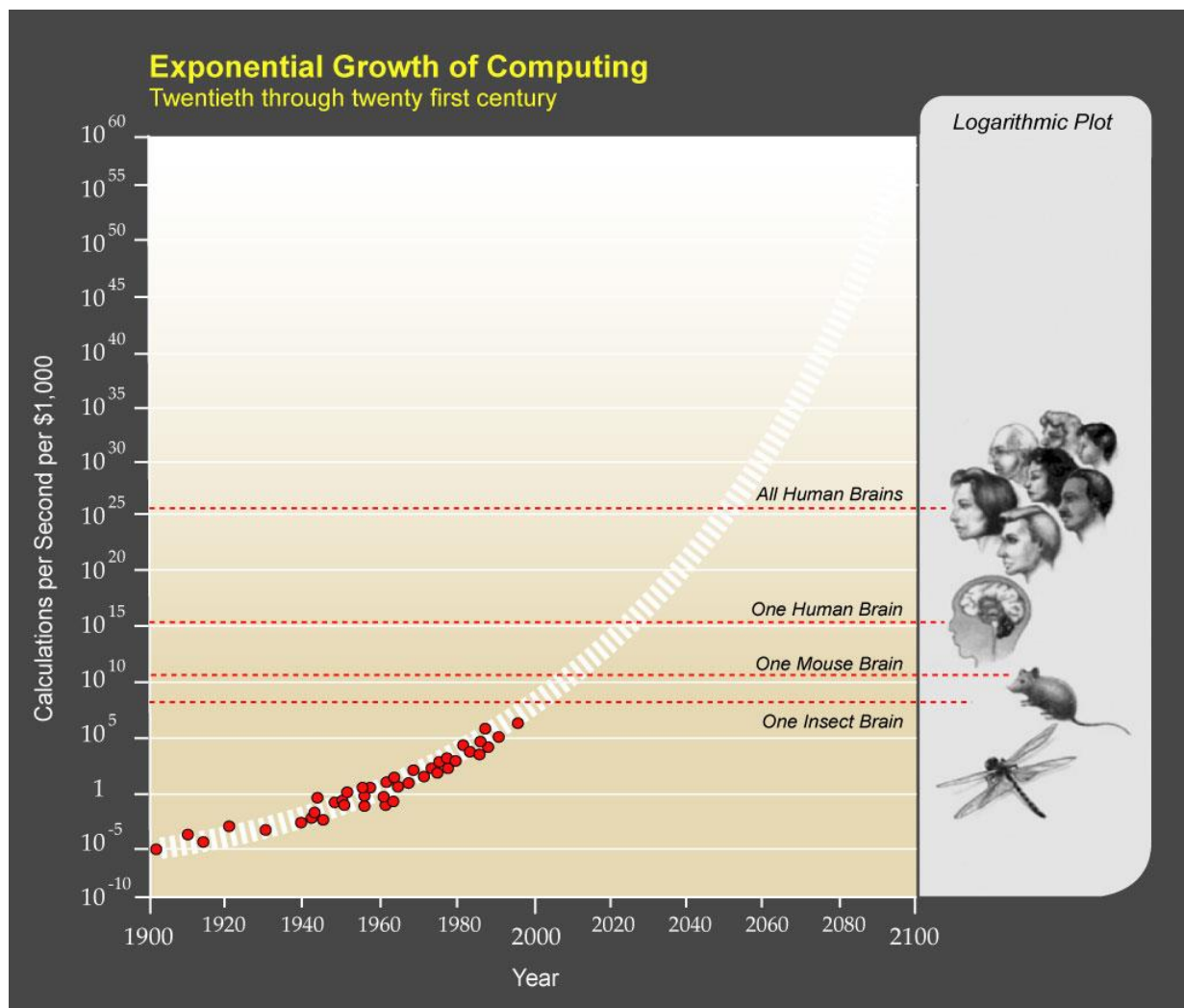


FIGURE 1 : ILLUSTRATION GRAPHIQUE DE LA CROISSANCE EXPONENTIELLE DE L'INFORMATIQUE/AN/1000\$

L'élaboration et la mise au point d'une IA forte repose donc sur la compréhension des mécanismes des circuits de la prise de décision chez l'être humain. Il est nécessaire de comprendre la conscience de soi, de son environnement et des émotions pour pouvoir créer une réelle intelligence artificielle.

L'architecture des machines actuelles est faite d'électronique et repose sur le 0 et le 1, à contrario une IA forte demande une mémoire « imparfaite » qui modifie les informations à chaque lecture en fonction des émotions de l'instant, l'IA forte ne sait prendre de décision qu'avec un processeur capable d'intégrer l'émotion.

En l'état actuel des choses l'informatique conventionnelle les mathématiques rendent la notion d'IA forte assez abstraite. Il est aujourd'hui difficile de modéliser la conscience au sens propre du terme et donc difficile d'atteindre cet objectif à court terme. Pour autant une grande partie des investissements consacrés à l'IA sont effectués sur des projets visant à mettre au point et à prouver la faisabilité du concept d'intelligence artificielle forte.

Pourtant l'intelligence artificielle est une notion acceptée et qui se démocratise, mais qu'est-ce qu'une IA faible ?

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE FAIBLE

L'IA faible est une intelligence artificielle qui n'est pas doué de sensibilité ni de conscience de soi, il s'agit d'un programme informatique qui a été écrit à l'aide de mathématiciens et d'ingénieurs en informatique qui ont mis au point les algorithmes de calculs et les lignes de code qui composent ce programme dans le but d'effectuer une tâche précise de façons plus ou moins automatisée. Il s'agit d'une approche pragmatique d'ingénieur, chercher à classer des données de manière autonome réduisant ainsi les coûts et le temps alloué normalement à cette tâche. C'est précisément ici la définition faite de l'intelligence artificielle par Marvin Lee Minsky, l'IA étant utilisé comme un outil puissant par l'Homme.

Ces programmes informatiques ne sont en réalité d'aucune façon doué d'intelligence. Il s'agit d'une reproduction d'intelligence plutôt que d'une simulation d'intelligence, le programme étant écrit de façon à suivre le cheminement de la pensée humaine. Il s'agit en réalité d'une combinaison de tests statistiques et d'hypothèses validées ou invalidées qui permettent par déduction logique d'apporter un résultat. Tous les systèmes relatifs à l'IA actuellement existants sont considérés comme étant de l'IA faible.

Pour autant, ils ne sont pas dénués d'intelligence, l'intelligence réside dans la conception de ces programmes et dans leur utilisation. Ils répondent à un besoin pour effectuer une tâche avec une puissance de calcul infiniment plus élevée que celle du cerveau humain. Dans le cadre de notre problématique, l'IA appliquée au

diagnostic en imagerie médicale a pour but d'imiter le cerveau d'un médecin. La force de l'intelligence artificielle est d'imiter le cerveau de plusieurs médecins, des milliers de médecins, ce qui rend ses capacités de traitement des données, la logique qui y est appliquée et de traitement d'images bien supérieures tant en puissance de calcul qu'en unité de temps.

La différence entre l'IA forte et l'IA faible est donc que l'IA faible est programmée pour agir comme si elle était intelligente et comme-ci elle pensait, tandis que l'IA forte est programmée pour penser.

LE TEST DE TURING (*THE IMITATION GAME*)

Le test de Turing est un test ou plutôt une proposition de test, qui a pour but de tester une intelligence artificielle. Ce test repose sur la capacité d'une machine à imiter la conversation humaine. Turing décrit ce test en 1950 dans sa publication *COMPUTING MACHINERY AND INTELLIGENCE* By A. M. Turing.(2) cité précédemment.

Il consiste à mettre un humain en confrontation verbale à l'aveugle avec un ordinateur et un autre humain et repose néanmoins sur la supposition que l'IA ait une sémantique humaine. Le test est inspiré d'un jeu d'imitation dans lequel un homme et une femme vont dans des pièces distinctes et les testeurs tentent de discuter avec les deux protagonistes en écrivant des questions et en lisant les réponses qui leur sont renvoyées dans un temps imparti. Dans ce jeu, l'individu masculin et l'individu féminin essaient tous deux de convaincre les testeurs qu'ils sont tous deux des femmes.

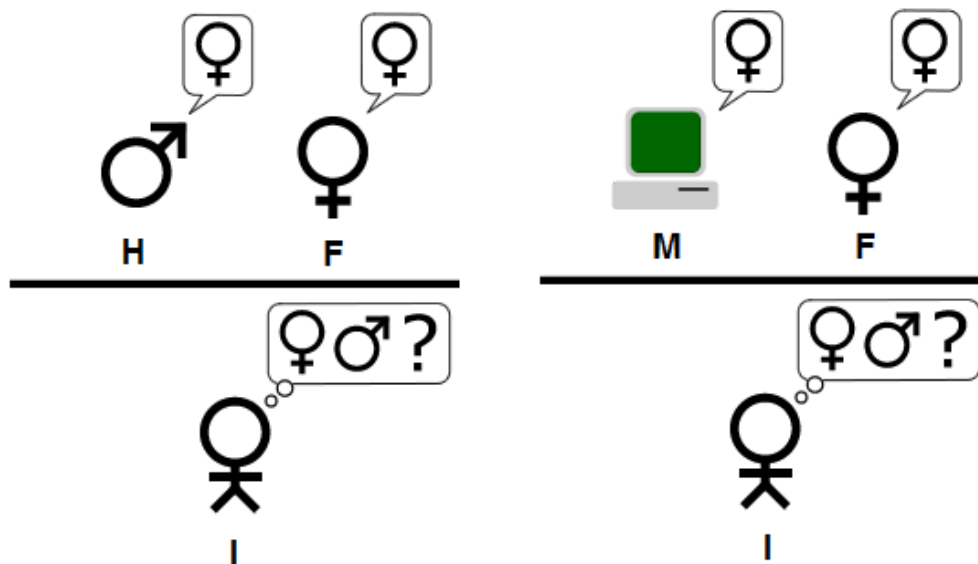


FIGURE 2 : SCHEMA DE PRINCIPE DU TEST DE TURING

Sur la figure précédente à gauche il s'agit du jeu d'imitation : l'individu « I » saura-t-il découvrir qui est la véritable femme ?

A droite, le test de Turing : « I » saura-t-il découvrir qui est la véritable femme ?

Le programme testé sera alors considéré comme une intelligence artificielle si le sujet humain qui réalise le test à l'aveugle est incapable de dire lequel de ses interlocuteurs est un humain ou une machine.

Le biais de ce test est qu'il ne teste pas l'intelligence d'un programme informatique, mais sa capacité à se comporter comme un humain. Il est donc impossible de différencier une IA forte d'une IA faible en utilisant ce test.

La description du test de Turing nous permet de comprendre que l'IA telle qu'elle est aujourd'hui, c'est à dire une IA faible, est pour le moment un programme informatique avancé qui permet d'automatiser une ou plusieurs tâches. Il s'agit donc d'un outil performant dont les applications possibles sont multiples nous permettant de gagner en efficacité et en précision.

« *Il n'y a pas d'Intelligence sans apprentissage* » Yann Le Cun, patron de l'intelligence artificielle chez Facebook.

NOTIONS D'APPRENTISSAGE PROFOND ET D'APPRENTISSAGE AUTOMATIQUE

Il existe une confusion entre IA, apprentissage automatique (*Machine Learning*) et apprentissage profond (*Deep Learning*). Pourtant, ces notions ne sont pas équivalentes, mais sont imbriquées.

L'APPRENTISSAGE AUTOMATIQUE

L'apprentissage automatique ou *Machine Learning* en anglais, est un domaine informatique qui utilise des techniques de statistiques. L'utilisation de ces techniques statistiques permet à un algorithme et donc à un ordinateur d'apprendre à partir des données qu'on lui soumet.

Le système fonctionne en deux phases, une phase d'apprentissage et d'entraînement qui est réalisé lors de la conception du système. Lors de cette phase on va estimer un modèle à partir d'observations disponibles en nombre fini.

La seconde phase est la mise en production du système, ou l'on va soumettre des données à notre système afin d'obtenir le résultat correspondant à la tâche pour laquelle le système a été créé. Le système d'apprentissage automatique va rechercher dans l'analyse des données leur correspondance et l'apparition de schémas récurrents puis il va ajuster son fonctionnement. (10)

Cette technologie existe déjà dans la vie courante depuis plusieurs années. Par exemple dans nos boîte courriel il existe un filtre anti-Spam, ce filtre repose sur un système d'apprentissage automatique. L'algorithme va analyser la composition du mail, sa provenance et son contenu pour ensuite classer le courriel dans la catégorie Spam ou non.

Il existe un autre exemple de fonctionnement de l'apprentissage automatique dans la vie courante avec les algorithmes de Facebook. En effet, le fil d'actualité d'un utilisateur de Facebook change en fonction de ses interactions personnelles avec les autres utilisateurs. Un utilisateur qui identifie souvent un de ses amis présent sur Facebook dans ses photos, interagit souvent avec lui par le biais de commentaires

postés etc. verra son fil d'actualité modifié. Son fil d'actualité montrera un plus grand nombre d'activités de son ami à l'utilisateur, l'algorithme déterminera automatiquement un lien d'amitié plus fort entre ces deux personnes qu'avec les autres membres présents dans le réseau de l'utilisateur.

L'APPRENTISSAGE PROFOND

L'apprentissage profond ou *Deep Learning* en langue anglaise est une méthode d'apprentissage qui fait partie des méthodes d'apprentissage automatique (il en découle) et repose sur ce que l'on appelle les réseaux de neurones artificiels.

Les réseaux de neurones artificiels sont inspirés par les neurones du cerveau humain. Ils sont constitués de plusieurs couches neurones artificiels connectés entre eux. Plus le nombre de neurones est élevé, plus le réseau sera profond.(11)

Le cerveau humain est composé d'environ 100 milliards de neurones qui sont connectés entre eux, chaque neurone reçoit environ 100 000 signaux électriques des autres neurones qui composent le cerveau. Au sein d'un réseau de neurones artificiels, le principe est le même, les neurones sont connectés entre eux et peuvent avoir un effet inhibiteur et excitateur sur les autres neurones. Le réseau va assigner un poids à certains neurones permettant à un neurone artificiel recevant plus de charge d'exercer plus d'effets sur les autres neurones. (12)

L'apprentissage profond fonctionne très bien sur le domaine de la reconnaissance d'image, et c'est ici ce qui nous intéresse. Le réseau de neurones doit être entraîné, (apprentissage supervisé) pour ce faire on va utiliser une base de données d'entraînement, ici des images.

Prenons l'exemple d'un réseau de neurone qui soit utilisé pour reconnaître des photos qui comportent au moins une voiture rouge avec une contrainte supplémentaire, imaginons que ce soit une Ferrari. L'algorithme doit être en mesure de reconnaître ce qu'est une voiture mais également les couleurs de ces dernières et les caractéristiques qui permettent d'affirmer qu'il s'agisse d'une Ferrari. On va donc utiliser un ensemble d'images d'entraînement qui va regrouper des milliers de photos de voitures, de voitures rouges, des Ferrari non rouges et des

images qui ne comportent pas de voitures. Ces images vont être converties en données, le réseau neurones artificiels va ensuite assigner un poids aux différents éléments présents sur les photos. Ce réseau de neurones va ensuite comparer les données traitées aux bonnes réponses indiqués par les programmeurs humains, ici quelles photos comportent des voitures rouges. Si la classification est bonne et que les données correspondent aux bonnes réponses des programmeurs le réseau de neurones va garder cette réussite en mémoire et pourra s'en servir afin de reconnaître les voitures rouges de marque Ferrari présentes sur les photos qu'on lui soumettra. Si par contre la classification n'est pas bonne, le réseau de neurones garde cette erreur en mémoire et va ajuster le poids affilié à certains neurones pour corriger cette erreur. Ce processus est répété plusieurs dizaines de milliers de fois afin d'accentuer la capacité du réseau de neurones à reconnaître des voitures rouges de marque Ferrari.

L'apprentissage profond est une technique capable d'exploiter des bases de données issues du *Big Data* qui représentent une quantité d'informations colossales et impossibles à étudier par l'Homme.

Cette technique d'apprentissage est supervisée par l'homme, et on l'appelle apprentissage profond supervisé car il s'agit d'un travail sur une base de données qui permet de rendre de plus en plus efficient le réseau de neurones et donc à l'algorithme de s'améliorer au fil du temps.

C'est exactement cette technologie qui est utilisé aujourd'hui dans l'IA appliquée à l'imagerie médicale.

L'intelligence artificielle englobe donc l'apprentissage automatique (*Machine Learning*) qui lui-même englobe l'apprentissage profond (*Deep Learning*), comme l'illustre la figure suivante :

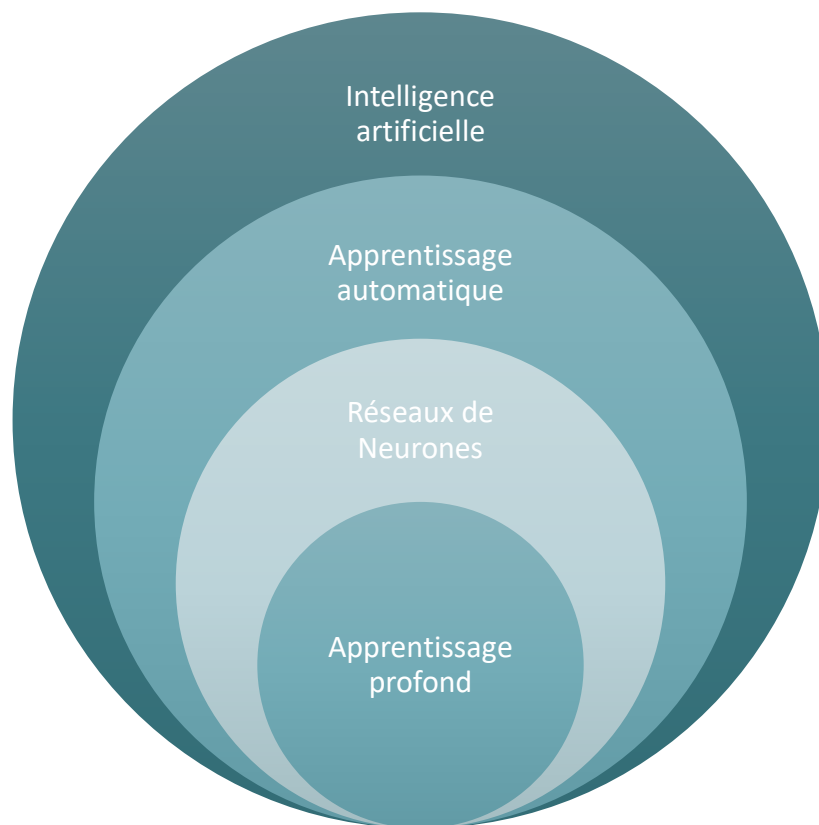


FIGURE 3 : COMPOSITION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

L'intelligence artificielle est donc une science reposant sur les données (*Big Data*) leur analyse, l'automatisation des tâches de classifications avec des modèles statistiques de façon autonome ou semi-autonome. Elle repose sur plusieurs techniques imbriquées les unes dans les autres qui ont pour but de doter les systèmes informatiques de capacités similaires à celle de l'être humain, avec cependant une puissance de calcul et de travail bien plus élevée.

LES FREINS DU DEVELOPPEMENT DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

L'émergence de l'intelligence artificielle a longtemps été réduite par un facteur limitant qu'est la puissance informatique. La puissance de calcul ne cesse d'évoluer depuis l'apparition des premiers ordinateurs et est régie par des lois empiriques que sont les Lois de Moore.(13)

Gordon E. Moore est un physicien et informaticien cofondateur de l'entreprise Intel™, qui est à l'origine des lois qui portent son nom, les Lois de Moore. Ces lois sont en réalité plutôt des postulats voir des conjectures, notamment la première Loi de Moore qui explique que la puissance de calcul informatique suit une évolution prédictible avec un doublement des capacités tous les dix-huit mois (14). Depuis une vingtaine d'années, le facteur limitant de la puissance de calcul tend à disparaître ce qui accélère l'émergence de l'intelligence artificielle et ses applications possibles.

Voir Figure 3 ci-dessous, avec en vert, la prédiction initiale voulant que ce nombre double tous les 18 mois, en bleu le postulat de la première Loi de Moore, et en rouge l'évolution du nombre de transistors dans les processeur Intel™.

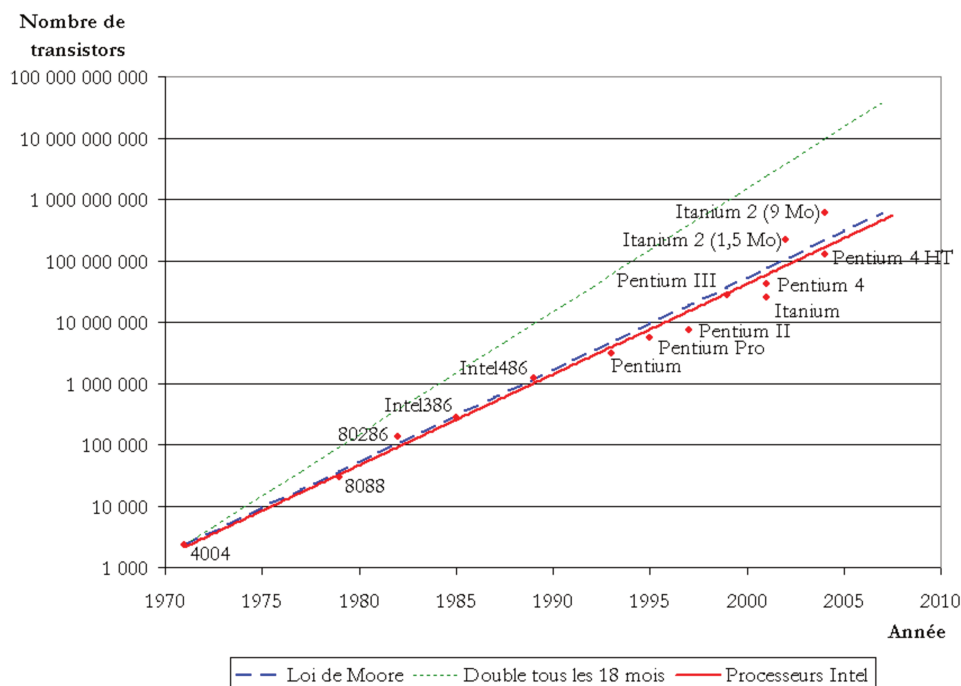


FIGURE 4 : CROISSANCE DU NOMBRE DE TRANSISTORS DANS LES MICROPROCESSEURS INTEL PAR RAPPORT A LA LOI DE MOORE. (15)

La loi de Moore risque cependant de se heurter à un mur qu'est la barrière physique au sens littéral du terme, les atomes ayant une taille fixe et non compressible, l'augmentation de la capacité des semi-conducteurs et des transistors utilisés dans les unités de calcul informatique atteignent des limites de miniaturisations qui vont impliquer un changement de paradigme et donc une approche différente.

Les progrès de l'intelligence artificielle étant directement liés et corrélés par la Loi de Moore (ou plutôt son postulat) celle-ci pourrait connaître un obstacle à son développement. En effet la barrière physique à laquelle se heurte la loi de Moore est susceptible de freiner le développement de l'intelligence artificielle dans les années à venir, de par la stagnation des performances des unités de calcul (les processeurs). C'est ce que l'on appelle déjà le Pic d'IA qui se traduirait par un point de retour sur investissement non rentable dans le développement de l'intelligence artificielle.(16)

Pour résoudre ce problème plusieurs solutions existent, par exemple l'utilisation de « Super Ordinateurs » afin de traiter les quantités colossales de données présentes dans les bases de données à analyser afin d'éduquer l'IA. On peut envisager également l'utilisation d'un maillage d'ordinateurs en réseau uniquement dédiés au traitement de ces bases de données, ce qui permet de décharger la charge de calcul à effectuer pour l'IA par ordinateurs classiques. C'est cette solution qui est déjà mise en place aujourd'hui dans nos téléphones portables, et également dans les machines utilisées en imagerie médicale. La machine utilisant l'algorithme éprouvé en tant qu'outil d'analyse sans se préoccuper de la base de données.

Il existe également des freins moraux et éthiques qui dépendent plus de la perception des individus et de la société vis à vis de l'IA que nous détaillerons en troisième partie. Cette partie initiale nous permet de comprendre tout le potentiel de l'intelligence artificielle ainsi que son fonctionnement. L'intelligence artificielle est considérée comme une innovation de rupture, suscite les passions mais aussi les craintes car c'est un concept nouveau et assez abstrait pour le commun des mortels. L'IA a pour vocation de dépasser le facteur limitant de l'Homme qui est la capacité d'intégration et de traitement de la pensée Humaine. Il faut l'envisager comme un outil performant et s'auto-améliorant plus que comme une réelle entité.

Après avoir défini les contours de ce qu'est l'intelligence artificielle, nous allons nous intéresser aux enjeux de l'intelligence artificielle en médecine, et plus particulièrement en diagnostic grâce à l'imagerie médicale.

LES PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE EN IMAGERIE MEDICALE

L'imagerie médicale est une discipline à part entière de la médecine. Elle revêt une importance fondamentale pour la santé des patients et l'établissement d'un diagnostic par un praticien.

De nos jours plus de 162 millions d'actes techniques médicaux sont réalisés chaque année par des médecins libéraux, dont plus de 71 millions d'actes d'imagerie médicale par an ce qui représente 44,1% des actes et plus de 4 milliards d'euros de remboursement par l'Assurance Maladie selon les chiffres de la CCAM.(17)

**Actes inscrits à la CCAM par grande catégorie :
quantité et montants remboursés correspondants en 2016**

	Nombre d'actes			Montant remboursé par l'Assurance Maladie			Contribution à la croissance annuelle (en points)
	Quantité ^(a)	Part dans le total de la CCAM	Évolution 2015-2016	Montant remboursé ^(b) (en milliers d'euros)	Part dans le total de la CCAM	Évolution 2015-2016	
Actes d'imagerie	71 610 111	44,1%	1,4%	4 192 336	45,0%	2,9%	1,3
Radiographie	31 242 867	19,3%	-0,6%	948 417	10,2%	-1,6%	-0,2
Échographie	28 887 756	17,8%	2,1%	1 365 067	14,7%	2,1%	0,3
Scanographie	5 391 320	3,3%	4,0%	636 221	6,8%	3,4%	0,2
IRM	4 357 515	2,7%	7,3%	795 761	8,5%	7,8%	0,6
Scintigraphie	1 013 143	0,6%	5,6%	327 579	3,5%	7,2%	0,2
Autres actes d'imagerie	717 510	0,4%	3,5%	119 291	1,3%	3,8%	0,0
Actes techniques médicaux	73 769 180	45,5%	4,8%	2 951 382	31,7%	5,9%	1,8
Actes techniques médicaux diagnostiques	52 716 790	32,5%	5,9%	1 493 117	16,0%	5,4%	0,9
Actes techniques médicaux thérapeutiques	21 052 390	13,0%	2,0%	1 458 265	15,7%	6,4%	1,0
Actes d'accouchement et actes obstétricaux	211 301	0,1%	-6,1%	102 323	1,1%	-5,0%	-0,1
Actes de chirurgie	6 607 074	4,1%	3,1%	1 776 862	19,1%	3,4%	0,7
Actes d'anatomie et cytologie pathologique	10 002 351	6,2%	0,9%	284 943	3,1%	4,9%	0,1
Ensemble des actes CCAM (hors actes dentaire)	162 200 017	100%	2,9%	9 307 846	100%	3,9%	

^(a) Hors suppléments, forfaits techniques, vidéocapsules et forfaits sécurité dermatologie et actes d'anesthésie

^(b) Y compris suppléments, forfaits techniques, vidéocapsules, forfaits sécurité dermatologie et actes d'anesthésie

Champ : tous régimes - France entière

Source : Cnam (Sniiram)

FIGURE 5 : ACTES INSCRITS A LA CCAM PAR GRANDE CATEGORIE EN 2016

Ces chiffres nous permettent de nous rendre compte de l'importance de l'imagerie médicale dans le système français. On remarque également que l'échographie occupe la deuxième place en termes de quantité d'actes effectués derrière la radiographie avec 28 887 756 actes contre 31 242 867 actes pour la radiographie.

L'échographie occupe cependant la première place en termes de montant remboursé avec 1,365 milliard d'euros.

LE DIAGNOSTIC EN IMAGERIE MEDICALE AUJOURD'HUI

Le but de l'imagerie est d'obtenir une représentation visuelle et intelligible d'un élément analysé. Elle a pour but de synthétiser une grande quantité d'informations sous forme d'images afin qu'elles puissent être analysées par un professionnel de santé qui pourra émettre un diagnostic en recoupant les autres informations dont il dispose.

On distingue plusieurs types d'imagerie médicale, l'imagerie structurelle et l'imagerie fonctionnelle.

L'IMAGERIE STRUCTURELLE

L'imagerie structurelle est un type d'imagerie qui permet d'obtenir des informations sur l'anatomie, les organes, les membres par exemple. De ces images on peut déduire le bon positionnement ou non d'un organe ou d'un membre, évaluer sa taille et sa forme.

L'imagerie structurelle repose sur plusieurs méthodes d'imagerie que sont :

- Les rayons X (Radiographie, radiologie, tomodensitométrie, etc.)
- L'imagerie par résonance magnétique nucléaire (IRM)
- L'échographie
- L'imagerie spectroscopique proche infrarouge

L'IMAGERIE FONCTIONNELLE

L'imagerie fonctionnelle repose elle sur l'étude et le fonctionnement des organes, elle permet l'étude de leur métabolisme et de leur physiologie.

Un des vecteurs de l'imagerie fonctionnelle est l'IRMf pour Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle.

Ce type d'imagerie est assez récent et est surtout impliqué à la visualisation de l'activité cérébrale. Elle consiste à enregistrer les variations hémodynamiques cérébrales à une échelle très petite. En effet, dans les zones activées par la stimulation, les besoins en oxygène par les neurones augmentent, ces besoins sont compensés par l'augmentation des flux sanguins dans cette zone. L'IRMf va ainsi détecter l'activité dans une zone donnée avec grande précision en analysant les différences de champs magnétique qui existent entre le sang oxygéné (oxyhémoglobine) et le sang non oxygéné (désoxyhémoglobine).

Le point commun de toutes ces techniques d'imagerie est qu'elles génèrent un nombre considérable d'images et un volume de données à analyser énorme.

Prenons l'exemple d'un médecin radiologue réalisant une vacation de scanner d'une durée de 3h dans un centre hospitalier. Pendant ces 3 heures de vacation le médecin va examiner 20 patients, soit 20 scanners réalisés. Un examen par scanner peut générer 2000 coupes donc 2000 images par patient pour un scanner corps entier. Le médecin radiologue peut donc théoriquement être amené à analyser jusqu'à 40 000 images sur sa console d'interprétation en 3 heures de vacation ce qui semble énorme.

Les images acquises lors des acquisitions sont couplées grâce à un imageur, ce qui permet au médecin de naviguer dans un volume de données sur sa console d'interprétation. Un pixel devient ainsi un voxel (pixel en 3 dimensions) cependant, l'analyse des images repose à 100% sur l'œil affûté du radiologue.

LES APPORTS DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Face à toutes ces problématiques de fiabilité, de coût, de temps de prise en charge, l'intelligence artificielle répond efficacement à de nombreux problèmes.

Les premiers résultats visibles de l'application de l'intelligence artificielle à l'imagerie médicale sont relatifs au traitement de l'image. En effet il existe depuis quelques années des algorithmes de traitement de signal qui permettent de rendre les images plus facilement interprétables en supprimant les artéfacts ou le bruit résiduel du signal. Ces outils de traitement de l'image fonctionnent de manière native dans les machines qui en sont équipées, l'utilisateur n'ayant pas besoin de se préoccuper des paramètres de traitements.

Ces outils de traitement de l'image permettent donc d'améliorer la clarté de l'image et ainsi diminuer le temps que le praticien devait allouer pour lire l'image.

Il existe également des outils plus avancés toujours relatifs au traitement de l'image. Par exemple lors de la réalisation d'une radiographie des poumons, les interfaces osseuses peuvent constituer un rempart visualisation et à la lecture complète de l'examen des poumons. En effet certaines parties des poumons peuvent se retrouver masquées par les os (les côtes, le sternum et les clavicules par exemple) qui apparaissent au premier plan de la radiographie.

Samsung Healthcare® développe et commercialise des tables de radiographie (GC85) et des mobiles de radiographie (GM85) permettant de réaliser des radios au chevet du patient. Ces machines possèdent une grosse unité informatique dédiée dans laquelle se trouve des outils de traitement de l'image grâce à l'intelligence artificielle. Un des algorithmes présents dans ces machines a été mis au point grâce à l'apprentissage profond (*Deep Learning*) décrit précédemment et injecté dans le système informatique de la machine. Il permet de supprimer partiellement l'apparition des os sur une radiographie, rendant l'examen plus informatif.

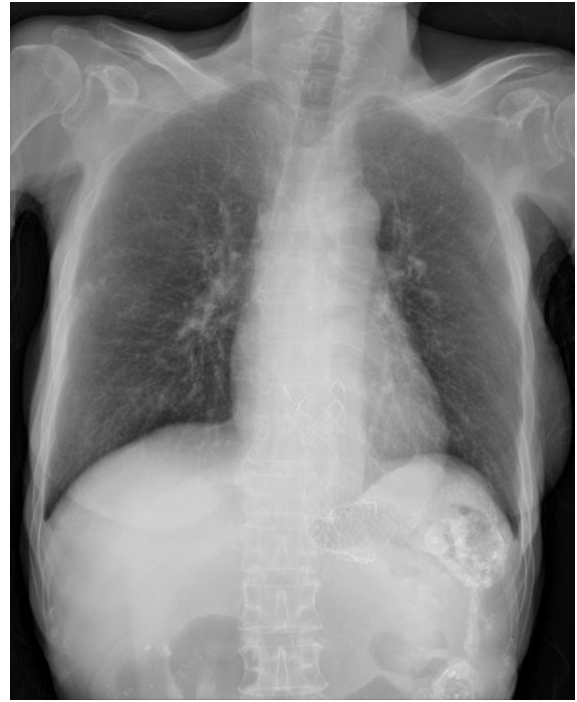


FIGURE 6 : SUPPRESSION DES STRUCTURES OSSEUSES SUR UNE RADIOGRAPHIE DES POUMONS GRACE A L'AI (SOURCE SAMSUNG HEALTHCARE)

Sur ces mêmes machines, il existe un autre algorithme de renforcement des images et des contrastes qui vise à compenser la diffraction des rayons X émis lors d'une radio.

L'algorithme a été mis au point également grâce à l'intelligence artificielle et à l'apprentissage profond (*Deep Learning*) il fonctionne par estimation du taux de diffraction des rayons X au moment de l'acquisition, puis compensation de la diffraction estimée sur le rendu radiographique. Il permet d'obtenir une image de meilleure qualité sans augmenter la puissance d'émission des rayons X. Le bénéfice est donc ici multiple, premièrement pour le patient qui sera moins exposé aux rayons X, qui sont des rayons ionisants et donc qui représentent un danger, mais également pour le praticien ou le manipulateur radio qui sera lui aussi moins exposé. Enfin autre bénéfice, l'image devient plus qualitative, on augmente les contrastes et la finesse de l'image en compensant la diffusion des rayons X. L'exemple suivant nous permet de nous faire une meilleure idée de l'effet de cet algorithme sur l'image :



FIGURE 7 : COMPENSATION DE LA DIFFRACTION DES RAYONS X
GRACE A UN ALGORITHME D'IA (SOURCE SAMSUNG HEALTHCARE)

Il s'agit ici d'un premier exemple du bénéfice de l'application de la puissance de l'intelligence artificielle à l'imagerie médicale. Nous pouvons constater que ces exemples facilitent l'interprétation des images en rendant l'information plus lisible, mais l'IA appliqué ici n'est pas en soi une aide au diagnostic.

Pour autant, il existe également des outils d'aide au diagnostic qui fonctionnent grâce à l'intelligence artificielle. Ces outils analysent l'information obtenue lors de l'acquisition des images. Ce sont des systèmes experts.

LE SYSTEME EXPERT

Un système expert est un outil basé sur l'intelligence artificielle qui permet de simuler la pensée et les mécanismes cognitifs d'un expert dans son domaine d'expertise. Ce type de système est basé sur l'apprentissage profond également (Deep Learning). Ce sont des outils d'aide au diagnostic qui permettent un gain de temps. Ils sont fondés sur un moteur d'inférence (partir des faits pour aller vers une conclusion). L'algorithme éprouvé lors de l'apprentissage profond apportant l'expertise à cet outil.

L'ensemble du moteur d'inférence et de des algorithmes mis au point par apprentissage profond constitue un outil d'aide au diagnostic d'intelligence artificielle.

Le principe de fonctionnement est similaire à un raisonnement qu'un humain expert dans un domaine précis pourrait avoir. Devant un problème il tente de trouver un problème similaire rencontré dans le passé pour résoudre le problème en suivant la logique précédemment utilisée.

Le schéma de fonctionnement de l'IA est construit sous la forme d'une base de cas qui ont chacun une description et une solution. L'IA va trouver les cas similaires au problème posé puis suggère une solution qui doit être validée par un praticien.

C'est ce que l'on appelle un *Raisonnement à partir de cas* (RàPC) ou CBR en anglais pour *Case Based Reasoning*. L'IA agit comme l'expert en suivant une logique heuristique qui élimine par déduction les alternatives au fur et à mesure de l'analyse pour ne garder que la solution la plus optimale. La force de l'IA dans ce schéma est de concentrer la capacité analytique de milliers d'experts dans ce système.

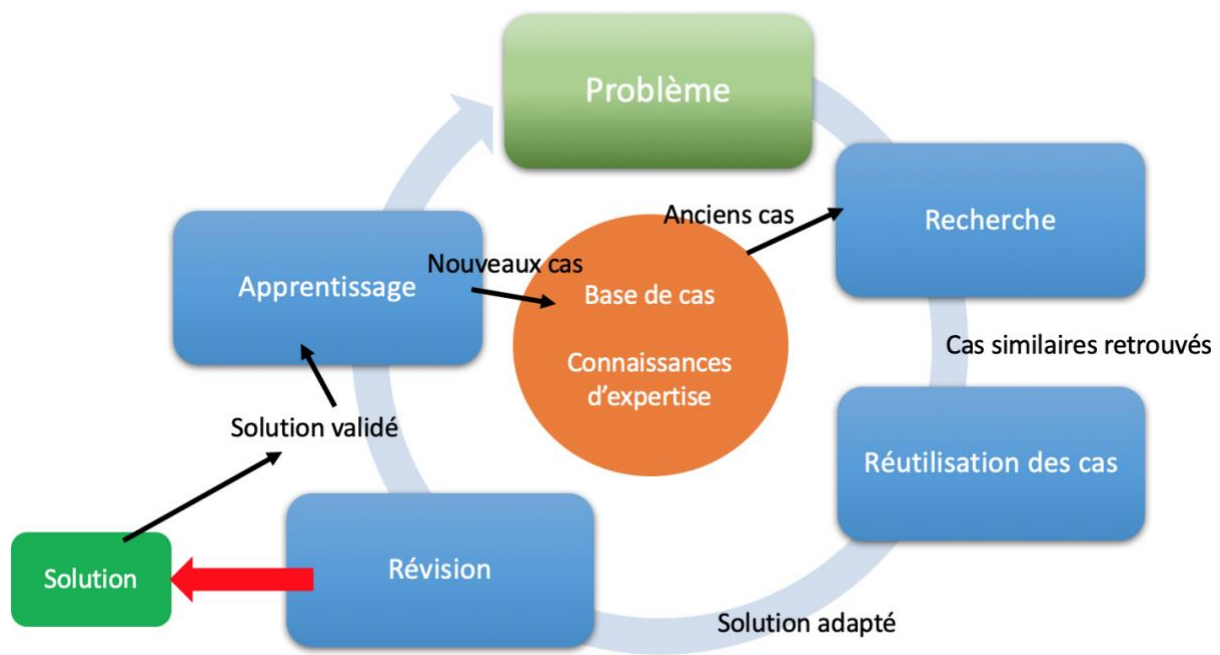


FIGURE 8 : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU RAISONNEMENT A PARTIR DE CAS

Ces outils sont aujourd'hui présents dans les dispositifs d'acquisition et d'interprétation d'imagerie médicale. Ce sont des aides au diagnostic performantes dans un domaine d'expertise précis qui permettent des facilités d'interprétation aux médecins et aux praticiens, et donc un gain de temps.

LES OUTILS D'AIDE AU DIAGNOSTIC AUJOURD'HUI

Les outils d'aide au diagnostic présent aujourd'hui sur le marché permettent déjà dans une certaine mesure une standardisation inter-opérateur des examens réalisés sur les patients. Cependant, ils nécessitent toujours la validation du médecin et nécessitent toujours une certaine rigueur d'utilisation. Ces outils sont appelés outils CAD pour *Computer Assisted Detection*. Ce sont des aides complémentaires au diagnostic, que nous allons étudier avec un peu plus de détail ci-dessous, notamment les outils d'aide au diagnostic existant en échographie.

S-Detect™ est un outil efficace de prise de décision assisté par ordinateur pour la classification des lésions et masses du sein. Il est utilisé lors de l'échographie du sein, examen complémentaire de la mammographie qui permet de caractériser avec plus de précisions les lésions qui peuvent être détectées par les rayons X. De plus l'échographie présente moins de contraintes de confort pour les patients, elle se révèle donc un excellent examen de seconde intention.

Lors de cet examen, le praticien utilise une sonde dite linéaire (sous forme de barrette), l'image est donc en deux dimensions (2D), et le praticien réalise un balayage quadrant par quadrant de façon rigoureuse permettant la détection de ganglions ou de lésions bénigne ou malignes. L'imagerie 2D en échographie est caractérisé par plusieurs paramètres, résultant à une image en échelle de gris. L'aspect des lésions est détecté grâce à la différence de densité entre la lésion et le tissu environnant. Cette dernière pouvant être hypo-échogène (absorbant les ultrasons) ou hyperéchogène (reflétant les ultrasons). La visualisation dépend donc de la nature du tissu analysé et également de sa densité.

Les examens d'imagerie mammaire utilisent la classification BI-RADS (Breast Imaging-Reporting and Data System) qui a été mis au point par l'American College of Radiology. Cette classification est une référence mondiale dans la catégorisation des examens mammaires et permet de standardiser les dénominations. (18)

Le S-Detect est un outil utilisant l'intelligence artificielle pour classifier les lésions analysées grâce à l'intelligence artificielle. Le praticien détecte visuellement ce qui lui semble être une anomalie, il gèle l'image puis clique avec le pointeur de la souris sur la lésion à analyser. La machine va alors contourner la lésion et proposer dans un menu situé à la droite de l'écran une classification en fonction de l'aspect de cette lésion, comme illustré sur la figure 9 ci-dessous. Le praticien peut alors valider ou invalider les propositions de la machine sur la classification de la lésion étudiée, puis le S-Detect va générer une classification BI-RADS permettant de déterminer la nature de la lésion.(19)



FIGURE 9 : RESULTAT DE L'ANALYSE EFFECTUEE PAR LE S-DETECT SUR UNE LESION MAMMAIRE

Plusieurs études indépendantes ont été réalisées sur le S-Detect, la concordance entre le radiologue assisté S-Detect et les autres praticiens n'effectuant pas le test S-Detect était de 89,4%.(20) Cette étude est disponible en annexe de ce document.

BI-RADS CATEGORY	RADIOLOGISTS' ASSESSMENT (number of lesions)	S-Detect™ GUIDED ASSESSMENT (number of lesions)
BI-RADS 2	70	70
BI-RADS 3	54	51
BI-RADS 4	21	26
BI-RADS 5	15	13
TOTAL	160	160

FIGURE 10 : CATEGORISATION DE 160 LESIONS AVANT ET APRES EVALUATION S-DETECT.

Cet outil dispose également d'une version dérivée dédiée à l'étude des lésions thyroïdiennes. L'examen se réalise avec le même type de sondes et l'étude des lésions de la thyroïde dispose d'une classification assez semblable au BI-RADS qui s'appelle TI-RADS pour *Thyroid Imaging Reporting and Data System*.(20)

L'utilisation du S-Detect pour la thyroïde se révèle tout aussi aisée pour le praticien et suggère un contourage ainsi qu'une classification, et une classification TI-RADS de la lésion étudiée, comme l'illustre la figure 11 ci-dessous.



FIGURE 11 : RESULTAT DE L'ANALYSE EFFECTUEE PAR LE S-DETECT SUR UNE LESION THYROÏDIENNE

LE 5D CNS+

La nomenclature des outils d'imagerie dans la gamme d'échographes Samsung comporte plusieurs dénominations qu'il convient d'éclaircir. On retrouve les modes d'imagerie B en 2D (échographie conventionnelle), puis les modes en 3 dimensions appelés les modes 3D qui sont des modes d'acquisition volumique et permettent d'explorer un volume acquis en échographie volumique. On dispose également des modes 4D, donc 3D en temps réel (la quatrième dimension étant le temps). Les modes 5D sont la dénomination commerciale des outils aidés de l'intelligence artificielle chez Samsung.

Le 5D CNS+ est donc l'un de ces modes, il s'agit d'un outil d'exploration de la système nerveux central foetal (CNS = *Central Nervous System*) aidé de

l'intelligence artificielle. Le 5D CNS+ permet de réduire le facteur opérateur dépendant de l'étude des structures cérébrales fœtales lors de l'échographie morphologique du deuxième trimestre. On estime entre 0,3 et 1% de malformations du système nerveux central, avec souvent une atteinte chromosomique chez les sujets concernés.

De manière classique, l'obstétricien réalise plusieurs plans de coupe du système nerveux central du fœtus lors de l'examen du deuxième trimestre. La facilité de la réalisation de ces coupes dépend beaucoup de la présentation du fœtus, c'est à dire de sa position dans le ventre de la future maman. Le CFEF (Collège Français d'Echographie Fœtal) impose aux échographistes la réalisation d'une coupe du Cervelet ainsi que la mesure de celui-ci, une coupe bipariétale (pour mesurer le diamètre bipariétal) et une mesure du périmètre crânien qui est réalisé sur la coupe bipariétale. La plupart des praticiens vérifient également la présence du Corps Calleux (*Corpus Callosum*) qui est une structure reliant les deux hémisphères cérébraux entre eux, et analysent la présence ou non ainsi que l'aspect du Corps Calleux.

Cette coupe n'est pas légalement obligatoire mais reste recommandée car c'est un très bon indicateur d'anomalies chromosomique potentielles chez l'enfant à naître. La réalisation de cette coupe n'est pas des plus aisée, elle exige du praticien d'être très rigoureux et aguerri, il s'agit d'une coupe sagittale stricte du cerveau qui pour être valide, doit présenter les os propres du nez parfaitement alignés avec le corps calleux.

Pour pallier ces difficultés une première solution s'est présentée, celle de réaliser une acquisition volumique en 3 dimensions du cerveau fœtal. L'inconvénient étant la perte de temps subie à naviguer dans un volume 3D pour retrouver les éléments recherchés, sans compter la nécessité de bien savoir se repérer dans ce volume de donnée.

Le 5D CNS+ une fois activé réalise une acquisition volumique de la boîte crânienne fœtale, puis nécessite uniquement à ce que le praticien place deux points de référence, respectivement un au milieu du cerveau fœtal et le second dans le *Cavum Pellucidum* (structure cérébrale du fœtus connue des praticiens). Un

schéma de placement des points est disposé sur l'écran afin de faciliter la manœuvre.

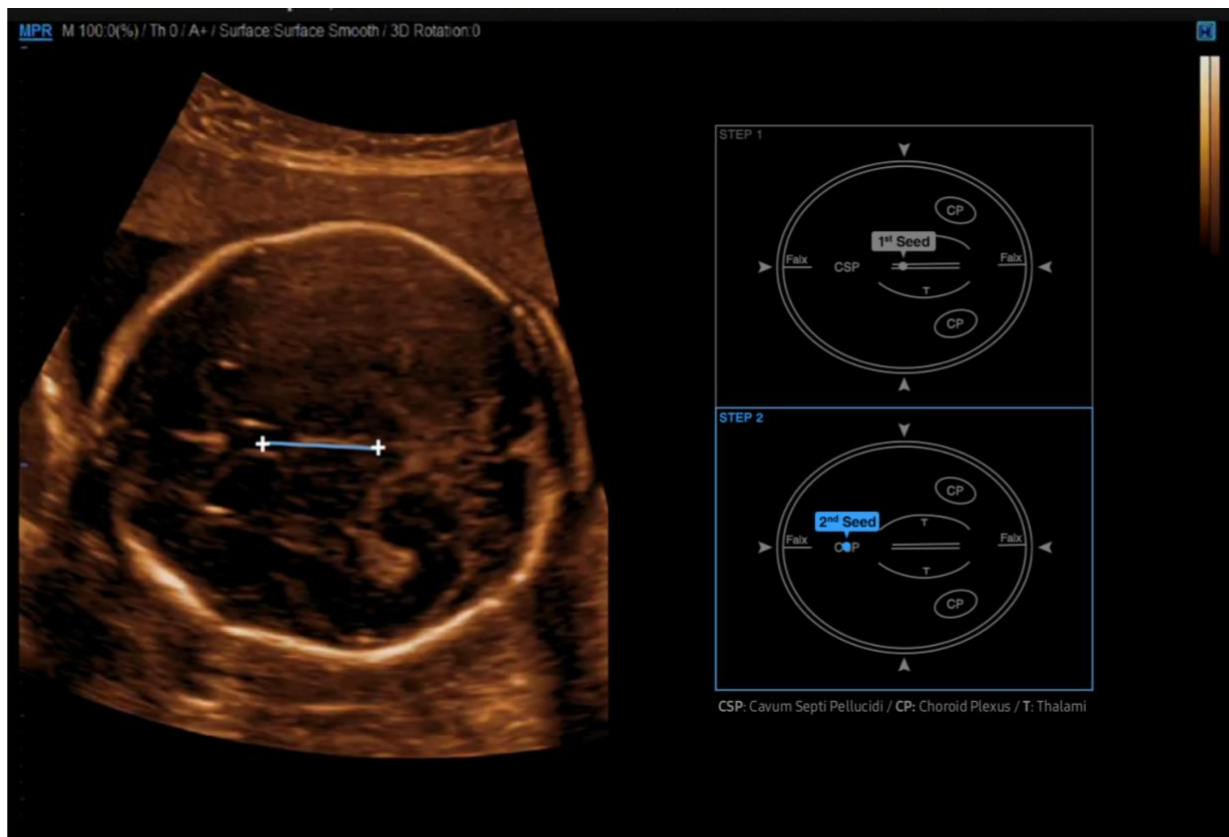


FIGURE 12 : PLACEMENT DES DEUX POINTS DE REFERENCE LORS DE L'UTILISATION DU 5D CNS+

Une fois ces deux points placés, le 5D CNS+ et l'IA qui y est intégré va analyser les données volumiques du cerveau fœtal et ainsi réaliser tous les plans de coupes nécessaires à l'exploration du cerveau fœtal, c'est à dire les coupes exigées ainsi que l'exploration des structures cérébrales permettant de s'assurer de la bonne santé du fœtus, l'outil proposant 9 coupes. De plus, ces coupes et les structures anatomiques notables vont être annotées par l'IA, sous le contrôle du praticien. Les mesures de biométries fœtales décrites précédemment telle que le BIP ou le PC seront effectuées de manière semi-automatique.

Une étude a été réalisée et démontre que l'utilisation du 5D CNS+ est possible dans 98% des cas(21). Cette même étude a démontré la pertinence de l'utilisation de cet outil d'aide au diagnostic de par sa très grande reproductibilité, sa simplicité d'utilisation et sa rapidité d'utilisation (valeur médiane à 50 secondes).

De plus, l'outil a été testé sur 22 acquisitions volumiques de cerveaux fœtaux présentant des anomalies cérébrales, incluses dans un nombre total de 180. L'expérience a démontré la détection des 22 cas sur 22 par le 5D CNS+ et proposé un diagnostic correct dans 21 cas sur 22 soit 95,4% d'efficacité.(21)

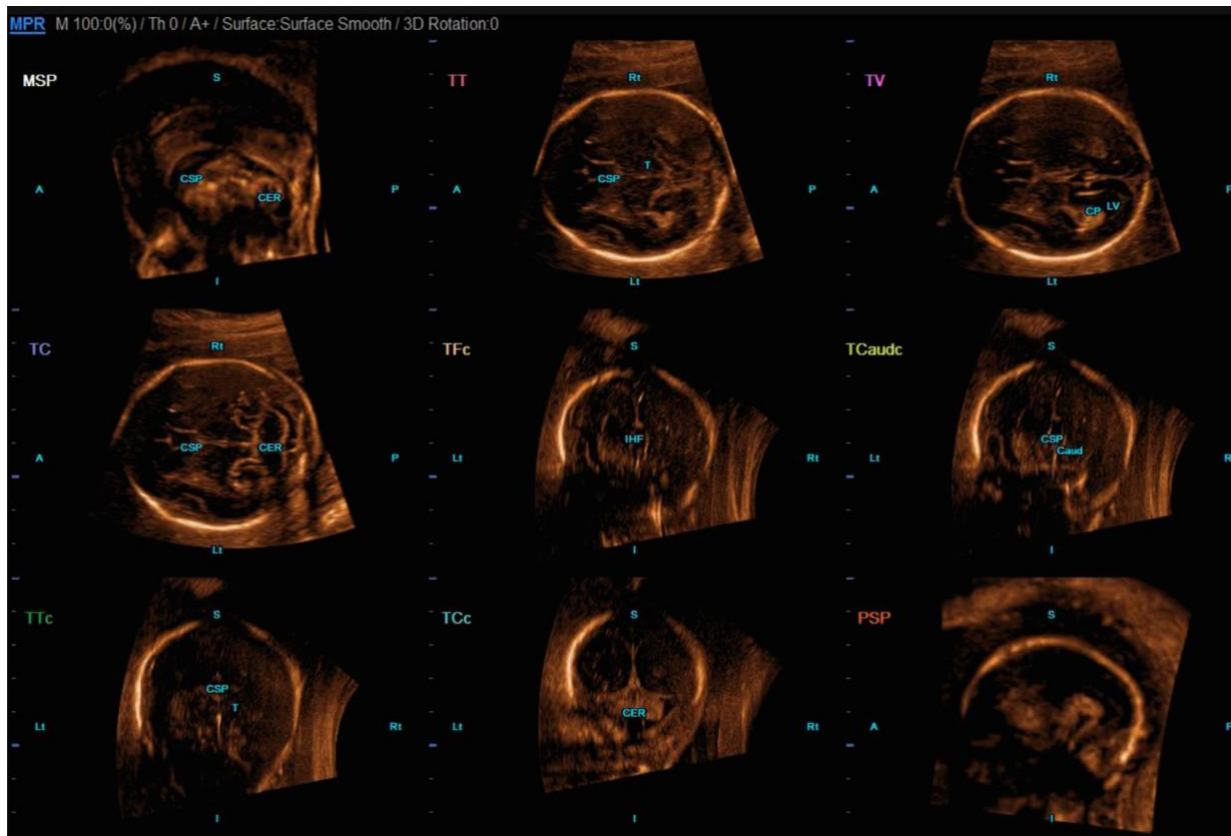


FIGURE 13 : RESULTATS DE L'ANALYSE EFFECTUEE PAR LE 5D CNS+

L'utilisation de cet outil permet donc de réduire l'approche opérateur dépendant de l'examen du cerveau fœtal lors de l'échographie du deuxième trimestre. Elle permet également d'augmenter les capacités de détection d'anomalies cérébrales et chromosomiques chez les praticiens peu aguerris à cet exercice tout en leur permettant de gagner un temps considérable lors de la réalisation de cet examen.

PERSPECTIVES D'EVOLUTION DE L'IA EN IMAGERIE MEDICALE

Les outils actuels d'aide au diagnostic permettent aux praticiens une meilleure standardisation inter et intra opérateur. L'IA permet également d'être plus efficient lors de la réalisation des examens, ce qui permet également un raccourcissement du temps de prise en charge des patients. Leur utilisation peut permettre aussi la baisse des doutes des médecins face à une situation à laquelle ils sont moins habitués, ce qui permet également une baisse des besoins d'examens complémentaires et le cas échéant, la mise en place d'un traitement thérapeutique plus rapide.

Lors du diagnostic d'un cancer chez un patient, celui-ci voit son dossier passer en réunion de concertation pluridisciplinaire (RCP). Chaque patient est obligé de passer en RCP en oncologie pour avoir le meilleur traitement possible, 90 dossiers à traiter en 3h par un ensemble de médecins. L'IA peut apporter un diagnostic plus rapide avec un indice de confiance plus élevé grâce à l'augmentation de la précision des images. Aide des algorithmes pour les radiologues à ne pas perdre de temps sur un examen qui est normal et avoir plus de temps disponible pour affiner un diagnostic si nécessaire.

Plusieurs études ont été réalisées afin de tester la pertinence de l'utilisation de l'intelligence artificielle en imagerie médicale, une étude en particulier démontre la puissance de l'IA en diagnostic.

L'EXEMPLE DE BIOMIND

BioMind est une entreprise chinoise spécialisée dans l'application de l'IA dans la santé. Pour démontrer les capacités de son intelligence artificielle l'entreprise a organisé un concours en aout 2018 où les meilleurs radiologues du pays devaient affronter l'IA.

L'IA a réalisé lors de ce match un diagnostic correct à 87% sur 225 cas de pathologies cérébrales en 15 minutes. Face à l'IA, une équipe de 15 médecins a réalisé un diagnostic correct à 66% sur les 225 cas en 30 minutes. Le système d'intelligence artificielle a également fait des prédictions correctes dans 83% des

cas d'expansion d'hématomes cérébraux, surpassant les médecins, qui ont obtenu 63% de précision. (22)

L'EXEMPLE DE DEEPMIND

L'entreprise Google a investi également le segment de l'IA appliqué au diagnostic en imagerie médicale, notamment avec son intelligence artificielle appelée DeepMind.

Une récente publication d'août 2018 dans *Nature* démontre les potentialités de l'utilisation de l'IA dans l'imagerie médicale appliqué aux scanners rétinien 3D utilisés en médecine ophtalmologique.(23)

L'outil de diagnostic a été développé par Google DeepMind en collaboration avec l'Institut d'ophtalmologie de l'*University College of London*. L'IA est en mesure de recommander un diagnostic pour 50 maladies oculaires avec une précision de 94%. L'étude a été effectuée sur 997 cas et mise en comparaison au diagnostic de spécialistes.

La construction de l'IA a été réalisée par la méthode de l'apprentissage profond décrite précédemment, l'IA ayant été « nourri » par 15 000 cas de plusieurs images scanner rétinien 3D en apprentissage autonome, après avoir reçu un apprentissage supervisé grâce à 877 cas étiquetés par des experts dans ce domaine.

Sur la figure 14 ci-dessous, à gauche les résultats de DeepMind dans l'analyse des 997 cas et le diagnostic établi. Au milieu et à droite les résultats des deux groupes d'experts en ophtalmologie.

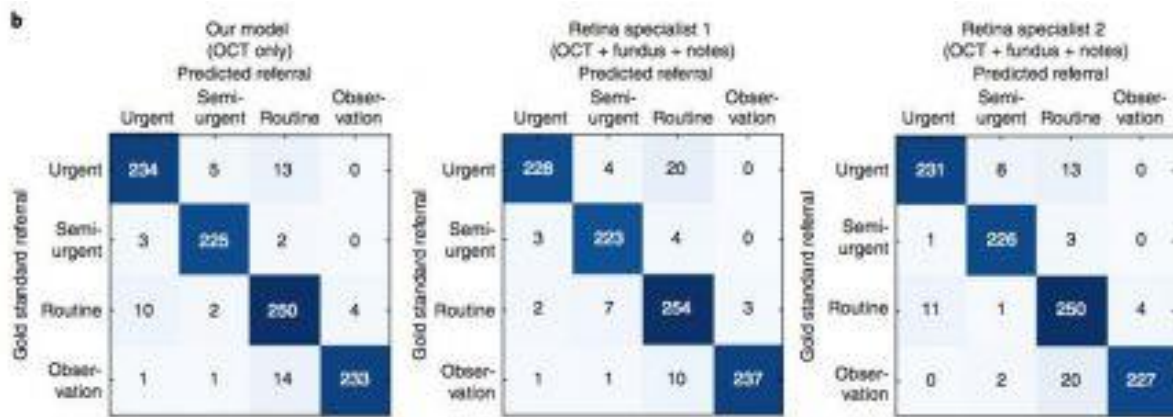


FIGURE 14 : DIAGRAMME COMPARATIF ENTRE DEEPMIND ET DEUX GROUPES D'OPHTALMOLOGUES.

Les résultats sont à la mesure de l'intérêt de l'utilisation de l'IA pour ce type d'examen, ils permettent une de réunir la force de diagnostic de plusieurs experts dans un outil d'aide au diagnostic disponible pour tout praticien.

STRATEGIE DE DEVELOPPEMENT DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE A LONG TERME

L'intelligence artificielle suscite de plus en plus d'intérêt dans la société actuelle, elle intrigue, inquiète et suscite la curiosité de tout un chacun. Son usage se repend dans de nombreux domaines avec une croissance de plus en plus exponentielle.

De nombreuses sociétés ont investie et continuent d'investir dans le développement de l'intelligence artificielle. Nous avons vu dans cet écrit les applications d'aujourd'hui en imagerie médicale et les bénéfices de son utilisation. Les états tels que les Etats-Unis et la Chine investissent massivement dans son développement et notamment dans l'industrie médicale, tout comme le font les sociétés privées telles que les GAFAM (Google Amazon Facebook Apple Microsoft) et les constructeurs de l'industrie de la santé.

L'objectif de ces investissements dans le milieu médical et notamment l'imagerie médicale est de standardiser les examens et leur interprétation, améliorant le diagnostic, la prise en charge des patients et le confort de travail des médecins. Il

est également de prendre le monopole de l'intelligence artificielle, les retombées économiques potentielles étant élevées.

A court et moyen terme, nous allons assister au développement d'outils de plus en plus perfectionnés et de plus en plus précis au bénéfice des patients, permettant d'affiner un diagnostic et de prédire l'évolution de celui-ci.

L'objectif à long terme pour les constructeurs et industriels est de développer des machines autonomes permettant l'élaboration d'un diagnostic presque infaillible.

PROBLEMATIQUE ETHIQUE, ENJEUX ET CONSIDERATIONS

L'émergence de l'intelligence artificielle dans le médical fait apparaître de nouvelles problématiques légales et éthiques. L'être humain tel que nous le connaissons, est doué d'intelligence et de conscience. L'Homme ne connaît et ne reconnaît que lui comme espèce intelligente, il règne sur le monde en maître. La dernière fois que deux entités douées d'intelligence ont cohabité ensemble remonte à il y a environ 29 000 ans lorsque l'Homme de Néandertal cohabitait avec l'Homo Sapiens (homme savant en Latin), c'est à dire l'Homme tel que nous sommes et que nous connaissons. Cette cohabitation s'est terminée à cette époque selon plusieurs théories par compétition entre les deux espèces du genre Homo, après que l'Homo Sapiens ait exterminé progressivement l'Homme de Néandertal(21).

L'intelligence artificielle bouleverse progressivement la société et la médecine, elle doit se développer de manière contrôlée et réglementée afin d'être bénéfique aux praticiens médicaux, à la santé publique et à la société de manière générale.

Un dicton de médecin dit « Un bon médecin est un médecin qui connaît les limites de ses compétences », l'apparition de l'IA en diagnostic permet de repousser ses limites de compétences, elle permet d'établir de meilleur diagnostic et plus rapidement, mais quelles sont les limites de l'IA ? Le danger apparent et ressenti est le dépassement des médecins par les géants du numérique, cependant il ne faut pas voir l'émergence de l'intelligence artificielle comme étant une entité concurrente des praticiens, au contraire, cette dernière est et doit être développée de manière parallèle et complémentaire aux diagnosticiens. Il y a donc une nécessité d'informer et de former les médecins et de les accompagner dans le déploiement de l'IA dans la médecine d'aujourd'hui, pour créer la médecine de demain.

Face à ces questions éthiques, la Société Française de Radiologie (SFR) a lancé à l'occasion des Journées Françaises de Radiologie (JFR) qui ont eu lieu en octobre

2018 un *DataChallenge*. Les radiologues ont été mis à contribution afin de nourrir une intelligence artificielle de manière volontaire, et avec l'accord de leurs patients. Les médecins ont pu demander lors d'un examen avec un patient, à garder les images qui leur semblaient intéressantes d'un point de vue pathologique. Ces images ont ensuite été anonymisées puis soumises à une équipe de médecins chercheurs membres de la SFR. Plus de 600 dossiers ont été ainsi récupérés classés et étiquetés avant d'être soumis à la force de plusieurs IA afin de déterminer quelle est la meilleure stratégie à développer pour l'élaboration d'outils d'aide au diagnostic plus performants. Cette initiative a été pilotée par le professeur Nathalie Lassau du centre de lutte contre le cancer Gustave Roussy. Cette démarche participative permet de démystifier l'IA vis à vis des médecins, ce qui leur permet d'avoir un sentiment d'appartenance à l'émergence de ces outils.(25)

Les risques d'une atteinte à la vie privée ainsi que la violation du secret professionnel lors de l'exploitation des données personnelles sont à prendre en compte, d'autant que de nombreux acteurs du système se manifestent pour demander l'assouplissement des règles en la matière pour éviter de freiner les usages et les avancées de l'IA. La CNIL (Commission Nationale d'Informatique et Liberté) ne transige pas quant à la protection des données. Il se pose également la question de la possible perte de données, ou de leur utilisation à des fins malveillantes. Imaginons que les données générées par l'utilisation de l'IA permettent à terme de prédire l'apparition de telle ou telle maladie chez un patient, elles pourraient être utilisées par les compagnies d'assurances pour évaluer le risque assurantiel que l'assurance prend en assurant le patient. Cela constituerait une dérive pouvant aboutir à une discrimination médicale, les montants des primes d'assurance pourrait être plus élevés pour un patient jugé à risque grâce à l'utilisation de l'IA.

Une autre objection émerge régulièrement vis à vis de la relation malade-médecin, la déshumanisation de la relation : selon le baromètre santé 360° réalisé par Odoxa en 2018, 6 français sur 10 ne seraient pas prêts à interagir avec un robot dans le

domaine de la santé.(26) L'enjeu est ici mal compris, le développement des applications de l'IA ne vise pas à robotiser la santé, ni à l'Uberiser elle vise à l'amélioration de la médecine par l'amélioration de la prise en charge et du diagnostic pour l'utilisateur final, le patient.

De plus, la nécessité de légiférer sur le développement et l'utilisation de l'intelligence artificielle dans le médical, qui plus est dans le diagnostic en imagerie médical semble urgent. Qui est responsable en cas d'erreur de la machine : qui sera responsable, dès lors qu'à l'heure actuelle, il n'existe pas de régime juridique particulier dans ce domaine ? Pour le moment la réponse est le médecin, mais il n'y a pas encore eu jurisprudence vis à vis d'une erreur de diagnostic dans le cadre de l'utilisation de l'IA. Ce flou juridique entraine des réticences de la part des professionnels de santé pour la démocratisation de l'IA en diagnostic en imagerie médicale.

A cela s'ajoute le sentiment d'opacité des algorithmes, qui ne permettent pas à l'homme de toujours garder la main sur la machine dans les utilisations les plus poussées. Dans son livre blanc, le CNOM (Conseil National de l'Ordre des Médecins) met en évidence l'impossibilité d'analyser le raisonnement de la machine ayant abouti au résultat dans le cadre de l'apprentissage profond. Pourtant, ces technologies sont développées conjointement avec des experts dans leur domaine, il y a donc un besoin de transparence vis-à-vis de la profession de la part des sociétés qui développent ces outils d'intelligence artificielle.

De plus l'hypothèses de dysfonctionnements matériels de l'IA (panne matérielle du système, bogues informatiques, etc.) s'inscrivent sans difficulté dans les régimes existants de responsabilité civile. Cependant il n'en va pas de même concernant les conséquences d'une décision médicale correspondant au fonctionnement « normal » de l'IA. Lorsqu'elle est à l'origine d'une erreur de diagnostic et d'un préjudice, cette décision de la machine peut-elle entrer dans la sphère du droit commun ou du droit spécial de la responsabilité civile ? La directive sur la responsabilité du fait des produits défectueux (n°85/374/CEE)(28) fixe des règles qui atteignent leur limites.

Le diagnostic est sous entière responsabilité du médecin mais nécessite un cadre légal dans le cadre de l'utilisation d'outils d'aide au diagnostic.

Aujourd'hui, il est encore communément admis que la machine, bien qu'ayant des capacités de calcul supérieures à celles de l'homme, constitue un outil supplémentaire pour les diagnosticiens. Qu'en sera-t-il si, dans quelques années, les progrès permettent à l'IA de s'affranchir de tout contrôle de l'homme ? A cette question des réponses doivent être trouvées de manière collégiale, entre constructeurs, médecins et autorités.

DEMARCHES EUROPEENNES

Ces enjeux sont compris par les états et les autorités de santé, la nouvelle présidente de la Commission européenne Ursula von der Layen élue le 16 juillet dernier veut rapidement légiférer sur l'intelligence artificielle. Elle a en effet décidé d'élaborer des règles sur l'IA qui marqueront les cinq prochaines années. Dès les cent premiers jours de son mandat à la tête de la Commission européenne, qui commencera en novembre, elle proposera une législation "pour une approche européenne coordonnée des implications humaines et éthiques" de ces technologies.

Fin juin dernier, un groupe d'une cinquantaine d'experts mettait plusieurs points en avant : l'effort financier en faveur de la recherche n'est pas assez important, avec seulement 20 milliards d'euros par an au cours de la prochaine décennie, en ajoutant les investissements publics et privés.

La recommandation du groupe d'experts est donc d'augmenter l'effort financier de l'Union européenne dans son ensemble. La nouvelle présidente de la commission demande dans ses "orientations politiques" et la mise en place d'une stratégie industrielle européenne pour l'IA. *« Je m'assurerais que nous ferons une priorité des investissements dans l'intelligence artificielle, à la fois dans le cadre financier pluriannuel et en recourant davantage aux partenariats public-privé ».*

Ursula von der Layen semble également suivre d'autres recommandations du groupe d'experts, qui a également proposé 7 principes pour une stratégie d'IA européenne gagnante, alliant l'éthique à la pratique. *« La dimension éthique de l'IA n'est pas un accessoire de luxe ou une option. La confiance est impérative pour que*

notre société puisse pleinement bénéficier des technologies. L'IA éthique, digne de confiance et centrée sur l'humain, est une proposition gagnant-gagnant : l'Europe doit en faire un avantage compétitif ».(27)

Sur le plan juridique, la question est déjà posée par le Parlement européen de doter, ou pas, les robots de personnalité juridique. La réflexion plus large sur la responsabilité de l'IA n'en est qu'à ses débuts. La directive sur la responsabilité du fait des produits défectueux (n°85/374/CEE)(28) fixe des règles qui ne sont pas adaptées dans le contexte de l'intelligence artificielle et de la robotique. Elle doit être clarifiée pour relever les défis de l'IA, de la cyber sécurité vis à vis des données patientes afin de garantir un marché intérieur protecteur des intérêts des consommateurs et propice à la concurrence. Cette révision devra intégrer l'autonomie croissante des systèmes et les droits numériques issus du RGPD.

CONCLUSION

A travers ce mémoire, nous constatons que l'intelligence artificielle revêt d'énormes enjeux, tant en termes de santé publique qu'en terme de stratégie pour les entreprises du monde médical.

L'intelligence artificielle est un outil à très grande valeur ajoutée, les industriels de la santé l'ont compris et investissent massivement dans le but de trouver un avantage concurrentiel dans l'élaboration et l'usage de l'intelligence artificielle.

La mise au point d'outils d'intelligence artificielle appliqués à l'imagerie médical requière de gros investissements matériels et financiers ainsi que l'exploration et l'exploitation d'une énorme quantité de donnée d'examens médicaux. Ces données sont au cœur du fonctionnement de l'IA, ce sont elles qui permettent de l'enrichir et de la rendre plus puissante, cependant elles contiennent des informations confidentielles couvertes par le secret médical.

La FNMR (Fédération Nationale des Médecins Radiologues) a consacré à l'IA son séminaire annuel consacré aux développements susceptibles de modifier l'avenir de la radiologie.(29) Le retentissement de l'IA appliquée à l'imagerie médicale est conséquent, elle est en train de révolutionner la pratique dans la mesure où elle affecte la pratique dans toutes ses dimensions. Les enjeux sont pratiques, scientifiques, technologiques, éthiques voir philosophiques, politiques et économiques.

L'intelligence artificielle doit être perçue comme une aide comme étant complémentaire du médecin et non en concurrence avec celui-ci. Elle sera demain le stéthoscope du médecin d'aujourd'hui.

Il est donc nécessaire pour les médecins, praticiens et étudiants de se former dès à présent à utiliser ces outils d'intelligence artificielle car ils seront dès demain dans la pratique courante de la médecine. Il est également nécessaire de comprendre la mécanique existante derrière le terme d'intelligence artificielle. De plus l'élaboration de ces outils et les directions empruntées par les acteurs du marché doivent être choisies dans la collégialité et dans l'intérêt public. Les médecins sont donc des acteurs majeurs de la révolution qu'apporte l'IA au diagnostic en imagerie médicale.

BIBLIOGRAPHIE

1. Larousse É. Encyclopédie Larousse en ligne - intelligence artificielle [Internet]. [cited 2019 Aug 26]. Available from: http://www.larousse.fr/encyclopedia/divers/intelligence_artificielle/187257
2. Turing AM. Computing Machinery and Intelligence. In: Epstein R, Roberts G, Beber G, editors. Parsing the Turing Test: Philosophical and Methodological Issues in the Quest for the Thinking Computer [Internet]. Dordrecht: Springer Netherlands; 2009 [cited 2019 Aug 26]. p. 23–65. Available from: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6710-5_3
3. Marvin L. Minsky, Ph.D. [Internet]. [cited 2019 Aug 26]. Available from: <https://www.ukonline.be/cours/cshistory/characters/marvin-minsky>
4. Larousse É. Encyclopédie Larousse en ligne - James Watt [Internet]. [cited 2019 Aug 27]. Available from: http://www.larousse.fr/encyclopedia/personnage/James_Watt/138931
5. Allemagne S. Rapport VDE sur l'industrie allemande [Internet]. Science Allemagne. 2013 [cited 2019 Aug 27]. Available from: <https://www.science-allemande.fr/science-de-lingenieur/electronique/rapport-vde-sur-lindustrie-allemande/>
6. Poutine pense dominer le monde en maîtrisant l'intelligence artificielle - Sciences et Avenir [Internet]. [cited 2019 Aug 28]. Available from: https://www.sciencesetavenir.fr/high-tech/intelligence-artificielle/poutine-pense-dominer-le-monde-en-maitrisant-l-intelligence-artificielle_116062
7. Mitchell MD. Robotique et neurosciences détectent le siège de la conscience de soi. 2011 Feb 5 [cited 2019 Aug 28]; Available from: <https://actu.epfl.ch/news/robotique-et-neurosciences-detectent-le-siege-de-l/>
8. Ray Kurzweil. In: Wikipedia [Internet]. 2019 [cited 2019 Aug 28]. Available from: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Ray_Kurzweil&oldid=912371678
9. Kurzweil R. Humanité 2.0 : la bible du changement. Paris: M21 éd; 2007. 647 p.

10. Clarke B, Fokoue E, Zhang HH. Principles and Theory for Data Mining and Machine Learning. Springer Science & Business Media; 2009. 793 p.
11. Tishby N, Zaslavsky N. Deep learning and the information bottleneck principle. In: 2015 IEEE Information Theory Workshop (ITW). 2015. p. 1–5.
12. LeCun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning. Nature. 2015 May;521(7553):436–44.
13. Moore GE. Cramming More Components Onto Integrated Circuits. Proc IEEE. 1998 Jan;86(1):82–5.
14. Moore GE. Cramming more components onto integrated circuits, Reprinted from Electronics, volume 38, number 8, April 19, 1965, pp.114 ff. IEEE Solid-State Circuits Soc Newsl. 2006 Sep;11(3):33–5.
15. Gordon Earle Moore. In: Wikipédia [Internet]. 2019 [cited 2019 Aug 27]. Available from: https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Gordon_Earle_Moore&oldid=159668318
16. La fin de la loi de Moore arrêtera-t-elle les progrès de l'intelligence artificielle ? les avis sur la question sont plutôt mitigés [Internet]. Developpez.com. [cited 2019 Aug 27]. Available from: <https://www.developpez.com/actu/241718/La-fin-de-la-loi-de-Moore-arretera-t-elle-les-progres-de-l-intelligence-artificielle-les-avis-sur-la-question-sont-plutot-mitiges/>
17. Points_de_repere_n_50_-_L_activite_des_medecins_liberaux_a_travers_la_CCAM.pdf [Internet]. [cited 2019 Aug 29]. Available from: https://www.ameli.fr/fileadmin/user_upload/documents/Points_de_repere_n_50_-_L_activite_des_medecins_liberaux_a_travers_la_CCAM.pdf
18. Chabriaïs J, Kinkel K, Thibault F. Le système BI-RADS™ en imagerie mammaire : initiation à son utilisation en version française. Datarevues0221036300834-C2531 [Internet]. 2008 Mar 19 [cited 2019 Sep 5]; Available from: <https://www.em-consulte.com/en/article/121279>
19. Kim K, Song MK, Kim E-K, Yoon JH. Clinical application of S-Detect to breast

masses on ultrasonography: a study evaluating the diagnostic performance and agreement with a dedicated breast radiologist. *Ultrasonography*. 2017 Jan 1;36(1):3–9.

20. Bartolotta TV, Orlando AAM. Categorization of focal breast lesions according to the Ultrasound Breast Imaging Reporting and Data System (BI-RADS US) lexicon: Role of a computer aided decision making support (S-Detect™). 2015;6.

21. Rizzo G. 5D CNS+ : An Useful Tool for Fetal Neurosonography. :6.

22. China Focus: AI beats human doctors in neuroimaging recognition contest - Xinhua | English.news.cn [Internet]. [cited 2019 Sep 5]. Available from: http://www.xinhuanet.com/english/2018-06/30/c_137292451.htm

23. Fauw JD, Ledsam JR, Romera-Paredes B, Nikolov S, Tomasev N, Blackwell S, et al. Clinically applicable deep learning for diagnosis and referral in retinal disease. *Nat Med*. 2018 Sep;24(9):1342–50.

24. d'Errico F, Sánchez Goñi MF. Neandertal extinction and the millennial scale climatic variability of OIS 3. *Quat Sci Rev*. 2003 Apr 1;22(8):769–88.

25. Lassau N, Estienne T, de Vomecourt P, Azoulay M, Cagnol J, Garcia G, et al. Five simultaneous artificial intelligence data challenges on ultrasound, CT, and MRI. *Diagn Interv Imaging*. 2019 Apr 1;100(4):199–209.

26. Baromètre santé 360° : L'humain dans la santé [Internet]. Odoxa. [cited 2019 Sep 5]. Available from: <http://www.odoxa.fr/sondage/barometre-sante-360-lhumain-sante/>

27. ActeursPublics. La nouvelle présidente de la Commission européenne veut rapidement légiférer sur l'intelligence artificielle [Internet]. La nouvelle présidente de la Commission européenne veut rapidement légiférer sur l'intelligence artificielle. [cited 2019 Aug 25]. Available from: <https://www.acteurspublics.fr/articles/la-nouvelle-presidente-de-la-commission-europeenne-veut-rapidement-legiferer-sur-lintelligence-artificielle>

28. EUR-Lex - 31985L0374 - EN - EUR-Lex [Internet]. [cited 2019 Sep 5]. Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal->

content/FR/ALL/?uri=CELEX%3A31985L0374

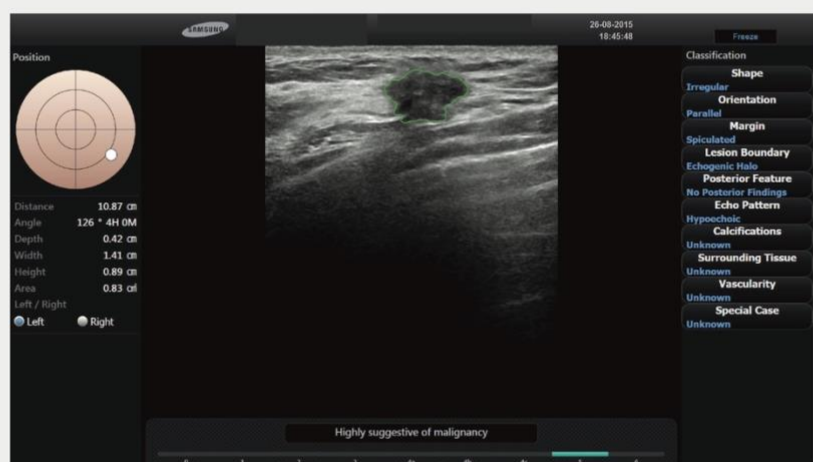
29. Masson J-P, Fédération nationale des médecins radiologues (France), editors. L'intelligence artificielle: rêve ou cauchemar : [actes du] séminaire, [à Lyon, le 2] juin 2018. Paris: Fédération nationale des médecins radiologues; 2018.

EXEMPLE DE POSTER : CATEGORIZATION OF FOCAL BREAST LESIONS ACCORDING TO THE ULTRASOUND BREAST IMAGING REPORTING AND DATA SYSTEM (BI-RADS US) LEXICON: ROLE OF A COMPUTER AIDED DECISION MAKING SUPPORT (S-DETECT™)

Article # WP201511-RS80A / Issue Date 30 Nov, 2015

Categorization of focal breast lesions according to the Ultrasound Breast Imaging Reporting and Data System (BI-RADS US) lexicon: Role of a computer aided decision making support (S-Detect™)

Tommaso Vincenzo Bartolotta, MD, PhD, Alessia A. M. Orlando, MD
Department of Radiology, University of Palermo, Palermo, Italy



“S-Detect™ is an effective computer-aided decision-making tool for classification of FBLs as it improves breast cancer detection rate, specificity, NPV and PPV, even when compared with experts.”

Introduction

Breast ultrasound (US) is a widespread imaging tool, often used as an adjunct to mammography with the aim to characterize focal breast lesions (FBLs), thus improving cancer detection rates and reducing the number of false negatives for breast cancer diagnosis. However, breast US requires extensive experience, yielding it as an operator-dependent procedure and presents lower reproducibility, specificity and positive predictive value than mammography.

SAMSUNG

Breast Imaging-Reporting and Data System (BI-RADS) lexicon was first developed by the American College of Radiology (ACR) in 2003, providing descriptors for focal breast lesions (FBLs) on breast US imaging, which standardized the reporting terminology and clinical management.

Computer-aided detection (CAD) system, such as S-Detect™ by Samsung, has been developed as a supporting tool in classifying FBLs, allowing recording, processing and reviewing of US images seamlessly. The aim of this study was to assess the role of a novel computer-guided decision-making support (S-Detect™) in the categorization of FBLs based on the BI-RADS US lexicon.

Method

CAD examination was performed on US images of 160 consecutive FBLs between December 2014 and June 2015. Indications for breast US included a palpable mass detected on physical examination, dense breasts or detected lesions from adjunct mammography examination, patients with mastodynia and young patients having family history or in a follow-up for benign breast nodules or cysts.

Two radiologists by consensus classified 160 FBLs (size range: 2.6 – 47.2 mm; mean: 11.5 mm $\pm$ 6.5 SD) in 123 patients (121 women and 2 men; age range: 13-98 years; mean 50.1 years $\pm$ 14.4 SD) into 4 categories : (1) BI-RADS 2 benign; (2) BI-RADS 3 probably benign; (3) BI-RADS 4 suspicious; (4) BI-RADS 5 highly suggestive of malignancy. The classification was based on the BI-RADS US descriptors such as shape, orientation, margin of the mass, boundary, echo pattern and posterior acoustic feature. FBLs were detected by a high resolution ultrasound system, RS80A (Samsung Medison Co., Ltd, Seoul, Korea).

A third independent reader also assessed the same 160 FBLs off-line while using S-Detect™, a built-in dedicated US-BIRADS classification software which is capable of a semi-automated lesion extraction and guided classification based on the descriptors above. Patient's age, family or personal history of breast cancer and previous US investigations were available to the investigator in order to reproduce a more realistic clinical situation. Mammographic findings of FBLs were not taken into consideration for this BI-RADS US classification.

US-guided core-biopsy and fine-needle aspiration cytology (FNAC) served as a standard of reference (SOR) for all the FBLs classified as either BI-RADS 4 or 5. US findings at 6 months follow-up have been available for all the 45 lesions classified as BI-RADS 3 both before and after S-Detect™ assessment.

Sensitivity, specificity, positive and negative predictive values (PPV, NPV) were calculated while considering BI-RADS 4 and 5 FBLs as malignant and BI-RADS 2 and 3 FBLs as benign mass.

Results

Table 1 shows the differences in the BI-RADS categorization of the 160 FBLs assessed by the two radiologists in consensus and the third reviewer using S-Detect™.

SAMSUNG

BI-RADS CATEGORY	RADIOLOGISTS' ASSESSMENT (number of lesions)	S-Detect™ GUIDED ASSESSMENT (number of lesions)
BI-RADS 2	70	70
BI-RADS 3	54	51
BI-RADS 4	21	26
BI-RADS 5	15	13
TOTAL	160	160

Table 1. Categorization of 160 FBLs before and after S-Detect™ assessment. Concordance between S-Detect™ assisted radiologist and the two reviewers not performing S-Detect™ was 89.4 %.

S-Detect™-assisted radiologist changed the initial BI-RADS classification in 17 of 160 (10.6%) FBLs: 9 FBLs were upgraded from BI-RADS 3 to BI-RADS 4 (Figure 1) whereas 6 FBLs were downgraded from BI-RADS 4 to BI-RADS 3 (Figure 2), and 2 FBLs were downgraded from BI-RADS 5 to BI-RADS 4. No differences were noted in classification of FBLs BI-RADS 2.

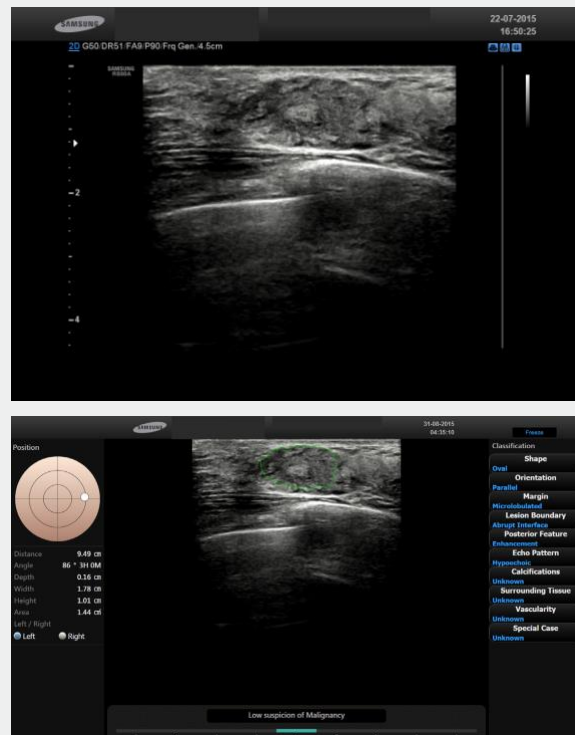


Figure 1. In a 57-year-old woman, B-mode US depicted an oval-shaped mass, slightly hypoechoic with a central area of hyperechogenicity, parallel orientation and a slightly posterior acoustic enhancement. The two reviewers assessed margins as circumscribed, S-Detect™ guided radiologist as microlobulated, thus the lesion was upgraded from BI-RADS 3 to BI-RADS 4A. Core-needle biopsy confirmed the lesion as an invasive ductal carcinoma.

SAMSUNG

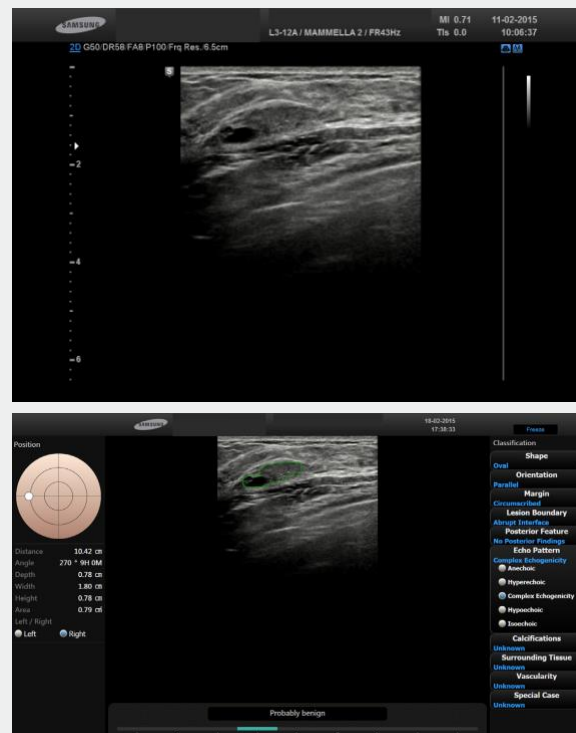


Figure 2. A 43-year-old woman with dense breasts undergone breast sonography. US image displays an isoechoic mass with an eccentric anechoic area, oval shape, parallel orientation and circumscribed margins. S-Detect™ assisted radiologist changed this FBL from BI-RADS 4 to BI-RADS 3. Core needle biopsy revealed a usual ductal hyperplasia (fibrocystic changes).

Histological diagnoses (Table 2) was obtained for 45 lesions classified as BI-RADS 4 or BI-RADS 5 with or without S-Detect™:

- 7 Benign lesions: fibroadenoma (2), usual ductal hyperplasia (2), granuloma (1), corpuscular cyst (1), abscess (1);
- 2 High risk lesions: atypical ductal hyperplasia (1), sclerosing adenosis (1);
- 36 malignant lesions: invasive ductal carcinoma (27), invasive lobular carcinoma (6), mucinous carcinoma (1), malignant phyllodes tumor (1), chondrosarcoma (1)

SAMSUNG

Diagnosis	Histology	No	Radiologists Assessment	S-Detect™	S-Detect™ Assist-ed Radiologist
Benign Lesion (n=7)	Fibroadenoma	2	BI-RADS 3 BI-RADS 4A	PM PB	1 BI-RADS 4A 1 BI-RADS 3
	Corpuscular cyst	1	BI-RADS 4A	PB	1 BI-RADS 3
	Granuloma	1	BI-RADS 4B	PM	BI-RADS 4C
	Usual Ductal Hyperplasia	2	BI-RADS 3 BI-RADS 4A	PM PB	BI-RADS 4 BI-RADS 3
	Abscess	1	BI-RADS 4A	PM	BI-RADS 4B
Malignancy (n=36)	Invasive ductal carcinoma	27	4 BI-RADS 3 23 BI-RADS 4 or 5	All PM 3 PB & 20 PM	All BI-RADS 4 or 5 All BI-RADS 4 or 5
	Invasive Lobular carcinoma	6	2 BI-RADS 3 4 BI-RADS 4 or 5	All PM	All BI-RADS 4 or 5
	Mucinous carcinoma	1	BI-RADS 4A	PB	BI-RADS 3
	Chondrosarcoma	1	BI-RADS 4B	PM	BI-RADS 4B
	Malignant Phyllodes tumor	1	BI-RADS 4A	PB	BI-RADS 3
High Risk Lesion (n=2)	ADH	1	BI-RADS 3	PM	BI-RADS 4B
	Sclerosing Adenosis	1	BI-RADS 4A	PB	BI-RADS 3

Table 2. PB= Possibly Benign; PM= Possibly Malignant; ADH= Atypical Ductal Hyperplasia

The two radiologists classified 160 FBLs as BI-RADS 2 (n = 70), BI-RADS 3 (n = 54), BI-RADS 4 (n = 21), BI-RADS 5 (n = 15), with Sensitivity, Specificity, PPV and NPV of 81.6%, 95.9%, 86.1% and 94.3%, respectively.

S-Detect™ assisted radiologist classified 160 FBLs as BI-RADS 2 (n = 70), BI-RADS 3 (n = 51), BI-RADS 4 (n = 26), BI-RADS 5 (n = 13), with Sensitivity, Specificity, PPV and NPV of 92.1%, 96.7%, 89.7% and 97.5% respectively.

In cases of malignancy, S-Detect™-guided re-classification was correct in 12 of 17 cases (70.6%): 6 of 9 malignant FBLs and 1 of 9 high risk FBLs were properly upgraded from BI-RADS 3 to BI-RADS 4, 3 of 6 benign FBLs were downgraded from BI-RADS 4 to BI-RADS 3. Furthermore, 2 FBLs were downgraded from BI-RADS 5 to BI-RADS 4, but the course of management for these cases wouldn't have undergone any variations.

On the other hand, 2 of 9 benign FBLs were erroneously upgraded to BI-RADS 4 and 2 of 6 malignant FBLs and 1 of 6 high risk FBLs were erroneously downgraded to BI-RADS 3.

Discussion

In this study, S-Detect™ assisted radiologist reached higher sensitivity, specificity, NPV and PPV when compared to the reviewers without S-Detect™.

Among 36 malignant FBLs, only 2 were interpreted as “probably benign” (BI-RADS 3) by the S-Detect™ assisted radiologist. Histological diagnosis for these cases were mucinous carcinoma and malignant phyllodes tumor, respectively. These masses showed relatively circumscribed margins, and the phyllodes tumor in particular, presenting with no more than three lobulation, was considered of oval morphology. S-Detect™ assisted radiologist classified only one high risk lesion as BI-RADS 3 for which pathologic diagnosis was sclerosing adenosis.

Six malignant (2 invasive lobular carcinoma and 4 invasive ductal carcinoma) and 1 high risk (atypical ductal hyperplasia) lesions missed by the two reviewer were correctly recognized as suspicious by radiologists’ S-Detect™ assisted readings. These lesions showed non-irregular morphology and margins were not completely circumscribed, thus assessed as microlobulated.

The two benign lesions that were erroneously upgraded as BI-RADS 4 by the radiologist with S-Detect™ assistance were histopathologically proved to be one fibroadenoma and one usual ductal hyperplasia. In these two cases descriptors which led the radiologist to upgrade were shadowing as posterior acoustic finding and round morphology, respectively.

One abscess and one granuloma were the only two lesions inaccurately assessed as BI-RADS 4, both with and without performing S-Detect™. This is due to the presence of indistinct margins for the first lesion and non-parallel orientation for the second one.

Conclusions

Our experience validated S-Detect™ as an effective computer-aided decision-making tool for classification of FBLs as it improves breast cancer detection rate, specificity, NPV and PPV, even when compared with to the results of the experts.

Supported Systems

- RS80A with Prestige
- RS80A
- HS70A

COMMENT L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE PEUT ELLE CONTRIBUER A AMELIORER LE DIAGNOSTIC EN IMAGERIE MEDICALE

L'intelligence artificielle est de plus en plus présente dans nos vies, mais également dans le monde de la **santé**. Mais qu'est-ce que **l'intelligence artificielle**, comment fonctionne-t-elle ? Quels sont ses apports en **imagerie médicale** et notamment en **diagnostic** ? **L'intelligence artificielle** apporte dès à présent une plus-value à **l'imagerie médicale**, notamment grâce à l'amélioration de la **qualité d'image** et aux **outils d'aide au diagnostic**. L'exploitation des données du **Big-Data** par le moyen de **l'apprentissage automatique** et **l'apprentissage profond** permettent l'élaboration **d'outils** de plus en plus précis et perfectionnés. L'objectif de **l'intelligence artificielle** n'est pour le moment pas de remplacer l'Homme mais de l'augmenter. Son développement ne doit pas se réaliser de manière anarchique, et nécessite un **cadre légal**. Aide au diagnostic, **traitement automatique des données**, **autonomisation** des procédures, **standardisation intra et inter-opérateur** sont des enjeux de premier ordre pour l'IA.

Mots-clés : Intelligence artificielle (IA), imagerie médicale, apprentissage profond, apprentissage automatique, Big-Data, aide au diagnostic, santé, outils, aide au diagnostic, cadre légal, traitement des données, standardisation, intra inter-opérateur

HOW ARTIFICIAL INTELLIGENCE COULD IMPROVE DIAGNOSIS IN MEDICAL IMAGING

Artificial intelligence is more and more present in our lives, but also in the **Healthcare system**. But what is artificial intelligence, how does it work? What are his contributions in **medical imaging** and especially in **diagnosis**? **Artificial intelligence** is already bringing added value to **medical imaging**, thanks to improved image quality and **diagnostic** tools. Harnessing **Big-Data** through **machine learning** and **deep learning** enables the development of increasingly accurate and sophisticated **tools**. The objective of the artificial intelligence is not for the moment to replace the Man but to increase it. Its development must not be anarchic and requires a **legal framework**. **Diagnostic** support, **automatic data processing**, **process empowerment**, intra and inter-operator standardization are key issues for AI.

Keywords: Artificial Intelligence (AI), medical imaging, deep learning, machine learning, Big Data, diagnostic support, health, tools, diagnostic assistance, legal framework, data processing, standardization, intra and interoperator