

KARBOWY Antoine

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE EN RADIOLOGIE CONVENTIONNELLE

Comment l'intelligence artificielle va-t-elle améliorer l'activité radiologique dans le diagnostic des maladies pulmonaires ?



Sous la direction de Monsieur Régis LOGIER
Mémoire de fin d'études de la 2ème année de Master

Composition du jury :

- *Président de jury : Mme. GORGE, Maître de conférences à l'ILIS et l'Université de Lille*
- *Deuxième membre de jury : M. LOGIER, Chercheur CHRU de Lille*
- *Troisième membre de jury : M. DUPONT, autoentrepreneur DOM MÉDICAL*

Le 8 Octobre 2019

Année universitaire 2018/2019
Master Ingénierie de la Santé
Parcours Healthcare Business et Recherche Clinique



Remerciements

« La valeur d'un homme tient dans sa capacité à donner et non dans sa capacité à recevoir. » - Albert Einstein

Je tiens à adresser mes premiers remerciements à Monsieur Régis Logier, Ingénieur Biomédical chargé de recherche au CHRU de Lille et Professeur à l'Université de Lille, pour avoir accepté de m'encadrer dans cette étude complexe qu'est la rédaction d'un mémoire de fin d'études. Je tiens à le remercier pour sa disponibilité, ses encouragements et surtout ses précieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion tout au long de ces mois de recherche.

J'adresse également mes remerciements à toute l'équipe pédagogique de la faculté d'Ingénierie et Management de la Santé (ILIS), ainsi qu'à l'ensemble des intervenants professionnels, pour m'avoir permis d'acquérir les connaissances et les expériences nécessaires à la réussite de mes études universitaires. Grâce aux enseignements de hautes qualités et aux nombreuses expériences professionnelles, l'ILIS facilite l'insertion des étudiants dans le monde du travail.

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce aux apports de plusieurs personnes dont je souhaiterais témoigner ma reconnaissance :

Un grand merci à Monsieur Julien Lattanzio, Modality Manager Xray France et Benelux chez GE Healthcare, qui m'a permis d'effectuer mon année d'apprentissage au sein de son équipe. Il a su me transmettre toutes les compétences et connaissances nécessaires pour devenir Ingénieur d'Application en Mammographie, Ostéodensitométrie et Xray. C'est un réel plaisir de pouvoir continuer à travailler dans cette équipe.

Par ailleurs, je voudrais exprimer ma reconnaissance envers l'ensemble de mes collègues, qui m'ont fait découvrir le milieu de la radiologie conventionnelle. Leur savoir et leur passion m'ont beaucoup inspiré et motivé dans l'écriture de ce mémoire. En plus de leurs conseils, ils m'ont permis de faire de cette année une expérience humaine inégalable.

Je remercie ensuite tous les manipulateurs en radiologie interviewés dans le cadre de cette étude de cas. Leurs expériences personnelles ont permis de bâtir les résultats et les recommandations de ce mémoire.



Enfin, je tiens à témoigner ma gratitude envers mes parents et ma compagne Manon Uriani, pour m'avoir constamment encouragé et avoir relu et corrigé mon mémoire.



Sigles et abréviations :

AP-HP : Assistance Publique - Hôpitaux de Paris

CAD : Computed Aided Diagnosis

CNIL : Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés

ETI : Entreprise de Taille Intermédiaire

FDA : Food and Drug Administration

HAS : Haute Autorité de Santé

INRIA : Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique

INSERM : Institut National de la Santé Et de la Recherche Médicale

PACS : Pictures Archiving and Communication System

PME : Petite et Moyenne Entreprise

RGPD : Règlement Européen sur la Protection des Données

SADM : Systèmes d'Aide à la Décision Médicale

SFR : Société Française de Radiologie

SHS : Sciences Humaines et Sociales

STIC : Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication



Sommaire

| | |
|---|-----------|
| Remerciements | 2 |
| Sigles et abréviations : | 4 |
| Sommaire | 5 |
| Table des illustrations | 6 |
| Introduction | 7 |
| I. L'intelligence artificielle appliquée au marché de la radiologie conventionnelle | 9 |
| 1. Présentation de l'intelligence artificielle | 9 |
| a. L'histoire de l'intelligence artificielle | 9 |
| b. L'intelligence artificielle dans le secteur de la santé | 11 |
| c. Les fonctionnements de l'intelligence artificielle (<i>Machine Learning, Deep Learning</i>) | 12 |
| d. L'aide au diagnostic | 15 |
| 2. L'utilisation de l'intelligence artificielle en radiologie conventionnelle | 16 |
| a. Présentation de la radiologie conventionnelle (système de radiographie fixe et mobile) | 16 |
| b. Les algorithmes permettant de détecter des pneumothorax à partir de système de radiographie mobile | 18 |
| c. Les arguments mis en avant par les entreprises médicales – focus sur l'aide à la détection de pneumothorax | 22 |
| 3. Le marché de l'intelligence artificielle dans la santé | 25 |
| 4. Les freins et la réglementation française | 26 |
| II. Élaboration de l'étude qualitative | 29 |
| 1. Conception générale d'une étude qualitative | 29 |
| a. Les différentes formes d'entretiens individuels et leurs utilisations | 29 |
| b. Le seuil de saturation d'un entretien | 30 |
| c. L'analyse des données qualitatives | 31 |
| 2. L'élaboration de l'étude qualitative | 31 |
| a. La procédure d'investigation | 31 |
| b. Description de l'échantillon interrogé | 32 |
| c. Guide d'entretien | 33 |
| III. Analyse et traitement des données qualitatives | 35 |
| 1. La place de l'aide au diagnostic dans les années à venir | 35 |
| 3. Les avantages de l'aide au diagnostic sur les systèmes de radiographie mobile | 37 |
| 4. Les limites de l'aide à la détection de pathologies pulmonaires | 40 |
| 5. Les potentielles craintes des patients face à l'utilisation de l'intelligence artificielle | 41 |



| | |
|---|-----------|
| IV. Recommandations pour les entreprises médicales | 43 |
| 1. Recommandations commerciales et marketing..... | 43 |
| a. Élaboration d'une approche commerciale | 43 |
| b. Création de campagnes et supports marketing..... | 44 |
| 2. Recommandations managériales | 45 |
| Conclusion..... | 47 |
| Bibliographie | 49 |
| Annexes..... | 52 |

Table des illustrations

| | |
|--|----|
| ILLUSTRATION 1 : SCHEMA RECAPITULATIF DU FONCTIONNEMENT DU MACHINE LEARNING [7] | 13 |
| ILLUSTRATION 2 : SCHEMA RECAPITULATIF DU FONCTIONNEMENT DU DEEP LEARNING..... | 14 |
| ILLUSTRATION 3 : GRAPHIQUE REPRESENTANT L'AUGMENTATION DE LA PERFORMANCE D'UN SYSTEME D'APPRENTISSAGE AVEC LE NOMBRE D'ECHANTILLONS M | 14 |
| ILLUSTRATION 4 : SYSTEME DE RADIOGRAPHIE MOBILE..... | 17 |
| ILLUSTRATION 5 : RADIOGRAPHIE THORACIQUE NORMALE | 18 |
| ILLUSTRATION 5 : RADIOGRAPHIE THORACIQUE AVEC PNEUMOTHORAX | 19 |
| ILLUSTRATION 6 : LES DEUX TYPES DE SEGMENTATION MANUELLE D'UNE RADIOGRAPHIE THORACIQUE | 22 |
| ILLUSTRATION 7 : TABLEAU COMPRENANT LES PERFORMANCES DES RADIOLOGUES AVEC ET SANS L'AIDE AU DIAGNOSTIC..... | 23 |
| ILLUSTRATION 8 : REPARTITION REGIONALE DES PRATICIENS EXERÇANT EN RADIOLOGIE ET IMAGERIE MEDICALE ET DENSITE REGIONALE..... | 24 |



Introduction

Révolution technologique pour les uns, effet de mode pour les autres, l'intelligence artificielle s'invite dans notre quotidien depuis quelques années. Notre société actuelle hautement technologique est extrêmement influencée par ces programmes et algorithmes informatiques. En effet, ces logiciels en plein essor mondial sont déjà utilisés sous diverses formes et dans de nombreux domaines d'activité tels que l'armée, la santé, l'automobile, la robotique ou encore la finance dans le but d'aider les hommes à améliorer leurs quotidiens par des moyens plus performants.

Bien conscients de cette expansion, les pays et les entreprises privées investissent énormément dans la recherche et le développement. Depuis cinq ans, les volumes d'investissement dans le monde ont été multipliés par dix. Dans cette course à l'innovation, l'intelligence artificielle pourrait contribuer à une croissance de l'économie mondiale de 1,2 % par an jusqu'en 2030, soit une augmentation de 13 000 milliards de dollars.

L'intelligence artificielle est devenue un acteur majeur de la médecine du futur en proposant des modèles toujours plus préventifs et personnalisés, offrant une amélioration constante de la qualité des soins et une assistance précieuse aux professionnels de santé. Ses applications ont été conçues et appliquées à des pratiques comme l'aide au diagnostic, les opérations assistées et les traitements personnalisés.

L'imagerie médicale, et plus particulièrement l'aide au diagnostic, est le secteur de la santé où les recherches et les enjeux sont les plus importants. Cédric Villani, mathématicien et député français, nous apprend que « l'intelligence artificielle comme beaucoup d'autres innovations numériques, va transformer, déplacer les métiers du monde médical, au risque de bouleverser certains schémas qui semblaient acquis. Mais elle le fera aussi en améliorant les conditions de vie des patients, voire en contribuant à sauver des vies. » [1].

L'intelligence artificielle est prometteuse et propose de belles perspectives d'évolution du secteur de l'imagerie médicale. Néanmoins, ces programmes et algorithmes soulèvent de nombreuses questions : Est-ce que l'intelligence artificielle est aussi efficace que les radiologues ? Est-ce que l'IA va remplacer les radiologues ? Comment est-elle



perçue par les utilisateurs et les radiologues ? Comment les utilisateurs se préparent-ils à son arrivée sur le marché français ? Quelles sont les entreprises présentes sur ce marché ? Quels sont les limites et les freins de ces nouvelles technologies ?

Ce mémoire aura pour objectif de comprendre l'impact du développement de ces nouvelles technologies tout en apportant des solutions à ces questions. La problématique principale de ce mémoire sera :

Comment l'intelligence artificielle va-t-elle améliorer l'activité radiologique dans le diagnostic des maladies pulmonaires ?

Ce mémoire sera composé de quatre parties distinctes. Tout d'abord, la première partie sera consacrée à la présentation des aides au diagnostic, leurs types de fonctionnement, leurs marchés, leurs réglementations ainsi que leurs intérêts en radiologie conventionnelle, et plus particulièrement dans la détection de pneumothorax. Dans la seconde partie, j'exposerai l'élaboration de mon étude de cas, ainsi que son analyse. La troisième partie, quant à elle, présentera les résultats obtenus lors de l'étude. Enfin, la dernière partie sera consacrée aux préconisations que les entreprises médicales devront mettre en place pour commercialiser des outils d'aide à la décision.



I. L'intelligence artificielle appliquée au marché de la radiologie conventionnelle

Avant d'aborder les conséquences de l'intelligence artificielle sur la radiologie conventionnelle, cette première partie sera consacrée à la présentation et au fonctionnement de l'aide au diagnostic. Par la suite, j'expliquerai son utilisation dans un cas concret : la détection assistée de pneumothorax à partir d'un système de radiographie mobile. Enfin, j'exposerai un aperçu de l'évolution du marché et de la légalisation afin de prévoir l'implantation de ces systèmes dans les services de radiologie français.

1. Présentation de l'intelligence artificielle

a. L'histoire de l'intelligence artificielle

Le terme d'intelligence artificielle a été évoqué pour la première fois en 1950 par Alan Turing. Ce mathématicien a élaboré un test permettant de vérifier la capacité d'un système à faire preuve d'intelligence humaine. De nos jours, le test de Turing est toujours utilisé pour mesurer l'intelligence de certaines machines, mais son efficacité est souvent remise en cause.

Il faudra attendre 1956 pour que l'un de ses créateurs, Marvin Lee Minsky, définissent pour la première fois le terme d'intelligence artificielle comme étant « 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 » [2].

Au fil des années, les chercheurs ont dissocié le concept d'intelligence artificielle en deux grandes approches : une intelligence artificielle symbolique et une autre connexionniste.

L'approche qualifiée d'intelligence symbolique représente tous systèmes dotés de mécanismes de raisonnement capables d'interpréter des données symboliques qui constituent une base de connaissance. Cette approche permet de traiter des questions de logique formelle pour prendre des décisions intelligentes en fonction de règles, faits et raisonnements établis par le savoir humain.



La seconde approche, qualifiée d'intelligence connexionniste, s'inspire du fonctionnement des neurones biologiques. En effet, cette méthode regroupe tous les systèmes composés de sous-élément interconnectés capables de traiter et de communiquer des informations entre eux. En outre, cette intelligence artificielle connexionniste permet d'extraire des règles implicites contenues dans des bases de données volumineuses. Ces réseaux neuronaux artificiels sont généralement optimisés par des méthodes d'apprentissage afin d'apprendre de leurs erreurs par comparaison statistiques avec les résultats attendus.

Depuis les années 1990, les chercheurs développent des modèles hybrides combinant ces deux approches d'intelligence artificielle qui comportent des caractères complémentaires. Ces systèmes sont constamment adaptés aux dernières avancées technologiques afin qu'ils soient toujours plus performants et innovants. Parmi les domaines de l'intelligence artificielle en plein essor, on retrouve :

- La reconnaissance et interprétation d'informations. Les données peuvent être de diverses natures nécessitant des traitements spécifiques. Ces systèmes sont exploités dans la reconnaissance de parole (logiciel de dictée vocale), la reconnaissance d'écriture manuscrite, la reconnaissance de visage, le traitement d'images, le diagnostic ou la compréhension de signaux.
- L'aide à la décision permettant d'assister une personne dans ses choix lorsque les informations sont diverses et incertaines. Ces outils sont utilisés dans de nombreux secteurs d'activité tels que le médical, la finance, l'industrie, l'armée etc.
- La planification d'actions est utilisée afin d'exécuter précisément une série d'actions préenregistrées dans le but de réaliser des tâches complexes et fastidieuses dans un environnement connu.

Luc Pierron, cadre dans le secteur de la santé, a récemment déclaré que la croissance de l'intelligence artificielle était rendue possible « grâce à la combinaison de deux facteurs : l'accélération de la puissance de calcul des machines, d'une part, et de l'autre, l'arrivée, avec le web et les applications numériques, de masses de données exploitables par les algorithmes » [3]. Par conséquent, les entreprises travaillant dans des



secteurs qui utilisent de grande base de données clients, investissent massivement dans des outils exploitant l'intelligence artificielle.

Face à cette évolution, le président de la république, Emmanuel Macron, a décidé de déployer un plan d'intelligence artificielle afin de faire de la France l'un des leaders mondial dans ce domaine. Lors de son discours du 29 mars 2018, à l'occasion de la remise du rapport parlementaire sur l'intelligence artificielle par le député et mathématicien Cédric Villani, le président de la République explique que « l'explosion des puissances de calcul, la multiplication des volumes de données, l'essor rapide de nouveaux algorithmes ont fait entrer l'intelligence artificielle dans une nouvelle ère qui est la fois une révolution technologique mais aussi économique, sociale et bien évidemment éthique et donc une révolution politique. Cette révolution ne se produira pas dans 50 ou 60 ans, elle est en train de se produire, de nouvelles opportunités nous sont offertes » [4].

Les actions mises en place dans ce plan stratégique seront focalisées sur deux secteurs : la santé et les transports. Hormis quelques appréhensions en matière d'éthique et juridique, le secteur de la santé est très attendu par les praticiens.

b. L'intelligence artificielle dans le secteur de la santé

Le développement général des volumes de données disponibles et le perfectionnement des nouvelles technologies, plus particulièrement des algorithmes et du matériel informatique, font de la santé un secteur de développement immense et extrêmement diversifié. Le croisement entre l'intelligence artificielle et la médecine permet de concevoir des systèmes plus préventifs et personnalisés, apportant une amélioration du suivi médical des patients et une assistance considérable aux professionnels de santé.

Dans un dossier réalisé en collaboration avec Jean Charlet, l'AP-HP (Assistance Publique - Hôpitaux de Paris) et le laboratoire d'informatique médicale et ingénierie des connaissances pour la santé, l'INSERM (Institut National de la Santé Et de la Recherche Médicale) ont dissocié les principaux domaines d'application de l'intelligence artificielle de cette façon : la médecine prédictive de maladie et de leur évolutions ; la médecine de précision permettant d'établir des recommandations de traitements personnalisés ; l'aide au diagnostic accompagnant les médecins dans leurs prises de décisions thérapeutiques



; les robots compagnons pour les personnes âgées ou fragiles ; la chirurgie assistée par ordinateur ; la prévention et l'anticipation d'épidémies [5].

L'aide au diagnostic prend une place considérable dans le développement des solutions d'intelligence artificielle dans le secteur de la santé. D'après le chirurgien chercheur, Bernard Nordlinger, et le mathématicien et député Cédric Villani : « L'imagerie, et plus généralement l'analyse de données médicales, et sans doute le domaine de la santé où l'apport de l'intelligence artificielle est le plus apparent. La santé est un domaine de choix pour la pleine exploitation des images, soit que leurs détails soient trop fins ou subtils pour être interprétés, soit que leur résolution médiocre demande un travail d'extrapolation, soit que la bonne interprétation demande une expérience et une connaissance d'une montagne de cas à des degrés inhumains » [6].

c. Les fonctionnements de l'intelligence artificielle (*Machine Learning, Deep Learning*)

Aujourd'hui, l'intelligence artificielle est dissociée en deux catégories : l'IA faible ou descendante, et l'IA forte ou ascendante. Chacune de ces catégories possède des méthodes de fonctionnement bien distinctes.

L'intelligence artificielle faible consiste à reproduire à l'identique une tâche spécifique à partir d'un programme informatique. Cette intelligence artificielle se focalise uniquement sur le résultat de l'action à réaliser, en délaissant son fonctionnement. De ce fait, ces systèmes effectueront uniquement ce qui leur a été demandé, sans possibilité d'évolution.

L'intelligence artificielle forte, quant à elle, a la capacité de produire un comportement intelligent et de concevoir une réelle conscience de soi. Contrairement à l'intelligence artificielle faible, ces programmes sont en constante évolution et peuvent acquérir et développer des comportements face à des situations non prévues lors de leur conception. Parmi cette intelligence forte se distinguent deux systèmes d'apprentissage qui sont : le Machine Learning et le Deep Learning.

Le Machine Learning ou « apprentissage automatique » en français, représente l'ensemble des systèmes informatiques qui reproduisent des comportements, non pas en



les programmant, mais en leur fournissant des techniques statistiques capables d'apprendre de manière autonome. Lors de la phase d'apprentissage, les ingénieurs analysent des données de référence et créent des modèles statistiques pour pérenniser les résultats. De ce fait, lorsque de nouvelles données sont intégrées, les systèmes sont capables de prédire automatiquement des résultats en se basant sur les précédents modèles statistiques [7]. Plus la base de données initiale importée est volumineuse, plus sa capacité de différenciation sera supérieure.

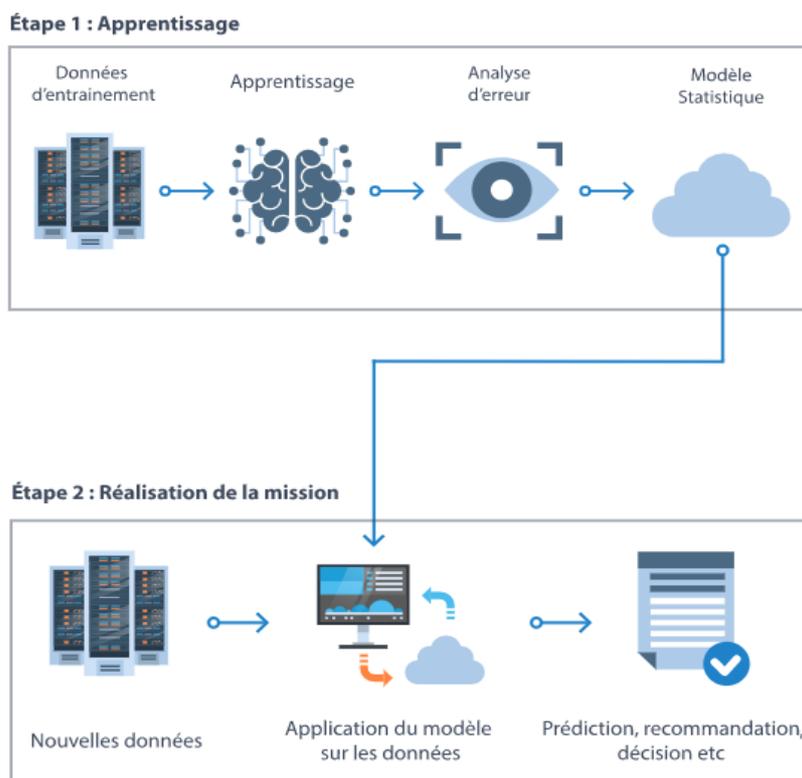


Illustration 1 : Schéma récapitulatif du fonctionnement du Machine Learning [7]

Actuellement, de nombreuses entreprises de la santé développent et commercialisent des logiciels équipés de Machine Learning permettant d'identifier une pathologie, de la caractériser et d'établir un diagnostic. En se basant sur de grandes bases de données de diagnostic, les algorithmes peuvent détecter des anomalies sur une image. Le fonctionnement de ces algorithmes sera détaillé dans la seconde sous-partie.

Le Deep Learning ou « apprentissage profond » en français, est un sous ensemble du Machine Learning. Les systèmes d'apprentissage profond utilisent de nombreuses couches de neurones, capables d'interagir entre elles pour analyser des données non structurées et prédire des résultats. Ces systèmes sont capables d'apprendre et de



s'améliorer de manière autonome. En effet, dès lors qu'une couche constate une erreur, les données sont alors systématiquement éliminées et renvoyées vers les précédents niveaux de couches afin de rectifier le modèle mathématique. Par la suite, lorsque ce modèle sera confronté à ces nouvelles données, il sera capable de les assimiler et de les dissocier sans que personne ne lui indique [8].

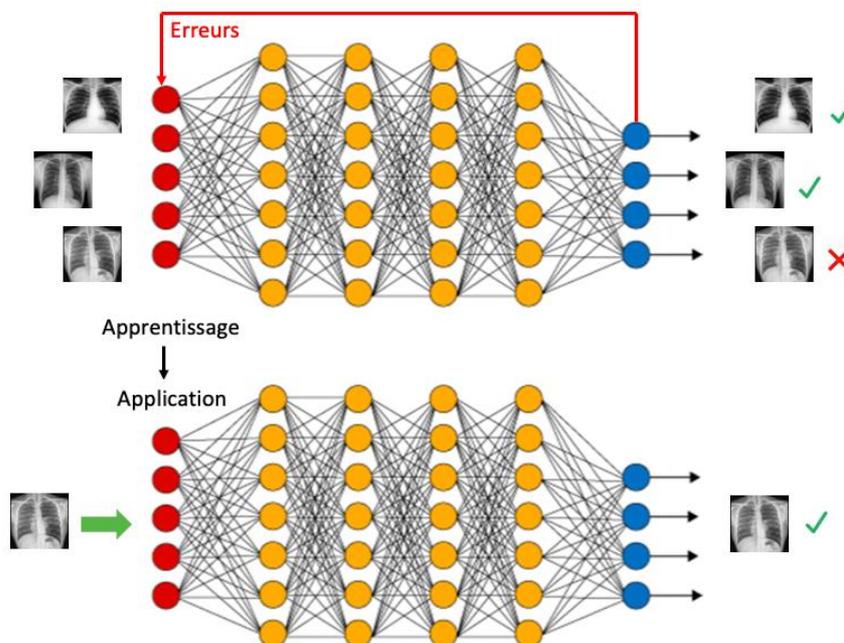


Illustration 2 : Schéma récapitulatif du fonctionnement du Deep Learning

L'intérêt des réseaux de neurones artificiels est d'imiter la logique de décision humaine. Par conséquent, les performances de ces systèmes vont dépendre considérablement de la quantité des échantillons. Plus la base de données d'un système sera conséquente, plus la performance du système sera acceptable.

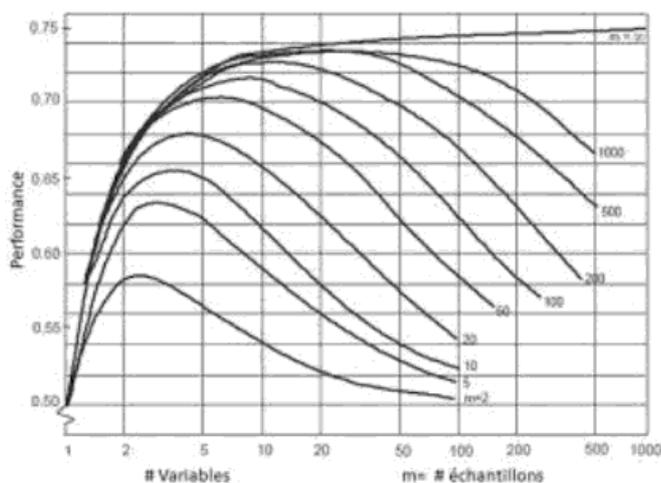


Illustration 3 : Graphique représentant l'augmentation de la performance d'un système d'apprentissage avec le nombre d'échantillons m [9]



En raison de sa complexité de conception, le Deep Learning nécessite une puissance de calcul considérable. Même si certaines entreprises commencent à proposer et commercialiser ce type de solution, la majorité des algorithmes sont encore en phase de développement. Ces derniers ne cessent de se développer rapidement avec l'évolution des calculateurs.

d. L'aide au diagnostic

Les systèmes d'aide au diagnostic, aussi nommés SADM (Systèmes d'Aide à la Décision Médicale), ont été définis dans l'étude réalisée par Cegedim-Activ, commanditée par la HAS (Haute Autorité de Santé) comme étant « des applications informatiques dont le but est de fournir aux cliniciens en temps et lieux utiles les informations décrivant la situation clinique d'un patient ainsi que les connaissances appropriées à cette situation, correctement filtrées et présentées » [10].

Ces outils informatiques accompagnent et assistent de façon immédiate les praticiens dans leurs démarches diagnostiques lorsqu'ils sont confrontés à des situations d'urgence, à des pathologies rares ou des pathologies fréquentes de formes atypiques. De plus, certaines tâches s'avèrent fastidieuses et ennuyeuses pour les radiologues, par conséquent ces systèmes d'aide à la décision peuvent être un gain de temps considérable et d'une reproductibilité accrue. Ces algorithmes représentent ainsi un outil précieux permettant de prendre des décisions plus rapides et objectives afin d'accroître la qualité des soins et l'état de santé des patients.

Plus concrètement, ce sont les CAD (Computed Aided Diagnosis) qui analysent automatiquement les données recueillies par les praticiens, dans le but d'observer des irrégularités et d'établir des recommandations cliniques. Pour cela, ces CAD sont composés de bases de données alimentées par un grand nombre d'images (correspondant à la structure anatomique étudiée) associées, ou non, à un état pathologique. Ainsi, à partir de ces bases de données, les algorithmes sont capables de répertorier automatiquement des images dans des catégories diagnostiques et de proposer des recommandations qui éclaireront les praticiens dans leurs démarches (Deep Learning).

Ces systèmes ont d'ores et déjà connu un relatif succès dans les hôpitaux américains avec des CAD capables de détecter des nodules pulmonaires, quantifier des



lésions actives de sclérose en plaques, détecter des foyers de microcalcifications en mammographie etc. En France, leur déploiement est freiné par une réglementation stricte et moins adaptée. D'autre part, certains radiologues perçoivent ces algorithmes comme une atteinte à leur pouvoir de décision.

2. L'utilisation de l'intelligence artificielle en radiologie conventionnelle

a. Présentation de la radiologie conventionnelle (système de radiographie fixe et mobile)

Depuis les années 1990, l'essor des nouvelles techniques d'imagerie médicale (IRM, Scanner, échographie etc.) a progressivement transformé les pratiques radiologiques. Malgré le développement de ces nouvelles techniques, la radiologie conventionnelle conserve un intérêt diagnostique de première intention dans de nombreuses situations médicales.

En effet, la radiologie conventionnelle regroupe tous les examens d'imagerie médicale permettant l'exploration des structures anatomiques internes à partir d'un faisceau de rayons X traversant le corps d'un patient. Son principe consiste à obtenir sur un détecteur numérique ou un film radiographique les différences de densité de la zone radiographiée. Le coefficient d'atténuation dépend de la composition des tissus traversés. Les tissus denses tels que les os (composés de sels minéraux) absorbent les rayons X et apparaissent plus contrastés à l'image. À l'inverse, les tissus mous tels que les muscles et les graisses (composés d'eau, oxygène, hydrogène...) laissent passer les rayons X et sont donc moins contrastés à l'image.

Aujourd'hui, la majorité des services de radiologie sont équipés de techniques numériques permettant d'obtenir une qualité d'image supérieure aux films radiographiques tout en diminuant la durée de l'examen et la dose de rayons X administrée. Cette technique d'imagerie médicale nécessite une table télécommandée conventionnelle, un tube à rayons X, un détecteur numérique et enfin un pupitre de commande afin de déplacer le tube et la table à distance.

Cette technique d'imagerie médicale comprend à la fois la radiologie standard et la radiologie avec produit de contraste :



La radiologie conventionnelle standard correspond à l'exploration classique d'une ou plusieurs parties anatomiques d'un patient pour des raisons traumatiques ou autres. Pour la majorité des examens, plusieurs obliquités (incidences radiologiques) du faisceau à rayons X avec des angles différents sont nécessaires pour l'interprétation. Ces examens sont réalisés dans des salles de radiographie par des manipulateurs en radiologie.

Malheureusement, les patients alités, non mobilisables, hospitalisés en service de réanimation, en soins intensifs ou encore aux urgences ne peuvent pas se rendre dans les salles de radiographie. Par conséquent, les manipulateurs utilisent des systèmes de radiographie mobile afin de se déplacer directement dans les services ou les chambres des patients pour réaliser les examens. Ces appareils permettent de retrouver la productivité, la qualité d'image et les fonctionnalités d'une salle de radiographie en dehors du service. La procédure est semblable à celle des examens réalisés en salle. Le manipulateur positionne manuellement un détecteur numérique sous la structure anatomique à radiographier, puis oriente le générateur à rayons X en direction de ce détecteur. Une fois l'exposition réalisée et affichée sur l'écran du système, le manipulateur peut procéder au post-traitement de l'image et l'envoyer vers le PACS (Pictures Archiving and Communication System). Ainsi, les radiologues peuvent interpréter la radiographie et établir un diagnostic rapide, tout en prenant en considération l'état de santé du patient et le contexte particulier de l'urgence.

Ces systèmes mobiles peuvent également être utilisés au bloc opératoire afin d'apporter des informations supplémentaires au chirurgien pendant une opération ou pour réaliser des radiographies de contrôle post-opératoire.



Illustration 4 : Système de radiographie mobile



La radiologie conventionnelle avec produit de contraste, quant à elle, regroupe les examens permettant de visualiser sous rayons X l'appareil digestif, urinaire, articulaire ou encore cardiovasculaire grâce à un produit de contraste iodé préparé et administré par le manipulateur en radiologie. Les produits de contraste contiennent des caractères très absorbants permettant d'opacifier les structures à explorer. Selon le groupe de la Société Française de Radiologie, « les produits sont le plus souvent administrés par voie veineuse (pose d'un cathéter au niveau d'une veine du bras), ils sont alors transportés par le sang jusqu'à l'organe à explorer. Bien plus rarement, ils sont injectés : par voie artérielle : « artériographie » ; dans une articulation : « arthrographie » ; par l'intermédiaire d'une petite sonde directement dans l'utérus « hystérosalpingographie » ou dans la vessie « cystographie ». » [11].

Dans les prochaines parties de ce mémoire, nous allons principalement aborder le fonctionnement et l'impact de l'intelligence artificielle couplée aux systèmes de radiographie mobile.

b. Les algorithmes permettant de détecter des pneumothorax à partir de système de radiographie mobile

Parmi les nombreux examens effectués à partir d'un système de radiographie mobile, l'examen le plus pratiqué reste la radiographie thoracique. Cet examen permet de visualiser l'intégralité des poumons (la trachée, les bronches et la plèvre), le cœur et ces principaux vaisseaux (aorte et artères pulmonaires), mais également les côtes.

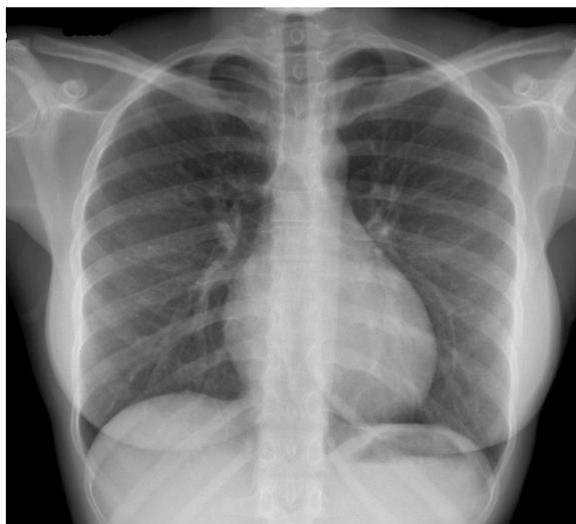


Illustration 5 : Radiographie thoracique normale



L'objectif des radiographies pulmonaires au lit est de diagnostiquer des pathologies telles qu'une infection pulmonaire bactérienne (pneumocoque, tuberculose), une inflammation des bronches, un cancer, une pleurésie ou encore un pneumothorax pouvant engendrer des conséquences respiratoires parfois graves et urgentes.

Un pneumothorax se définit par un épanchement d'air dans la cavité pleurale. Cette cavité représente l'espace virtuel situé entre les deux feuillets de la membrane thoracique, nommé plèvre. En temps normal, cette cavité est composée d'une infime quantité de liquide, nommé liquide pleural, assurant le glissement des deux feuillets durant la respiration.

Le pneumothorax traumatique peut être lié à une lésion entraînant une pénétration d'air dans la cavité pleurale. La création d'une bulle d'air provoque une augmentation de la pression dans les poumons et leur affaissement. Le pneumothorax représente une pathologie fréquente en médecine d'urgence.

En l'absence de maladie pulmonaire, on parle de pneumothorax primaire, cas le plus fréquent, survenant le plus souvent chez les hommes âgés de 15 à 40 ans [12], comprenant en moyenne 350 cas/an dans 30 services de réanimation en Île-de-France [13]. Le pneumothorax secondaire, quant à lui, est provoqué par une maladie pulmonaire. L'examen médical le plus efficace et le moins irradiant pour diagnostiquer cette pathologie est la radiographie thoracique standard de face. Car elle permet de mettre en évidence le décollement partiel ou complet d'un poumon, rétracté sur le hile pulmonaire.

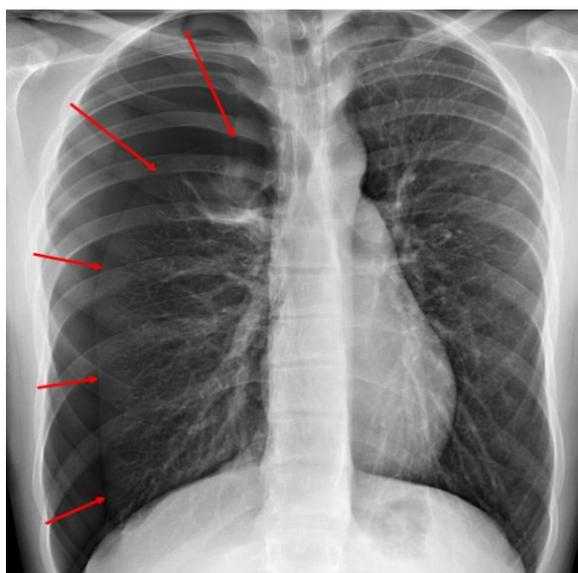


Illustration 5 : Radiographie thoracique avec pneumothorax



L'affaissement de ces derniers entraîne généralement des problèmes respiratoires et hémodynamiques parfois graves et urgents pouvant aller jusqu'à la mort. Pour limiter ces risques, il est primordial de diagnostiquer cette maladie pulmonaire le plus rapidement possible dès l'hospitalisation du patient. Car un traitement retardé peut entraîner un pneumothorax sous tension ou un agrandissement de l'épanchement d'air pouvant engendrer des conséquences fatales s'il n'est pas traité à temps [14].

Selon une enquête de la Société Française de Radiologie, le délai moyen entre la demande et l'interprétation d'une radiographie thoracique standard est de moins de 3 heures pour 97% des patients. Malgré ce délai relativement court, seulement 18% des clichés sont interprétés en urgence par un radiologue. C'est un taux relativement faible, obligeant parfois les urgentistes à interpréter les radiographies en temps réel sur les systèmes mobiles ou directement sur les stations PACS [15]. Lors d'une étude menée sur les problèmes actuels en radiologie diagnostique aux États Unis, le radiologue Rachh Pratik a constaté que le délai avant l'interprétation d'un examen pouvait parfois atteindre 8 heures dans certains services [16].

Ce délai d'interprétation dépend essentiellement du type d'établissement, du nombre de demandes d'examens, de l'effectif des manipulateurs en radiologie ou des radiologues présents ou encore de la période de la journée.

Depuis quelques années, le nombre de radiographies thoraciques mobiles est en constante évolution dans la majorité des centres hospitaliers. Cette croissance est principalement liée à l'avancée technologique des systèmes mobiles permettant de reproduire l'environnement d'une salle de radiographie directement dans la chambre du patient. Néanmoins, cette forte demande obstrue la liste des examens à interpréter, retardant considérablement le diagnostic et le traitement de situations critiques tels qu'un pneumothorax ou autres pathologies pulmonaires. Par conséquent, il est de plus en plus difficile pour les manipulateurs en radiologie et les radiologues de prioriser les véritables urgences.

Pour faire face à cette demande croissante de radiographie en chambre, de nombreuses entreprises telle que GE Healthcare ou encore des chercheurs de l'Université de Stanford



ont conçu des algorithmes pilotés par des intelligences artificielles capables de détecter des pneumothorax avec une précision sans précédent.

Cette détection automatique est rendue possible grâce aux méthodes d'apprentissage automatique, le Deep Learning. Comme nous l'avons vu précédemment, cette méthode consiste à alimenter un système avec des données en nombre considérable afin qu'il puisse imiter les procédures des radiologues dans l'interprétation des radiographies pulmonaires. Pour concevoir des algorithmes d'une telle précision, les chercheurs sont dans l'obligation de collecter des milliers de clichés provenant de différents hôpitaux du monde car les positions et les incidences radiographiques peuvent comporter des différences d'un établissement à l'autre. « Par exemple, en Inde, les radiographies thoraciques sont généralement prises plus loin qu'aux États Unis. De ce fait, les bras des patients sont souvent visibles sur les images. Par conséquent, si aucune différenciation n'est appliquée, l'algorithme peut alors interpréter l'air entre le bras et le corps comme un poumon effondré » [17].

Pour éviter ce type d'erreur, les ingénieurs en collaboration avec les radiologues doivent appliquer une segmentation manuelle très précise de la banque d'images récoltées sur différents sites (Machine Learning supervisé). Chaque radiographie thoracique ajoutée dans la base de données est interprétée puis segmentée manuellement de manière à délimiter point par point la cavité pleurale de chaque poumon. Certaines entreprises, délimitent uniquement l'épanchement pleural afin d'obtenir son volume. À partir de cette segmentation, l'algorithme est en mesure d'identifier des similitudes entre plusieurs images mais également d'extraire certaines zones d'intérêts présentant des caractéristiques distinctives, afin de trier chaque radiographie dans des catégories spécifiques de diagnostic. Ces catégories se différencient principalement par la taille du pneumothorax : plus ce dernier sera important, plus le degré de gravité envoyé au PACS sera élevé.





Illustration 6 : Les deux types de segmentation manuelle d'une radiographie thoracique

Une fois les paramètres empiriques optimisés, de nouvelles images non segmentées sont intégrées dans le processus de détection afin de tester la fiabilité de l'algorithme. Si les diagnostics calculés automatiquement par le système correspondent à ceux établis par les radiologues, alors le système peut commencer à être exploité.

Toutefois, les chercheurs doivent constamment alimenter l'algorithme de nouvelles images segmentées, afin d'atteindre une précision sans précédent. Selon les enquêtes réalisées par le chercheur chinois Chunli Qin, les algorithmes actuels de détection de pneumothorax peuvent atteindre des degrés de certitude allant jusqu'à 96,4% [18].

c. Les arguments mis en avant par les entreprises médicales – focus sur l'aide à la détection de pneumothorax

L'intelligence artificielle, et plus particulièrement l'aide au diagnostic, permet de répondre à de nombreux besoins en radiologie conventionnelle. Parmi les nombreux avantages mis en avant par les entreprises, la précision des algorithmes, la hiérarchisation et le gain de temps sont les plus utilisés dans les publications et campagnes marketing.

Selon plusieurs études, l'intelligence artificielle permettrait d'augmenter considérablement les performances des radiologues, en accumulant une expérience diagnostique (Deep Learning), en échangeant avec d'autres systèmes en réseau et en alimentant d'immenses bases de données. En effet, une étude publiée le 22 mars 2019 dans le journal médical JAMA Network Open a permis de prouver l'efficacité de l'intelligence artificielle dans l'interprétation de radiographies thoraciques. L'algorithme a



d'abord été alimenté et entraîné sur 54 221 radiographies normales et 35 613 radiographies anormales comprenant des pneumothorax. Les performances du système ont ensuite été comparées à celle de quinze médecins, dont dix radiologues sur des milliers de radiographies fournies par cinq hôpitaux, dont un en France (CHU de Grenoble). D'après le Dr Thibaut Jacques, radiologue au CHU de Lille, les résultats de l'étude ont démontré que les performances des radiologues sans l'aide au diagnostic étaient bonnes (classification d'image de 0,896 pour les radiologues et de 0,932 pour les radiologues thoraciques) et celles des radiologues associées à l'intelligence artificielle étaient nettement supérieures (classification d'image de 0,939 pour les radiologues et de 0,958 pour les radiologues thoraciques) [19].

| Observer Group | AUROC (95% CI) | P Value | AUAFROC (95% CI) | P Value | Sensitivity (95% CI) | P Value | Specificity (95% CI) | P Value |
|--|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|----------------------|--------------------|----------------------|-------------------|
| Session 1 (Physician Without DLAD Assistance) | | | | | | | | |
| Nonradiology physicians | 0.814 (0.764-0.864) | <.001 ^a | 0.781 (0.731-0.832) | <.001 ^a | 0.699 (0.657-0.738) | NA | 0.901 (0.871-0.926) | NA |
| Board-certified radiologists | 0.896 (0.856-0.937) | <.001 ^a | 0.870 (0.830-0.910) | <.001 ^a | 0.812 (0.775-0.845) | NA | 0.948 (0.925-0.966) | NA |
| Thoracic radiologists | 0.932 (0.901-0.963) | .002 ^a | 0.907 (0.874-0.940) | <.001 ^a | 0.876 (0.844-0.903) | NA | 0.946 (0.922-0.965) | NA |
| Session 2 (Physician With DLAD Assistance) | | | | | | | | |
| Nonradiology physicians | 0.904 (0.852-0.957) | <.001 ^b | 0.873 (0.815-0.931) | <.001 ^b | 0.835 (0.800-0.866) | <.001 ^b | 0.924 (0.896-0.946) | .006 ^b |
| Board-certified radiologists | 0.939 (0.911-0.968) | <.001 ^b | 0.919 (0.886-0.951) | <.001 ^b | 0.893 (0.863-0.919) | <.001 ^b | 0.948 (0.925-0.966) | .62 ^b |
| Thoracic radiologists | 0.958 (0.935-0.982) | .002 ^b | 0.938 (0.914-0.961) | <.001 ^b | 0.924 (0.898-0.946) | <.001 ^b | 0.948 (0.925-0.966) | >.99 ^b |

Abbreviations: AUAFROC, area under the alternative free-response receiver operating characteristic curve; AUROC, area under the receiver operating characteristic curve; DLAD, deep learning-based automatic detection algorithm; NA, not applicable.

^a Comparison of performance with DLAD.

^b Comparison of performance with session 1.

Illustration 7 : Tableau comprenant les performances des radiologues avec et sans l'aide au diagnostic [19]

Malgré ces résultats parfois spectaculaires, l'aide au diagnostic ne fait pas l'unanimité parmi les radiologues. À en croire certaines publications, l'intelligence artificielle devrait progressivement les remplacer dans les prochaines années à venir [20]. Néanmoins, les avantages exposés par les entreprises et les chercheurs s'opposent totalement à cette conception de remplacement. Selon certaines publications (par exemple JAMA Network Open), les entreprises souhaitent renforcer l'idée de complémentarité entre les radiologues et l'intelligence artificielle afin d'accroître la fiabilité de leurs prestations. L'objectif n'est pas de les remplacer, mais de les assister.

En plus de renforcer la performance et la précision des radiologues dans le diagnostic de cas difficiles, l'aide à la décision permet de hiérarchiser les examens en fonction de leur degré de gravité. Ainsi, les cas critiques de pneumothorax seront placés en tête de liste sur les stations d'interprétations et pourront être diagnostiqués et traités plus rapidement. De plus, le calcul du degré de gravité à partir de la taille du pneumothorax



permettra d’alerter le service de radiologie lors de cas critiques. Par exemple, si un patient atteint de pneumothorax est hospitalisé dans la nuit alors qu’il n’y a que quelques radiologues sur place, l’aide diagnostic permettra de les informer du degré de gravité de l’état de santé du patient.

Par ailleurs, l’aide au diagnostic peut compenser la suppression des services de radiologie et la pénurie de radiologues sur le territoire français. En effet, selon le rapport statistique du Centre National de Gestion des Praticiens Hospitaliers, la densité moyenne de radiologues est de 14,1 praticiens pour 100 000 habitants en 2015. Parmi les densités les plus faibles observées, cinq régions ont une densité inférieure à 11 praticiens pour 100 000 habitants [21]. Le manque d’effectifs dans ces régions de France augmente considérablement le délai d’attente pour la réalisation d’examens d’imagerie médicale, ce qui oblige les patients à effectuer de plus longs déplacements afin d’avoir accès aux soins.

| Région | Radiodiagnostic et imagerie médicale | Médecine nucléaire | Ensemble | Densité p. 100 000 |
|------------------------------|--------------------------------------|--------------------|--------------|--------------------|
| Alsace | 287 | 20 | 307 | 16,4 |
| Aquitaine | 484 | 30 | 514 | 15,4 |
| Auvergne | 153 | 12 | 165 | 12,1 |
| Basse-Normandie | 160 | 14 | 174 | 11,8 |
| Bourgogne | 180 | 21 | 201 | 12,3 |
| Bretagne | 357 | 29 | 386 | 11,8 |
| Centre | 273 | 24 | 297 | 11,5 |
| Champagne-Ardenne | 141 | 13 | 154 | 11,5 |
| Corse | 34 | 4 | 38 | 11,8 |
| Franche-Comté | 106 | 18 | 124 | 10,5 |
| Haute-Normandie | 191 | 14 | 205 | 11,1 |
| Ile de France | 2 017 | 158 | 2 175 | 18,1 |
| Languedoc-Roussillon | 431 | 32 | 463 | 16,8 |
| Limousin | 66 | 13 | 79 | 10,7 |
| Lorraine | 270 | 25 | 295 | 12,6 |
| Midi-Pyrénées | 368 | 29 | 397 | 13,4 |
| Nord-Pas-de-Calais | 539 | 53 | 592 | 14,6 |
| Pays de la Loire | 340 | 35 | 375 | 10,2 |
| Picardie | 168 | 17 | 185 | 9,6 |
| Poitou-Charentes | 179 | 14 | 193 | 10,7 |
| Provence-Alpes-Côte d’Azur | 805 | 56 | 861 | 17,3 |
| Rhône-Alpes | 828 | 56 | 884 | 13,7 |
| France Métropolitaine | 8 377 | 687 | 9 064 | 14,2 |
| Guadeloupe | 36 | 2 | 38 | 9,4 |
| Guyane | 17 | 0 | 17 | 6,8 |
| Martinique | 36 | 1 | 37 | 9,7 |
| La Réunion | 89 | 3 | 92 | 10,9 |
| Mayotte | 3 | 0 | 3 | 1,4 |
| DOM-TOM | 181 | 6 | 187 | 9,9 |
| France entière | 8 558 | 693 | 9 251 | 14,1 |

Illustration 8 : Répartition régionale des praticiens exerçant en radiologie et imagerie médicale et densité régionale

Cette aide au diagnostic peut également s’avérer utile lors de la création de nouveaux centres hospitaliers dans les pays émergents. Bien qu’avec des financements et des volontés politiques, la construction d’un centre hospitalier est facilement envisageable. Cependant, la formation de nouveaux radiologues peut prendre plus de temps. Ainsi, pour les entreprises et les chercheurs, ces systèmes devraient développer



l'accès à l'imagerie médicale, notamment dans les pays manquant de radiologues qualifiés.

D'un point de vue général, grâce au développement constant des aides à la décision, les entreprises pourront bientôt proposer des solutions plus diversifiées capables de détecter plusieurs pathologies à partir d'un seul équipement. Ces systèmes permettront d'alléger davantage la charge de travail des radiologues qui ne cesse de croître face à la demande constante d'examens à interpréter. Ainsi, le gain de temps cumulé permettra de consacrer davantage de temps aux patients. Par ailleurs, l'intelligence artificielle permettra également aux radiologues de déléguer les tâches chronophages et routinières, tels que la délimitation de tumeur pour vérifier l'évolution après traitement.

3. Le marché de l'intelligence artificielle dans la santé

Le marché de l'intelligence artificielle en France ne cesse de s'étendre avec des usages toujours plus innovants et variés. Cédric Villani et Bertrand Rondepierre ont décrit dans leur article intitulé « L'intelligence artificielle et la santé de demain » que la France possédait une grande capacité de recherche et jouissait d'une situation privilégiée pour tenir une place importante à l'échelle internationale dans le domaine de l'intelligence artificielle pour la santé [22].

Dans un rapport rendu public le mercredi 28 mars 2018, Monsieur Villani a chiffré l'importance du marché français dans ce domaine :

- « La France compte parmi les 4 premiers pays du monde pour la production mondiale d'articles sur l'intelligence artificielle, avec la Chine, les États-Unis, et le Royaume-Uni, grâce à son excellence en mathématiques, en STIC (Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication) et en SHS (Sciences Humaines et Sociales).
- 268 équipes de recherche comprenant 5 300 chercheurs.
- 80 ETI (Entreprise de Taille Intermédiaire) et PME (Petite et Moyenne Entreprise) et plus de 270 start-ups spécialisé en intelligence artificielle, avec un rythme de création soutenu : plus de 30% par an depuis 2010.



- 400 M€ par an de financement public pour la recherche en intelligence artificielle. » [23].

Suite à la publication de ce rapport, Emmanuel Macron a décidé d'instaurer un « plan intelligence artificielle » pour faire de la France un leader dans ce domaine. Ce plan aura pour objectif de créer un réseau d'instituts de recherche au meilleur niveau mondial. « L'ensemble du plan représentera sur le quinquennat un effort spécifique et inédit de près de 1,5 milliard d'euros de crédits publics », a précisé le chef de l'État [4].

Avec cette annonce très prometteuse, le marché de l'intelligence artificielle complexifie le paysage concurrentiel. En effet, d'après le magazine hospitalier français «Hospitalia», de nombreux acteurs s'implantent dans ce secteur d'activité comme les géants de l'informatique (Alphabet, IBM, Microsoft, etc.), les fournisseurs de processeurs (Intel, Nvidia, etc.), les marketplaces cloud (Blackford, Envoyai, etc.), les fabricants de systèmes intelligents (Analytics 4 Life, Butterfly, etc.), etc. [24]. Ces nouveaux entrants établissent des partenariats avec des acteurs historiques comme GE Healthcare, Philips ou encore Siemens Healthineers pour concevoir des applications dédiées à la radiologie. Les géants du numérique apportent leurs ressources informatiques (segmentation, base de données, service cloud etc.) et les entreprises de l'imagerie apportent leur expérience clinique. Dans les années à venir, de grandes et petites entreprises pourraient bien bouleverser ce marché. Bien conscients de cette attractivité, les leaders actuels investissent énormément dans ce domaine afin de conserver leur position dominante. Pour preuve, Philips a récemment créé un centre de recherche sur l'intelligence artificielle appliquée à l'imagerie médicale regroupant plus de cinquante chercheurs et ingénieurs. Ce centre de R&D travaillera en collaboration avec de grands centres hospitaliers, tels que l'AP-HP, les HCL ou encore le CHU de Rouen [25].

4. Les freins et la réglementation française

Comme évoqué dans les précédentes sous parties, les déploiements de l'intelligence artificielle ne cessent de se multiplier dans les entreprises médicales qui s'appuient sur l'expertise informatique des géants du numérique pour accroître la précision de diagnostic des professionnels de santé et améliorer la prise en charge des patients.



Bien que la FDA (Food and Drug Administration) vienne d'autoriser pour la première fois la commercialisation d'un dispositif médical équipé d'intelligence artificielle permettant de dépister la rétinopathie diabétique [26], la réglementation Française suscite de nombreuses interrogations sur le plan juridique.

Pour le moment en France, l'intelligence artificielle est impactée par deux réglementations:

- La loi n° 2016-1321 pour une République Numérique promulguée le 7 octobre 2016. Cette loi prépare la France aux différents enjeux de la transition numérique. Selon Axelle Lemaire, l'ancienne secrétaire d'État chargée du numérique et de l'innovation, l'objectif de cette loi est double. « D'une part, donner une longueur d'avance à la France dans le domaine du numérique en favorisant une politique d'ouverture des données et des connaissances. D'autre part, adopter une approche progressiste du numérique, qui s'appuie sur les individus, pour renforcer leur pouvoir d'agir et leurs droits dans le monde numérique » [27]. Par conséquent, chaque entreprise devra communiquer les caractéristiques de leurs algorithmes (fonctionnement, code source, etc.) et informer les patients quand une décision aura été prise par un traitement algorithmique.
- Le RGPD (Règlement Européen sur la protection des Données) établit le 25 mai 2018. Les principaux objectifs de ce règlement sont d'accroître à la fois la protection des personnes physiques à l'égard du traitement des données à caractère personnel et la responsabilisation des acteurs de ce traitement [28]. Ainsi, chaque entreprise devra s'assurer du consentement de chaque patient pour l'obtention de données et ne les utiliser que dans un but précis.

Contrairement aux États-Unis, les réglementations françaises et européennes contribuent à créer un cadre de confiance favorable au développement de systèmes transparents, respectueux et protecteurs des patients.

Au-delà de ces enjeux juridiques, l'utilisation des algorithmes pose des questions d'éthique. À cet effet, la CNIL (Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés) a récemment publié un rapport comprenant plusieurs recommandations à destination tant des pouvoirs publics que des diverses composantes de la société civile (entreprises, grand public, etc.). Ce rapport propose de former à l'éthique l'ensemble des acteurs-maillons de la « chaîne algorithmique » (ingénieurs, chercheurs, professionnels de santé, citoyens



etc.). De plus, la commission souhaite également renforcer la fonction éthique au sein des entreprises (par exemple, l'élaboration de comités d'éthique, la diffusion de bonnes pratiques sectorielles ou la révision de charte de déontologie peuvent être envisagées). Pour finir, la CNIL recommande que chaque entreprise ou administration nomme un responsable identifié capable de gérer toutes questions ou contestations du résultat fourni par un système doté d'intelligence artificielle [29].



II. Élaboration de l'étude qualitative

Comme évoqué au préalable, ce mémoire a pour objectif de définir l'intérêt réel de l'intelligence artificielle et plus particulièrement les avantages et les fonctionnalités de l'aide au diagnostic pour les services de radiologie. Plusieurs questions se posent : Comment l'intelligence artificielle est-elle perçue par les utilisateurs et les radiologues ? Comment les utilisateurs se préparent-ils à son arrivée sur le marché ? Quels sont les limites et les freins de ces nouvelles technologies ?

Ainsi la problématique de ce mémoire et de cette enquête qualitative est : ***Comment l'intelligence artificielle va améliorer l'activité radiologique dans le diagnostic des maladies pulmonaires ?***

Ce travail de recherche permettra de répondre à l'ensemble de ces questions, mais également de vérifier si les arguments exposés par les entreprises et chercheurs s'avèrent réellement efficaces pour les services de radiologie.

1. Conception générale d'une étude qualitative

a. Les différentes formes d'entretiens individuels et leurs utilisations

La réalisation d'entretien individuel a toujours été l'approche fondamentale des études qualitatives. Ces derniers permettent de garantir la spontanéité et la liberté d'expression de l'enquêté, tout en examinant ses émotions et son comportement face aux questions. C'est également une excellente technique pour découvrir et comprendre les attentes des potentiels utilisateurs.

Dans la littérature, il existe de nombreuses formes d'entretien individuel se distinguant principalement par le degré de liberté de l'enquêteur. Les formes les plus courantes sont les entretiens semi-directifs et non directifs. « Chaque technique présente des avantages et des inconvénients ; le choix de la formule appropriée s'effectue en prenant en considération le contexte et les objectifs de l'enquête. » [30].

L'entretien semi-directif permet de centrer le discours des enquêtés autour de différents thèmes définis au préalable par l'enquêteur dans un guide d'entretien. Contrairement à l'entretien directif, l'entretien semi-directif s'efforce de faciliter l'expression



de l'enquêté sur des sujets qui l'intéresse, et dont il est susceptible d'effectuer des relances.

L'entretien non directif, quant à lui, est caractérisé par une expression libre de l'enquêté à partir d'un thème proposé par l'enquêteur. « L'objectif est d'influencer l'enquêté le moins possible dans l'organisation de sa réponse, et d'intervenir essentiellement pour l'encourager dans son effort d'explication. Cela ne signifie pas que l'enquêteur s'abstienne de toute intervention, mais que l'enquêté détient l'attitude d'exploration. » [31].

Dans le but de comprendre comment l'intelligence artificielle va améliorer l'activité radiologique, j'ai décidé de mener des entretiens semi-directifs afin de valider ou d'invalider les arguments mis en avant par les entreprises et chercheurs. Avant d'entamer les entretiens, il est primordial de rédiger un guide répertoriant une liste exhaustive des questions à poser à partir d'hypothèses pertinentes. Cette liste doit être la plus complète et couvrir l'ensemble des thématiques.

b. Le seuil de saturation d'un entretien

Le nombre d'entretien s'arrête lorsque l'on atteint un seuil de saturation :

- La saturation théorique est atteinte lorsque l'on ne trouve plus d'information supplémentaire capable d'enrichir la théorie. « Par conséquent, il est impossible de savoir en amont quel sera le nombre d'unité d'observation nécessaire. Il revient donc au chercheur d'estimer s'il est parvenu au stade de saturation » [32].
- La saturation empirique se concentre davantage aux données, qu'aux propriétés des théories en tant que telles. « La saturation empirique désigne alors le phénomène par lequel l'enquêteur juge que les derniers documents, entrevues et observations n'apportent plus d'informations suffisamment nouvelles ou différentes pour justifier une augmentation du matériel empirique. » [33].

Le seuil de saturation ne dépend pas du nombre d'enquêtés mais plutôt de la variabilité des thèmes abordés. Plus les thématiques seront vastes, plus les avis pourront être divergents, par conséquent le seuil de saturation sera nettement plus élevé. Dans cette étude de cas, le guide d'entretien comportera un sujet principal regroupant plusieurs



thématiques secondaires. L'objectif étant de dépasser la simple description d'un phénomène pour en donner une compréhension globale.

c. L'analyse des données qualitatives

Pour effectuer une analyse précise, il est primordial de définir la diversité et les caractéristiques de chaque profil, mais également de relever les compréhensions qui ne sont pas toujours conscientes aux auteurs des discours.

La retranscription est la première étape de l'analyse, elle consiste à répertorier l'ensemble des informations recueillies lors des entretiens sous forme de texte, appelé « verbatim ». Si les données verbales ne sont pas assez développées, la retranscription peut contenir des mouvements et comportement d'approbation ou de rejet.

Une fois la retranscription réalisée, une méthode de codage sera appliquée afin de simplifier et de mettre en ordre l'ensemble des données retranscrites afin d'en tirer de bonnes conclusions. Le codage est un processus de réduction provisoire via une méthode de sélection, de simplification, d'abstraction et de transformation de données [34]. C'est ce processus qui permet la théorisation des données qualitatives. Ainsi, ces dernières seront classées dans des catégories représentant l'idée qu'elles véhiculent.

2. L'élaboration de l'étude qualitative

a. La procédure d'investigation

Dans la première partie de ce mémoire, nous avons constaté que l'intelligence artificielle s'immisçait de plus en plus dans le domaine de la santé. Comme toutes technologies, cette discipline présente de nombreux avantages surtout dans l'imagerie médicale. En effet, les précédentes études nous ont permis d'évaluer l'efficacité de ces systèmes et d'identifier les potentiels attentes des futurs consommateurs.

Dans cette étude de cas, les entretiens semi-directifs permettent de découvrir les réelles motivations qui inciteront les futurs utilisateurs à acheter des systèmes de radiographie mobile équipés d'aide à la décision.



Afin de répondre au mieux, à la problématique de ce mémoire, plusieurs hypothèses ont été établies et seront affirmées ou infirmées tout au long de ce travail de recherche.

- **Hypothèse 1 : Un suppléant pour le radiologue**

L'intelligence artificielle est capable d'améliorer considérablement les performances des radiologues dans leurs diagnostics.

- **Hypothèse 2 : Un délai d'intervention plus rapide**

La classification des examens à partir de leurs degrés de gravité permet d'interpréter et traiter plus rapidement les cas critiques.

- **Hypothèse 3 : Combler le manque d'effectif**

L'aide au diagnostic permet de compenser le manque de radiologues dans certaines régions de France ou pays émergents.

Pour vérifier ces hypothèses, j'ai décidé de réaliser des entretiens auprès de manipulateurs en radiologie. En effet, ces professionnels de santé font partie des principaux concernés par l'arrivée de ces nouvelles technologies. Leurs discours vont me permettre de mesurer l'écart entre les arguments exposés par les entreprises et la réalité dans les services de radiologie. Et ainsi, comprendre comment l'intelligence artificielle va réellement améliorer leur activité au quotidien.

b. Description de l'échantillon interrogé

Lors de mon précédent contrat de professionnalisation, j'ai eu la responsabilité de réaliser l'ensemble des démonstrations de système de radiographie mobile dans des services de radiologie français, belges et luxembourgeois. En conséquence, j'ai rencontré de nombreux radiologues et manipulateurs en radiologie. Ces nombreux déplacements m'ont permis de sélectionner des profils hétéroclites afin de collecter des opinions et pensées de diverses générations.

Dans le cadre de cette étude qualitative, l'échantillon est composé d'un ensemble de 9 manipulateurs en radiologie qui présentent des profils variés par leurs âges, expériences, activités et établissements. Cette diversité m'a permis de dresser un portrait exhaustif du contexte actuel dans le milieu de la radiologie conventionnelle. La majorité de



ces entretiens ont été réalisés en visioconférence, puisque la taille de mon secteur et la disponibilité des manipulateurs ne me permettait pas de me rendre sur les sites.

| Sujet | Age | Profession | Établissement | Durée de l'entretien |
|---------------------------|-----------------|--------------------------------|--|----------------------|
| Jean Baptiste | 30 ans | Manipulateur | Institut de Cancérologie de l'Ouest (Nantes) | 25 minutes |
| Nadine | 27 ans | Manipulateur | Institut Gustave Roussy (Villejuif) | 21 minutes |
| Jean Yves / Isabelle | 60 ans / 25 ans | Manipulateur | Clinique Pasteur (Toulouse) | 19 minutes |
| Véronique | 55 ans | Manipulateur | Hôpital Saint Joseph (Paris) | 18 minutes |
| Rudy / Philippe Borremans | 38 ans / 45 ans | Manipulateur / Chef de service | Clinique Notre Dame de Grace (Belgique) | 22 minutes |
| Olivier | 50 ans | Manipulateur | Centre Hospitalier de Sélestat | 17 minutes |
| Julien | 37 ans | Manipulateur | Imapole (Villeurbanne) | 25 minutes |

Les entretiens ont duré entre 17 et 25 minutes. La majorité d'entre eux ont été enregistrés pour faciliter leurs retranscriptions.

c. Guide d'entretien

Le guide d'entretien est indispensable pour garantir une traçabilité des questions posées et assurer une certaine reproductibilité. Autrement dit, ce guide est le fils conducteur des entretiens permettant de vérifier que toutes les hypothèses ont été abordées par l'enquêteur. Vous pouvez le découvrir en Annexe 1 (« *Guide d'entretien de l'étude qualitative* »). Il est important de laisser l'enquêté exprimer librement ses pensées, même si l'ordre chronologique des questions n'est pas respecté.

J'ai décidé de commencer tous les entretiens par une introduction pour me présenter et expliquer le sujet de l'étude. Pour ne pas influencer les réponses des enquêtés, je ne voulais surtout pas me présenter en tant qu'ingénieur d'application pour ainsi faire preuve d'objectivité et neutralité.



Présentation de
l'enquêté et de son
service

Les avantages de l'aide
au diagnostic pour
l'enquêté

Les limites et
craintes de l'enquêté

La première partie de l'entretien est consacrée à la présentation des enquêtés et de leurs services. Il me semble indispensable de connaître leurs activités de radiographie afin d'analyser si le nombre d'examens peut influencer leurs motivations à utiliser ce type de système. Par exemple, les sites n'ayant que cinq demandes de radiographies en chambre par jour n'auront pas d'intérêt à utiliser cette aide au diagnostic. Ensuite, la deuxième partie a pour objectif de comprendre les principales motivations des enquêtés concernant l'intelligence artificielle. Elles me permettront de savoir si l'aide au diagnostic de pneumothorax est un outil d'avenir pour les radiologues. Enfin, la dernière partie est dédiée aux éventuelles craintes des enquêtés face à l'arrivée de ces nouvelles technologies.



III. Analyse et traitement des données qualitatives

Pour rappel, cette enquête qualitative a pour finalité de m'aider à mieux cerner les motivations et les points de vue des manipulateurs en radiologie face à l'arrivée de l'intelligence artificielle dans les services de radiologie français. Les réponses des manipulateurs m'ont permis d'identifier le rôle de ces nouvelles technologies et d'analyser l'écart entre les avantages escomptés par les entreprises et la réalité sur le terrain. Sept entretiens semi-directifs ont été réalisés dans le cadre de cette étude qualitative. Le verbatim de l'entretien avec Jean-Baptiste est disponible en Annexe 2 (« *Retranscription de l'entretien réalisé avec Jean-Baptiste* »). Pour analyser la totalité de ces données, j'ai créé une grille d'analyse de contenu afin de réaliser la méthode de codage et de référencer les points les plus importants obtenus lors de cette étude.

Durant la réalisation de cette enquête, j'ai constaté que l'ensemble des manipulateurs partageaient les mêmes ressentis sur des points respectifs, mais également quelques avis divergents sur d'autres aspects. C'est pourquoi, l'analyse de ces données sera répartie en fonction des trois thématiques et des questions abordées lors de ces entretiens.

1. La place de l'aide au diagnostic dans les années à venir

La totalité des manipulateurs interrogés sont conscients que l'intelligence artificielle prend de plus en plus d'ampleur dans le domaine de l'imagerie médicale. Ils affirment que sa présence apparaît comme une évidence dans leur quotidien, d'autant plus que le secteur de la radiologie est très innovant. Par ailleurs, malgré une potentielle restriction financière, les futurs utilisateurs prédisent une explosion du marché de l'intelligence artificielle dans un avenir très proche.

À titre d'exemple, Nadine affirme « *que l'aide au diagnostic va prendre de plus en plus de place dans les années à venir, sur toutes les modalités, que ce soit en radiologie conventionnelle, en scanner ou encore en IRM. Ce développement est un argument de vente de la part des constructeurs* ».



D'autres encore, comme Jean Yves explique que « *l'intelligence artificielle est l'avenir de la radiologie moderne. Que l'on soit pour ou contre leur utilisation dans les services, nous devons commencer à apprendre à travailler avec ces outils* ».

Il est donc intéressant de constater que tous les services de radiologie interrogés, quelle que soit leur activité, semblent prêts pour l'arrivée de ces aides à la décision. L'homogénéité des réponses signifie que ces systèmes s'avèrent bénéfiques à la fois pour les utilisateurs, mais également pour les patients. Il reste donc à savoir comment ces systèmes pourront réellement améliorer leur activité, ainsi que la prise en charge des patients.

2. Le rôle des radiologues face à l'arrivée de l'intelligence artificielle

Dans la continuité de cette démarche, je souhaitais connaître la perception des manipulateurs face à l'idée de complémentarité entre les radiologues et l'intelligence artificielle. Ainsi, leurs réponses me permettraient de savoir si l'aide au diagnostic est considéré comme un simple outil ou une menace pour les radiologues.

Une fois de plus, les réponses des manipulateurs étaient unanimes. En effet, ils semblent tous convaincus que l'intelligence artificielle s'avère d'une aide considérable pour le diagnostic ou l'orientation thérapeutique, sans pour autant remplacer la décision des radiologues.

Dans cette optique, Jean Baptiste estime que « *d'un point de vue complètement extérieur, ces algorithmes vont aider les radiologues dans leur quotidien. Cependant, nous n'allons pas pouvoir supprimer des postes en mettant en place de l'intelligence artificielle. Je suis persuadé qu'il faudra toujours de l'humain pour pouvoir discuter avec les patients, vérifier l'interprétation des images et donner une décision finale* ». Laisser un algorithme établir un diagnostic ou décider d'un traitement est tout aussi inconcevable pour Isabelle qui est « *persuadée que toutes ces améliorations doivent rester des outils d'aide à la décision, et il est impossible d'envisager le remplacement des professionnels de santé par ces nouvelles technologies* ».

Dans leurs propos, je constate que l'intelligence artificielle ne représente en aucun cas une menace pour les radiologues, car leur activité reste indispensable à l'interprétation des



examens. D'autant plus que ces outils seront incapables de remplacer la relation entre les patients et les praticiens.

3. Les avantages de l'aide au diagnostic sur les systèmes de radiographie mobile

L'intérêt de cette question était d'affirmer ou d'infirmer les hypothèses établies au préalable lors de l'élaboration de l'étude. Les réponses des manipulateurs m'ont permis d'analyser leurs attentes, mais également de prioriser les avantages en fonction de leurs besoins. À partir des résultats de l'analyse, des recommandations seront établies pour les entreprises médicales afin de cibler les arguments de vente à privilégier devant les potentiels acheteurs.

De manière générale, tous les manipulateurs admettent que la performance des algorithmes est l'atout majeur de ces nouvelles technologies. D'une part, car les performances de ces systèmes permettent d'obtenir un diagnostic plus rapide et de meilleure qualité qu'en pratique habituelle. D'autre part, car ils permettent de renforcer la confiance des radiologues dans leurs diagnostics, et plus particulièrement chez les débutants. Certains manipulateurs qualifient cette intelligence artificielle comme le « *copilote du radiologue* ».

À titre d'exemple, Olivier déclare « *qu'en terme de performance clinique, les algorithmes sont nettement supérieurs aux radiologues. Je pense que ça peut également aider les jeunes radiologues, mais aussi les manipulateurs radio. Car même si nous n'interprétons pas les images, l'aide au diagnostic peut nous permettre de savoir si nous devons faire des examens complémentaires ou non* ».

Pour confirmer ces propos, Véronique certifie que l'aide au diagnostic peut également être bénéfique pour les manipulateurs dans des établissements spécifiques, tel que l'hôpital Saint-Joseph où « *les clichés réalisés au lit ne sont pas vérifiés et interprétés par les radiologues du service d'imagerie. (...) Donc très souvent en cas d'images suspectes nécessitant une prise en charge rapide, telle que des poumons blancs ou de gros pneumothorax, les manipulateurs radio doivent directement prévenir le médecin prescripteur. Ainsi, la détection automatique de pneumothorax pourrait nous permettre de confirmer notre observation* ».



D'après Julien, la performance des algorithmes permet également « *d'apporter une aide complémentaire au radiologue face à un doute ou à un cas compliqué comme une superposition de structure d'image, (...) ou encore déceler des anomalies minimales qui auraient pu être ignorées en temps normal et pouvoir anticiper une éventuelle complication* ».

Dans un deuxième temps, je souhaitais vérifier si le délai d'interprétation des examens pouvait diminuer avec l'utilisation de l'intelligence artificielle. Cette question était très compliquée pour les manipulateurs puisqu'ils n'avaient pas encore suffisamment de recul et d'information à ce sujet. Par conséquent, deux tendances se sont développées.

Certains manipulateurs, dont Jean-Baptiste, indiquent que « *l'intelligence artificielle permettrait de réduire ce délai, notamment dans un contexte de jour standard, (...) car dans notre établissement les examens ne sont interprétés qu'une fois par jour. Dans le cas où le radiologue se retrouve avec 40 radiographies à interpréter, l'intelligence artificielle va lui permettre de sélectionner les examens à prendre en priorité. De ce fait le délai d'interprétation sera forcément réduit* ».

À l'inverse, certains manipulateurs en radiologie restent assez sceptiques sur ce sujet. Effectivement, ils pensent que la hiérarchisation des examens est à privilégier uniquement dans les grands centres hospitaliers possédant une activité importante de radiographies en chambre.

Par exemple, Rudy et M. Borremans assurent « *qu'un système d'alerte de cas critique sur le PACS peut être intéressant dans les grands centres d'urgences où il y a une grande activité de radiographie de lits. (...) Mais dans notre organisation actuelle (25 examens max/jour), je ne vois de nécessité car les manipulateurs radio sont formés à identifier assez rapidement de grosses pathologies telles que des pneumothorax. Si nous utilisons de l'aide au diagnostic, alors nous allons être considérés comme de simple « presse-boutons » si la machine détecte automatiquement des pathologies. C'est aussi notre rôle, et cela fait partie de nos compétences de signaler aux radiologues les examens urgents.* »



Par ailleurs, Nadine estime que *« si les radiographies sont interprétées en temps et en heure, la prise en charge se fera d'une meilleure façon qu'avec le principe de classement par degré de gravité. Ces radiographies sont demandées en urgence et doivent donc être interprétées en urgence. De plus, si la classification est erronée pour quelques raisons que ce soit, une pathologie grave peut se retrouver en bas de la liste. Le meilleur moyen de diagnostiquer et de soigner un patient rapidement est d'effectuer une prise en charge dans de bonnes conditions »*.

On peut donc constater que les enquêtés perçoivent différemment l'impact de l'aide au diagnostic sur le délai d'interprétation des examens. Cet argument de vente dépendra principalement de l'organisation et de l'activité des services de radiologie. Si les radiologues visualisent les examens en temps réel, il n'y aura pas de nécessité à utiliser cette fonctionnalité. En revanche, les grands établissements hospitaliers avec des délais d'interprétation plus conséquents pourront être concernés par la hiérarchisation des examens.

Pour finir, je tenais à vérifier si l'intelligence artificielle pouvait combler le manque de radiologues dans certaines régions de France ou pays émergents. Une fois de plus, les impressions des manipulateurs étaient similaires, puisqu'ils affirment tous que l'aide au diagnostic doit rester un outil de travail et ne doit en aucun cas remplacer une présence humaine. D'après Jean-Baptiste, *« c'est un bon argument commercial de la part des entreprises médicales, mais en réalité il faudra dans tous les cas du personnel pour pouvoir interpréter les clichés et donner le diagnostic final »*. Rudy précise même que *« grâce aux systèmes de PACS actuels, les radiologues peuvent visualiser les examens à distance sur leurs PC en quelques secondes »*.

En conséquence, l'intelligence artificielle n'est pas une solution adaptée pour compenser le manque d'effectif. En revanche, certains manipulateurs considèrent que l'interprétation des examens à distance avec des systèmes de visualisation pourrait être une solution plus efficace.



4. Les limites de l'aide à la détection de pathologies pulmonaires

Dans cette partie de l'analyse, j'ai souhaité caractériser les craintes et les limites des manipulateurs face à l'utilisation de l'intelligence artificielle dans la détection de pathologies pulmonaires. Cette question les a souvent déstabilisés par sa complexité. Toutefois, ils m'ont chacun exposé des raisonnements très pertinents et diversifiés.

Pour certains enquêtés, les radiologues ne doivent pas se reposer sur cette aide au diagnostic pour délaissé certaines tâches. De plus, ils démontrent également l'importance de conserver une interaction entre le patient et le praticien, car cette partie clinique se dégrade progressivement au fil des années.

Nadine explique ses inquiétudes à ce sujet : *« j'ai peur que le niveau de diagnostic des médecins diminue progressivement comme c'est déjà le cas dans d'autres modalités. Plus l'image médicale est performante, plus les médecins se reposent dessus, demandant de nombreux examens pour poser un diagnostic. Toutefois, ils en oublient des éléments essentiels, tels que l'examen clinique ou l'échange avec le patient »*. Dans cette continuité, Isabelle affirme que *« les urgentistes risquent d'abuser de ces outils d'aide à la détection en demandant constamment des radiographies thoraciques, sans ausculter les patients, c'est déjà le cas dans notre établissement. Il ne faut pas que ces outils restreignent davantage cette partie clinique »*.

D'autres manipulateurs considèrent que le prix de ces algorithmes peut freiner leur développement sur le marché. Jean-Baptiste témoigne son ressenti : *« Dans le milieu médical, nous sommes toujours dans la course à l'argent. Aujourd'hui, il y a beaucoup d'entreprises qui vont proposer de l'aide à la décision, mais à quel prix ? Finalement, je refais le comparatif avec le CAD en mammographie, c'est un logiciel qui coute extrêmement cher, puisqu'on est de l'ordre de quarante mille euros. Tout le monde ne peut pas s'équiper de ce type de logiciel. De ce fait, on est en train de faire une différence entre les grands centres hospitaliers et les petits hôpitaux. Ainsi il y aura une disparité dans la prise en charge des patients, car il n'y aura pas forcément les mêmes atouts et technologies »*.



Comme nous pouvons le constater, le prix d'un dispositif médical est souvent un facteur déterminant de motivation à l'achat. Ainsi, plus le coût de l'équipement sera attractif, plus les petits établissements pourront s'y intéresser. Olivier a justifié cet argument en faisant référence à la courbe de hype. Il s'agit d'une courbe décrivant l'évolution de l'intérêt des consommateurs pour une nouvelle technologie. Selon lui « *l'intelligence artificielle est très tendance en ce moment, il nous suffit de se déplacer dans les congrès et salons pour voir que l'intelligence artificielle est le sujet à « la mode ». Personnellement, je pense que l'intelligence artificielle arrive au sommet de la courbe de hype, justifiant des prix très onéreux. À l'avenir, ces équipements seront plus abordables et beaucoup plus de sites pourront s'en procurer* ».

Rudy, quant à lui, reste sceptique face à l'arrivée de l'intelligence artificielle et redoute que sa profession soit touchée : « *Ma crainte c'est de standardiser et de ne plus rendre les manipulateurs radio comme quelqu'un d'humain et d'intelligent, et d'en faire un simple « presse-bouton ». C'est déjà le cas avec les tables télécommandées automatiques, on ne vérifie plus jamais nos doses et on réalise des examens avec n'importe quoi sur n'importe qui. J'ai l'impression que l'on tue la profession qui était au départ de faire de la recherche* ».

À partir de ces justifications, les entreprises devront mettre en place des solutions, ainsi que des stratégies marketing et commerciales pour contourner les craintes identifiées par les potentiels acheteurs qui pourraient à l'avenir freiner le développement de l'intelligence artificielle sur le marché français.

5. Les potentielles craintes des patients face à l'utilisation de l'intelligence artificielle

Dans la dernière partie de cette analyse, j'ai souhaité identifier les éventuelles craintes des patients face à l'utilisation de l'intelligence artificielle. Tous les manipulateurs sont convaincus que les patients auront un besoin de transparence dans le processus de consultation. Ils auront tout à fait le droit de réclamer des explications aux radiologues et manipulateurs afin de comprendre leur prise en charge.

Isabelle précise que « (...) si l'on utilise l'intelligence artificielle comme une simple aide au diagnostic et que le praticien vérifie le diagnostic et réalise le compte-rendu final, les



patients seront encore plus rassurés. Mais si c'est uniquement l'intelligence artificielle qui donne le diagnostic, je pense que ça peut faire peur aux patients ».

Pour d'autres manipulateurs, l'aide au diagnostic peut servir à faire de la promotion aux établissements privés pour accroître leur clientèle. En effet, Rudy explique que l'intelligence artificielle « *est un atout et une stratégie marketing. Je crois que beaucoup de centres vont l'utiliser pour faire de la publicité afin d'attirer plus de patients et permettre une soi-disant meilleure qualité. C'est purement marketing, si on dit que nous sommes le premier centre de Belgique à être équipé d'intelligence artificielle avec des statistiques et des études à l'appui, tous les patients vont vouloir venir dans notre établissement pour faire des dépistages ».*



IV. Recommandations pour les entreprises médicales

Après avoir défini l'intelligence artificielle sur des systèmes de radiographie mobile et décrit les avantages présentés par les entreprises et chercheurs, j'ai décidé de réaliser une étude qualitative afin d'analyser les attentes et le contexte actuel du marché de la radiologie conventionnelle. Les témoignages des manipulateurs m'ont permis de répondre à ma problématique principale, de façon objective, grâce à l'affirmation et l'infirmité des hypothèses de départ.

L'objectif de cette quatrième et dernière partie est de donner un sens aux résultats obtenus en élaborant des recommandations applicables destinées aux petites et grandes entreprises médicales qui souhaiteraient concevoir et commercialiser des systèmes d'aide à la détection. Ces recommandations pourront être exploitées autant à des fins commerciales et marketing, que managériales. Toutes ces mesures ont pour finalité d'accroître l'intérêt des clients sur les nouveaux systèmes équipés d'intelligence artificielle.

1. Recommandations commerciales et marketing

L'étude qualitative m'a permis de constater que la totalité des manipulateurs interrogés portaient un réel intérêt à l'aide au diagnostic sur toutes les modalités confondues. En effet, ces systèmes s'avèrent bénéfiques aussi bien pour les professionnels de santé, que pour les patients. Face à ces affirmations, les entreprises devront établir des stratégies commerciales et marketings adaptées à leurs besoins et activités, tout en se focalisant sur des arguments pertinents et concrets.

a. Élaboration d'une approche commerciale

En prenant en considération les témoignages des manipulateurs, il me semble indispensable d'orienter les discours commerciaux sur la performance des algorithmes, car ces derniers permettent d'obtenir des diagnostics plus rapides et plus précis qu'en pratique habituelle. Les entreprises devront privilégier cet argument de vente auprès des grands centres hospitaliers possédant des internes et des radiologues débutant dans la profession, car ces outils leur permettront de renforcer leurs diagnostics face à des incertitudes ou des cas difficiles. En outre, il serait également judicieux de mettre en avant



cet argument auprès des établissements où les manipulateurs ont de grandes responsabilités dans la prise en charge des patients. Pour rappel, dans certains sites, tel que l'hôpital Saint-Joseph, les manipulateurs sont chargés d'informer les médecins prescripteurs et urgentistes lorsqu'ils identifient des cas critiques, tels qu'un pneumothorax ou encore un poumon blanc. Cette aide au diagnostic est donc un moyen de les rassurer dans leur constatation.

Les commerciaux devront également se renseigner sur l'organisation et l'activité de leur client. Puisque les services possédant une grande activité de radiographie de lit et un délai d'interprétation important pourront être intéressés par la classification des examens par degré de gravité. En revanche, il n'y aura aucun intérêt pour les vendeurs d'exposer cet argument aux clients possédant une faible activité de radiographie de lit.

Par ailleurs, l'environnement hospitalier est constamment en évolution depuis plusieurs années créant progressivement un milieu concurrentiel jusqu'à maintenant réservé aux structures privées. L'intelligence artificielle peut alors être employée dans une démarche marketing hospitalière, de façon à contribuer à l'amélioration continue de la qualité des soins et de la prise en charge des patients, tout en assurant la pérennité financière de l'établissement. Ainsi, la publication d'études et d'articles promouvant l'efficacité de ces algorithmes permettrait de développer la notoriété et l'attractivité de ces établissements de santé. En parallèle, cette démarche promotionnelle représente également un argument de taille en faveur des commerciaux.

Malgré son efficacité, l'aide au diagnostic n'est pas à promouvoir prioritairement dans les établissements en manque d'effectif, puisqu'elle n'est pas considérée comme une solution adaptée pour compenser le manque de praticiens. En effet, tous les manipulateurs m'ont affirmé que la présence des radiologues était indispensable afin d'assurer la partie clinique et l'interprétation finale des examens.

b. Création de campagnes et supports marketing

En ce qui concerne la stratégie marketing, les entreprises médicales devront mettre en place des campagnes marketing pour lancer et promouvoir ces nouveaux dispositifs. Ces dernières devront s'intégrer de manière cohérente à la stratégie commerciale de l'entreprise, tout en s'appuyant sur une proposition de valeur unique et adaptée à la



clientèle. L'objectif étant d'augmenter les ventes, de renforcer la visibilité de l'entreprise, mais aussi de maintenir des relations directes avec les clients actuels et potentiels.

Bien qu'elle bénéficie déjà d'une bonne perception générale, certains manipulateurs ne semblent pas aussi bien informés sur l'intelligence artificielle en radiologie conventionnelle que dans d'autres modalités, tels que la mammographie, le scanner ou encore l'IRM. En conséquence, le développement d'une stratégie de communication avec des supports adaptés aux objectifs de l'entreprise favorisera le partage des connaissances et l'insertion de ces nouvelles technologies sur le marché français. Tout type de support est bénéfique à sa commercialisation, cela peut aller de la simple vidéo promotionnelle, à la création d'évènements dédiés à la découverte et à l'initiation de l'aide au diagnostic. L'efficacité de ces supports de communication sur le retour d'investissement dépendra principalement du financement alloué à cet effet.

C'est dans cette même démarche que les entreprises devront établir des partenariats cliniques avec des sites de référence ou de sites pilotes afin de faciliter l'élaboration de ces supports de communication tout en garantissant le développement et la valorisation de l'intelligence artificielle grâce à l'expertise des radiologues et manipulateurs. Ces derniers étant tous les jours confrontés à de nouveaux cas clinique, leurs recommandations permettront de concevoir des systèmes toujours plus performants et adaptés aux besoins actuels.

2. Recommandations managériales

La revue littéraire de ce travail de recherche m'a permis d'affirmer que malgré certaines limites juridiques et éthiques, l'intelligence artificielle allait prochainement bouleverser le marché de la santé, et plus particulièrement celui de l'imagerie médicale. Il suffit d'analyser les stratégies de recherche des leaders mondiaux et les thématiques des congrès pour constater que l'intelligence artificielle est au cœur du développement de la santé. En guise d'exemple, la thématique principale de la prochaine édition des Journées Francophones de Radiologie sera consacrée à l'intelligence artificielle avec un forum spécialement dédiée [35].



Face à l'engouement porté autour de l'intelligence artificielle, les entreprises devront mettre en place des centres de recherche et développement spécialisés, mais également des partenariats de recherche avec des établissements hospitaliers et des entreprises informatiques afin de favoriser l'innovation pour maintenir leur attractivité face à une concurrence de plus en plus rude. Comme évoqué dans la première partie, Philips a d'ores et déjà investi dans ce domaine en créant un centre d'expertise comprenant une cinquantaine de chercheurs et ingénieurs qui travailleront dans un "écosystème ouvert" de partenaires composés d'instituts de recherche académiques comme l'INSERM, l'INRIA (Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique) et l'AP-HP [25].

Toutefois, Les entreprises multinationales n'ayant pas forcément les fonds nécessaires à la création de centre de recherche dédié à l'intelligence artificielle pourront malgré tout investir dans des start-up de la santé et du numérique, sous la forme de prise de participation directe ou indirecte.

L'intérêt général des partenariats et centres de recherche en radiologie conventionnelle sera de perfectionner la performance des algorithmes, tout en développant le nombre de pathologies identifiables.

Actuellement, l'aide au diagnostic est utilisé pour des examens et pathologies bien spécifiques. Cependant, si les prédictions sur l'évolution du marché s'avèrent vraies, les entreprises médicales seront probablement capables de concevoir un système d'aide au diagnostic pouvant détecter aussi bien des lésions osseuses que des pathologies pulmonaires. Par conséquent, l'accroissement des possibilités de diagnostic permettra d'alléger la charge de travail des radiologues, pour ainsi se consacrer davantage aux patients.



Conclusion

Depuis une vingtaine d'années, notre société évolue dans un monde hautement technologique influencé par des programmes et des algorithmes informatiques. Ces performances technologiques se perfectionnent dans de nombreux secteurs d'activité dans le but d'aider les hommes à améliorer leurs quotidiens par des moyens plus performants.

L'intelligence artificielle est un domaine de recherche en pleine expansion et représente un acteur majeur de la médecine du futur. Bien que ses performances de calcul ne soient pas encore exploitées au maximum, l'aide au diagnostic va totalement bouleverser l'activité de la radiologie conventionnelle. En effet, l'émergence de ces systèmes informatiques liés à l'intelligence artificielle propose aux professionnels de santé des perspectives nouvelles, qu'elles soient cliniques, organisationnelles ou économiques.

Ces systèmes s'avèrent d'une aide considérable dans le diagnostic des patients en apportant soutien et expertise aux radiologues. Leurs performances algorithmiques permettent de diagnostiquer des pathologies en quelques secondes avec une précision sans précédent. Par ailleurs, la classification des examens par degrés de gravité permet d'améliorer la prise en charge des patients, notamment dans les grands centres hospitaliers. Enfin, l'aide au diagnostic permet de réduire la charge de travail des radiologues au profit d'un meilleur suivi des patients.

Les évolutions technologiques et juridiques sont en train de développer progressivement ces algorithmes afin de les positionner au sein des services de radiologie français. Pour les rendre accessible à tous, ces systèmes nécessiteront de libérer des financements conséquents qui seront rapidement rentabilisés grâce à la réduction des coûts et aux gains de productivité.

Face à ces avantages, l'intelligence artificielle complexifie le paysage concurrentiel incitant les leaders mondiaux à mettre en place des mesures et des solutions adaptées pour maintenir leur position dominante car de nouvelles entreprises pourraient bientôt bouleverser le marché de l'imagerie médicale actuel.



Toutefois, plusieurs limites et freins amortissent le développement de l'intelligence artificielle sur le marché français. D'un point de vue éthique et juridique, l'Europe exige un minimum de protection sur les données patients et une transparence totale des algorithmes, contrairement à la Chine ou les États-Unis qui ont déjà donné leur feu vert pour leur commercialisation.

Dans le futur, il serait intéressant d'analyser les limites que peuvent franchir ces pays dans la sécurité et la protection des données personnelles pour innover dans le domaine de l'intelligence artificielle.



Bibliographie

- [1]. PIERRON L. & EVENNOU A., (2017, décembre). *La santé à l'heure de l'intelligence artificielle*, p. 5 – 6. Consulté le 4 mai 2019, sur http://tnova.fr/system/contents/files/000/001/489/original/Terra-Nova_Sante-Intelligence-Artificielle_051217.pdf?1512401730
- [2]. MINSKY M., (1961, janvier). *Steps toward artificial intelligence*, 1 – 23. Consulté le 4 mai 2019, sur <https://courses.csail.mit.edu/6.803/pdf/steps.pdf>
- [3]. PIERRON L. & EVENNOU A., (2017, décembre). *La santé à l'heure de l'intelligence artificielle*, p. 3. Consulté le 2 mai 2019, sur http://tnova.fr/system/contents/files/000/001/489/original/Terra-Nova_Sante-Intelligence-Artificielle_051217.pdf?1512401730
- [4]. MACRON E., (2019, mars 29). *Discours du Président de la République sur l'intelligence artificielle*, Paris Collège de France. Consulté le 5 mai 2019, sur <https://www.elysee.fr/emmanuel-macron/2018/03/29/discours-du-president-de-la-republique-sur-lintelligence-artificielle>
- [5]. INSERM, (2018, juillet). *Intelligence artificielle et santé - Des algorithmes au service de la médecine*. Consulté le 8 juin 2019, sur <https://www.inserm.fr/information-en-sante/dossiers-information/intelligence-artificielle-et-sante>
- [6]. NORDLINGER B. & VILLANI C., (2018). Introduction, *Santé et intelligence artificielle*, Paris CNRS ÉDITIONS, p. 12. Consulté le 11 mai 2019.
- [7]. HTTPCS, (s.d.). *Le Machine Learning*. Consulté le 15 juin 2019, sur <https://www.httpcs.com/fr/machine-learning-cybersecurite>
- [8]. DELUZARCHE C., (2018). *Deep Learning*, FuturaTech. Consulté le 15 juin 2019, sur <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/intelligence-artificielle-deep-learning-17262/>
- [9]. HUGHES G., (1968). *On the Mean Accuracy of Statistical Patterns Recognizers*, IEEE Transaction, vol 14, issue1, p. 55. Consulté le 29 juin 2019.
- [10]. HAS, (2010, juillet 12). *Étude des systèmes d'aide à la décision médicale*, p. 4. Consulté le 30 juin 2019, sur https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2011-01/etude_sadm_etat_des_lieux_1.pdf
- [11]. Société Française de Radiologie, (2010, septembre). *Utilisation des produits de contraste en Imagerie Médicale*, p. 1 - 2. Consulté le 30 juin 2019, sur <http://www.sfrnet.org/Data/upload/documents/Fiches%20infos%20patients/2010%20fiche%20info%20patient%20PDC.pdf>
- [12]. RABBAT A., HAZOUARD E., MAGRO P. & LEMARIE E., (2004, décembre). Conduite à tenir devant un pneumothorax spontané et primitif, *Revue des Maladies Respiratoires*, 21, p. 1187 - 1188. Consulté le 24 juin 2019, sur <https://www.em-consulte.com/showarticlefile/144697/index.pdf>



- [13]. LELLOUCHE F. & MAITRE B., (2003, novembre). *Prise en charge des pneumothorax spontanés idiopathiques aux urgences*, p. 495 – 501.
Consulté le 30 juin 2019, sur <https://doi.org/10.1016/j.reaurg.2003.08.006>
- [14]. LORENZ J. & MATTHEW B., (2006). *Complications of percutaneous chest biopsy*, Seminars in interventional radiology. Vol. 23. No. 2. Thieme Medical Publishers. Consulté le 24 juin 2019.
- [15]. Société Française de Radiologie, (2014, octobre). *Accès aux examens d'imagerie médicale en urgence*, p. 26 - 28. Consulté le 30 juin 2019, sur http://www.sfrnet.org/rc/org/sfrnet/htm/Article/2014/20141022-083958-505/src/htm_fullText/fr/Enquete_Delai%20Access%20IRM_Rapport.pdf
- [16]. RACHH P., (2017). Reducing STAT Portable Chest Radiograph Turnaround Times: A Pilot Study, *Current problems in diagnostic radiology*, p.156 - 160. Consulté le 29 juin 2019.
- [17]. GE Reports, (2018, décembre). *New AI algorithm helps clinicians spot critical conditions at point of care*. Consulté le 30 juin 2019, sur <https://www.ge.com/reports/doctor-data-new-ai-algorithm-helps-clinicians-spot-critical-conditions-point-care/>
- [18]. QIN C., DEMIN Y., YONGHONG S. & ZHIJIAN S., (2018, août 22). *Computer-aided detection in chest radiography based on artificial intelligence: a survey*.
Consulté le 6 juillet 2019, sur <https://doi.org/10.1186/s12938-018-0544-y>
- [19]. HWANG JIN E. & SUNGGYUN P., (2019, mars 1). *Development and validation of a deep learning-based automated detection algorithm for major thoracic diseases on chest radiographs*, JAMA Network Open , n°3.
Consulté le 7 juillet 2019, sur <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2019.1095>
- [20]. KOUMAKO C., (2018, juin). *Comment un interne en radiologie se prépare à l'arrivée de l'intelligence artificielle*, L'intelligence artificielle : rêve ou cauchemar du radiologue ?, p 96 – 100.
Consulté le 6 juillet 2019, sur https://www.fnmr.org/publication/autres/pdf/201810_fnmr_livre_ia.pdf
- [21]. Centre National de Gestion, (2015, janvier 1). *Éléments statistiques sur les praticiens hospitaliers statuares*, p. 3. Consulté le 6 juillet 2019, sur https://www.cng.sante.fr/sites/default/files/Fichiers/Statistiques,%20%C3%A9tudes%20et%20publications/Synth%C3%A8se%20PH%20en%20Radiologie_01_01_2015.pdf
- [22]. NORDLINGER B. & VILLANI C., (2018). L'intelligence artificielle et la santé de demain, *Santé et intelligence artificielle*, Paris CNRS ÉDITIONS, p. 17 - 29. Consulté le 11 mai 2019.
- [23]. VILLANI C., (2018, mars 8). *Donner un sens à l'intelligence artificielle*, p. 194 – 203. Consulté le 13 juillet 2019, sur https://www.aiforhumanity.fr/pdfs/9782111457089_Rapport_Villani_accessible.pdf
- [24]. LE CORRE N., (2019, janvier 28). *Les acteurs de l'imagerie médicale s'emparent de l'intelligence artificielle*, Hospitalia. Consulté le 6 juillet 2019, sur https://www.hospitalia.fr/Les-acteurs-de-l-imagerie-medicale-s-emparent-de-l-intelligence-artificielle-3-questions-a-Nicolas-Le-Corre-charge-d_a1705.html



- [25]. ROYAN P., (2018, avril 11). *Philips France investit dans l'intelligence artificielle*, THEMA RADIOLOGIE. Consulté le 13 juillet 2019, sur <http://www.thema-radiologie.fr/actualites/2034/philips-france-investit-dans-l-intelligence-artificielle.html>
- [26]. FDA, (2018, avril 11). *FDA permits marketing of artificial intelligence-based device to detect certain diabetes-related eye problems*. Consulté le 14 juillet 2019, sur <https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/fda-permits-marketing-artificial-intelligence-based-device-detect-certain-diabetes-related-eye>
- [27]. LEGIFRANCE, (2016, octobre 7). *LOI n° 2016-1321 pour une République numérique*. Consulté le 14 juillet 2019, sur https://www.legifrance.gouv.fr/affichLoiPubliee.do;jsessionid=DB3879E434B833E044A504CE38C7DC94.tpdila12v_3?idDocument=JORFDOLE000031589829&type=expose&typeLoi=&legislature=14
- [28]. CNIL, (2018, mai 23). *Le règlement européen sur la protection des données*. Consulté le 15 juillet 2019, sur <https://www.cnil.fr/fr/reglement-europeen-protection-donnees>
- [29]. CNIL, (2017, décembre 15). *Rapport sur les enjeux éthiques des algorithmes et de l'intelligence artificielle*. Consulté le 15 juillet 2019, sur <https://www.cnil.fr/fr/comment-permettre-lhomme-de-garder-la-main-rapport-sur-les-enjeux-ethiques-des-algorithmes-et-de>
- [30]. FENNETEAU H., (2015). *Enquête : entretien et questionnaire*. 3e édition, Dunod, p.9. Consulté le 15 juillet 2019.
- [31]. SAUVARYE R., (2013). *Les méthodes de l'entretien en sciences sociales*, Dunod, p.11. Consulté en juillet 2019.
- [32]. THIÉTART R.A., (2003). *Méthodes de recherche en management*, 2e édition, Dunod, p.216. Consulté le 20 juillet 2019.
- [33]. PIRES A.P., (1997). *Echantillonnage et recherche qualitative : essai théorique et méthodologique*, Gaëtan Morin éditeur, p 113-169. Consulté le 20 juillet 2019.
- [34]. MATTHEW B. & MICHAEL HUBERMAN A., (1994). *Qualitative Data Analysis*. Consulté le 20 juillet 2019.
- [35]. JOURNÉES FRANCOPHONES DE RADIOLOGIE, (2019, mai 5). *Forum Intelligence Artificielle*. Consulté le 2 août 2019, sur <https://jfr.radiologie.fr/les-jfr/villages-et-forum/forum-intelligence-artificielle>



ENTRETIEN EN VISIOCONFÉRENCE

Phase d'introduction :

Bonjour, je tiens à vous remercier d'avoir répondu positivement à ma demande d'entretien et de me consacrer du temps pour la réalisation de mon étude de terrain. Comme vous le savez, dans le cadre de ma deuxième année de Master, j'effectue un mémoire de fin d'études sur l'intelligence artificielle en radiologie conventionnelle. L'entretien d'aujourd'hui a pour finalité de m'aider à mieux cerner vos ressentis et vos points de vue face à l'arrivée des aides au diagnostic. Pour ainsi mesurer l'écart entre les arguments exposés par les entreprises et la réalité dans les services de radiologie. Vos témoignages vont permettre de répondre à ma problématique principale de recherche qui est : « Comment l'intelligence artificielle va-t-elle améliorer l'activité radiologique dans le diagnostic de maladie pulmonaire ? ».

En quelques mots, l'entretien s'articule autour de trois thèmes qui sont : la présentation de votre service et activité ; vos attentes de l'aide au diagnostic et pour finir vos craintes concernant ces nouvelles technologies.

En principe l'entretien ne devrait pas excéder plus de 25 minutes. Je tiens à préciser que vos réponses me serviront à alimenter uniquement le contenu de mon mémoire, donc vous pouvez exprimer librement vos idées.

Avant de débuter, j'aimerais avoir votre consentement concernant la retranscription de cet entretien dans mon étude de cas ?

Phrase de début d'entretien :

Premièrement, pouvez-vous vous présenter et parler de vos expériences en tant que manipulateur en radiologie s.v.p. ?



Thème 1 : Présentation de l'enquête et de son service

- Qu'est-ce qui vous plaît le plus dans votre métier ?
- Qu'est-ce qui vous plaît le moins dans votre métier ?
- Pouvez-vous me décrire l'activité de radiographie au lit au sein de votre établissement ?
- Quel est le nombre de radiographie moyen réalisé par jour aux urgences ?

Merci d'avoir répondu à cette première partie. Nous allons à présent passer à la deuxième thématique qui correspond à vos attentes et points de vue face à l'intelligence artificielle, et plus particulièrement à l'aide au diagnostic de pathologies pulmonaires, tels que des pneumothorax avec des systèmes de radiographie mobile.

Selon vous, quels peuvent être les avantages de l'aide au diagnostic sur des systèmes de radiographie mobile ?

Thème 2 : Les avantages de l'aide au diagnostic pour l'enquête

- Quelle est votre perception face à l'idée de complémentarité entre les radiologues et l'intelligence artificielle ?
- Quelle place pensez-vous que l'aide au diagnostic va prendre dans les prochaines années ?
- Quel est le délai moyen entre la demande et l'interprétation d'examen en urgence dans votre établissement ?
- Comment faites-vous lorsque cette demande d'examen est exprimée dans la nuit ?
- Pensez-vous que l'intelligence artificielle permettra de diagnostiquer les patients plus rapidement ? Pourquoi ?
- Pensez-vous que l'intelligence artificielle peut combler le manque de radiologue dans certaines régions en manque d'effectif ou pays émergents ? Pourquoi ?

Je tiens une nouvelle fois à vous remercier pour vos réponses, je vous propose d'entamer la dernière partie de ce mémoire qui est la description de vos craintes face au développement de ces solutions.



Thème 3 : Les limites et craintes des enquêtés

- Quelles sont pour vous les limites et freins de ces nouvelles technologies ?
- Quelles peuvent être pour vous les potentielles craintes des patients face à l'utilisation de ces systèmes d'aide au diagnostic ?

Un grand merci pour ces réponses très enrichissantes, avez-vous quelques choses à ajouter ?



Antoine : [REDACTED] Jean-Baptiste : [REDACTED].

[Phase d'introduction]

Premièrement, pouvez-vous vous présenter et parler de vos expériences en tant que manipulateur en radiologie svp ?

Alors pour commencer, j'ai fait l'école de manipulateur radio à Nantes, j'ai fait mon premier stage de manip dans cette ville, puis je suis rentré dans les CLCC (Centre de Lutte Contre le Cancer) de l'IGR (Institut Gustave Roussy) et de Nantes. Ça fait maintenant 6 ans que je suis à Institut De Cancérologie De L'Ouest à Nantes. J'ai commencé par la radio, puis ensuite le service de mammographie, scanner et IRM, donc je tournais sur tout le plateau technique. Après quelques années, j'ai eu l'occasion et la chance de pouvoir être référent en mammographie. L'avantage c'est que j'ai pu participer au programme de développement de mammographe avec l'arrivée de la nouvelle biopsie et tomosynthèse. Mais j'ai également eu la chance de participer à des études, la dernière était l'étude MyPeps pour la révolution du dépistage organisée. Donc en fait, c'est un poste qui me permet d'être manipulateur radio, tout en travaillant en parallèle sur plusieurs études, qui est une partie réellement intéressante dans ce métier. Je ne sais pas si c'est bien résumé, mais voilà les avantages d'un référent dans un grand centre de lutte contre le cancer. Après je ne suis pas arrivé à ce poste du jour au lendemain, ça passe avant tout par la confiance, il faut absolument que les gens aient confiance en toi, pour que ça avance vite et bien.

Merci Jean- Baptiste pour cette présentation. Pouvez-vous me décrire l'activité de radiographie de lit au sein de votre établissement ?

Pour les centres anti-cancer, il n'y a pas de réelles urgences. Les seules urgences sont des urgences de cancérologie. Dans ce service, on retrouve principalement des radiographies de thorax ou de l'abdomen, car ce sont les deux principaux. Car si vous vous cassez une jambe, ça n'a rien à voir avec le cancer donc vous n'allez pas là-bas. En moyenne nous faisons 95% de thorax et 5% d'ASP (Abdomen sans préparation), comme dans la majorité des sites. Donc finalement pour moi, je vais uniquement dans les services de pneumologie et gastrologie. En terme d'activité, cela représente peut-être 30 radios de



lits par jour en moyenne. En activité de nuit, cela représente de 6 radios par nuit en moyenne.

Merci pour ces informations, n'ayant pas de réel service d'urgence dans votre établissement, la prochaine question ne devrait pas être pertinente. Quel est le nombre de radiographie moyen réalisé par jour aux urgences ?

Dans l'établissement, il y a un petit service d'urgence, mais ce n'est pas un service d'urgence comme les gens le pensent. Dans ce service, cela représente en moyenne 5 radios par jour. Mais quand on prend l'Institut de Cancérologie de L'Ouest, il y a quatre services de pneumologie, deux services de cardiologie, finalement on va autant dans ces services que dans le service d'urgence. Je pense que c'est un peu différent des hôpitaux standards car les patients dans ces services sont déjà dans des cadres d'urgences.

Merci d'avoir répondu à cette première partie. Maintenant, je vous propose de passer à la deuxième thématique qui correspond à vos attentes et points de vue face à l'intelligence artificielle, et plus particulièrement à l'aide au diagnostic de pathologie pulmonaire, tels que des pneumothorax avec des systèmes de radiographie mobile. Selon vous, quels peuvent être les avantages de l'aide au diagnostic sur des systèmes de radiographie mobile ?

Alors avant de répondre, j'ai oublié de préciser quelque chose, à l'Institut de Cancérologie de L'Ouest les radios sont interprétées une fois toutes les 24 heures, généralement c'est à 14 heures. Le radiologue présent doit interpréter tous les derniers examens. Donc pour le moment les radiologues n'ont aucun moyen d'identifier si la radio est à interpréter rapidement ou non. Finalement, qui interprète les radios ? La journée, pas grand monde, ou souvent c'est les médecins des services, et sinon la nuit c'est directement interprété par les médecins, le réanimateur ou l'urgentiste qui en fait la demande.

De ce fait, les médecins peuvent interpréter les examens instantanément ?

Oui, donc je ne pense pas que l'aide à la détection sera toujours nécessaire dans un contexte d'urgence standard, car si un médecin a besoin d'une radiographie en urgence, il en fait la demande rapidement, et il peut alors l'interpréter instantanément. Toutefois dans un cadre d'urgence, cet outil peut servir aux médecins débutants ou internes pour renforcer



leur diagnostic. Parce que aujourd'hui vous arrivez à avoir une détection automatique de pneumothorax, mais demain ça peut être d'autres pathologies ou un comparatif avec les dernières radios. Donc ces outils seront indispensables pour les jeunes radiologues. Et sinon, dans un contexte de jour standard, là il y a un énorme intérêt, car dans notre établissement les examens sont interprétés qu'une fois par jour. Dans le cas où le radiologue se retrouve avec quarante radiographies à interpréter, l'intelligence artificielle va lui permettre de sélectionner les examens à prendre en priorité. De ce fait le délai d'interprétation sera forcément réduit. De plus, en faisant le comparatif avec la mammographie, je suis sûr que les algorithmes arrivent à détecter des pathologies aussi bien qu'un médecin. Je suis convaincu qu'en matière de performance clinique, les algorithmes seront supérieurs aux radiologues.

Merci d'avoir partagé ton avis sur ce sujet. Quelle est votre perception face à l'idée de complémentarité entre les radiologues et l'intelligence artificielle ?

C'est une bonne question ! Alors d'un point de vue complètement extérieur, ces algorithmes vont aider les radiologues dans leur quotidien. Cependant, nous n'allons pas pouvoir supprimer des postes en mettant en place de l'intelligence artificielle. Je suis persuadé qu'il faudra toujours de l'humain pour pouvoir discuter avec les patients, vérifier l'interprétation des images et donner une décision finale. Par contre, c'est vrai que d'un point de vue clinique, c'est souvent ce qu'il remonte, en disant « oui, ça peut supprimer des postes », mais je ne crois pas. Aujourd'hui on est en 2019, on est en train de vivre avec une technologie qui évolue sans cesse, il faut apprendre à vivre avec. Je pars du principe, que tout ce qui est à notre disposition ne peut que nous aider. Surtout à cette période où les radiologues ont une responsabilité grandissante, et forcément ces solutions ont un réel intérêt pour éviter de faire des erreurs dans leur diagnostic.

Très bien, merci pour cette réponse très complète. Pensez-vous que l'intelligence artificielle permettra de diagnostiquer les patients plus rapidement ? Pourquoi ?

Je pense, oui. À moins d'avoir un radiologue avec nous, dans tous les cas c'est un algorithme derrière, en quelques secondes le système peut nous dire s'il y a quelque chose ou non. Après l'œil humain restera indispensable car on peut avoir des erreurs d'images ou des zones qui paraissent suspectent alors qu'elles ne le sont pas. Il me semble que ces



systemes sont fiables à 95%, mais il y a quand même 5% d'erreur et finalement il va placer les cas critiques en priorité alors qu'il n'y a rien et inversement.

Pensez-vous que l'intelligence artificielle peut combler le manque de radiologue dans certaines régions en manque d'effectif ou pays émergents ? Pourquoi ?

Je ne pense pas, c'est un bon argument commercial de la part des entreprises médicales, mais en réalité il faudra dans tous les cas du personnel pour pouvoir interpréter les clichés et donner le diagnostic final.

Je tiens une nouvelle fois à vous remercier pour vos réponses, je vous propose d'entamer la dernière partie de cet entretien qui est la description de vos craintes face au développement de ces solutions. Quels sont pour vous les limites et freins de ces nouvelles technologies ?

En terme de crainte, je dirais que dans le milieu médical, nous sommes toujours dans la course à l'argent. Aujourd'hui, il y a beaucoup d'entreprises qui vont proposer de l'aide à la décision, mais à quel prix ? Finalement, je refais le comparatif avec le CAD en mammographie, c'est un logiciel qui coûte extrêmement cher, puisqu'on est de l'ordre de quarante mille euros. Tout le monde ne peut pas s'équiper de ce type de logiciel. De ce fait, on est en train de faire une différence entre les grands centres hospitaliers et les petits hôpitaux. Ainsi il y aura une disparité dans la prise en charge des patients, car il n'y aura pas forcément les mêmes atouts et technologies.

Donc si je comprends bien, le prix représente une crainte au développement de ces systèmes ?

Oui. C'est-à-dire que, soit on arrive à faire comme les smartphones, une technologie pour tous, et tout le monde peut s'en payer, soit on a du mal à développer, on dépose des brevets, ça coûte extrêmement chers et dans ce cas-là, ces systèmes restent des logiciels uniquement pour l'élite ou alors pour les établissements qui payent.

Très bien, merci. Est-ce que pour vous il existe d'autres limites ?

Oui, je pense qu'il peut avoir des limites au niveau des systèmes d'interprétation. Parce que c'est un logiciel qui doit s'installer soit sur le système de radiographie mobile ou soit



sur une station de revue. Je pense que cela nécessite énormément de développement pour standardiser les aides au diagnostic sur les systèmes d'archivage actuels.

Quelles peuvent être pour vous les potentielles craintes des patients face à l'utilisation de ces systèmes d'aide au diagnostic ?

Non, je ne pense pas que les patients auront de craintes face à l'utilisation de ces systèmes. Quand on reprend les scanners ou les PET SCAN, ce sont des examens qui leur semblent tellement technologiques. On arrive à faire des images en coupe avec une excellente précision diagnostic. Je pense que rajouter de la technologie n'est pas trop contraignant, à condition de conserver cette confiance dans la technique et dans l'interprétation des radiologues. Le temps qu'il y aura des humains derrière, il n'y aura pas de problème. Il serait intéressant d'avoir un feed-back en fonction des générations, je ne sais pas si un patient d'une soixantaine d'années aurait la même réaction qu'un patient d'une trentaine d'années, car quand on est jeune, on baigne dans la technologie, ça semble logique, mais à soixante ans ça me semble différent.

En effet, cela pourrait être une bonne problématique pour un autre mémoire. Un grand merci pour ces réponses très enrichissantes, avez-vous quelques choses à ajouter ?

Non, je n'ai rien d'autre à ajouter.





L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE EN RADIOLOGIE CONVENTIONNELLE

Depuis la découverte des rayons X, les innovations technologiques n'ont cessé d'améliorer le domaine de la radiologie conventionnelle : capteur plan, fluoroscopie, PACS etc. Aujourd'hui, nous rentrons dans une nouvelle ère avec l'arrivée de l'intelligence artificielle. L'aide au diagnostic médicale est le secteur de la santé où les recherches et les enjeux en intelligence artificielle sont les plus conséquents. Ces outils permettent d'accompagner les radiologues dans l'élaboration de diagnostic clinique plus précis et rapide, tout en favorisant l'amélioration de la prise en charge des patients. Ces nouvelles technologies sont porteuses de progrès au service des patients et offre de belles perspectives d'évolution du marché de la radiologie. Face à cette croissance, les entreprises médicales devront fixer de nouveaux plans d'actions dans le but de favoriser l'innovation et de maintenir leurs attractivités dans un marché de plus en plus compétitif. Elles devront également établir des stratégies marketing et commerciales adaptées aux besoins et à l'activité des services de radiologies actuels. C'est pourquoi ce mémoire abordera le rôle et l'intérêt de l'intelligence artificielle dans la détection automatisée de pathologie pulmonaire, tel que des pneumothorax, afin de proposer des recommandations aux entreprises qui souhaiteraient commercialiser des systèmes d'aide au diagnostic.

Mots-clés : radiologie conventionnelle, intelligence artificielle, aide au diagnostic, radiologues, évolution du marché, entreprises médicales, plans d'actions, pathologies pulmonaire, pneumothorax.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CONVENTIONAL RADIOLOGY

Since the discovery of X-rays, technological innovations have continued to improve the field of conventional radiology: digital detector, fluoroscopy, PACS etc. Today, we are entering a new era with the arrival of artificial intelligence. Computed aided diagnosis is the health sector where research and challenges in artificial intelligence are the most significant. These tools help radiologists to develop more accurate and rapid clinical diagnoses, while improving patient care. These new technologies are bringing progress for patients and offer good prospects for the evolution of the radiology market. Faced with this growth, medical companies will have to establish new action plans to foster innovation and maintain their attractiveness in an increasingly competitive market. They will also have to establish marketing and commercial strategies adapted to the needs and the activity of the current radiology services. That is why this thesis will present the role and interest of artificial intelligence in the automated detection of pulmonary pathology, such as pneumothorax, in order to propose recommendations to companies wishing to commercialize computed aided diagnosis systems.

Key words: conventional radiology, artificial intelligence, computed aided diagnosis, radiologists, evolution of the market, medical companies, action plans, pulmonary pathology, pneumothorax.