

MASTER INGENIERIE DE LA SANTE
PARCOURS « HEALTHCARE BUSINESS »

Mémoire de fin d'étude de Master 2

**LE ROLE DES INGENIEURS D'APPLICATIONS FACE AUX
EVOLUTIONS DES SYSTEMES D'ECHOGRAPHIE**

Présenté par :
Rémy BERLAK

Sous la direction de : « Monsieur Régis LOGIER »

Composition des membres du Jury :

Président du Jury : Madame Hélène GORGE
Directeur de mémoire : Monsieur Régis LOGIER
Membre Professionnel : Monsieur Pascal BIEN

Date de soutenance : le 08 Octobre 2019 à 10h30

Faculté Ingénierie et Management de la Santé - ILIS
42 rue Ambroise Paré
59120 LOOS

**LE ROLE DES INGENIEURS D'APPLICATIONS FACE AUX
EVOLUTIONS DES SYSTEMES D'ECHOGRAPHIE.**

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à remercier l'entité General Electric Healthcare et en particulier Monsieur Stéphane Carpentier, qui a successivement été mon tuteur de stage puis le tuteur de mon contrat de professionnalisation. Notre collaboration a été une grande réussite et une source d'inspiration pour la réalisation de ce mémoire.

Je remercie également mes encadrants, Madame Hélène Gorge, ma présidente de jury et Monsieur Régis Logier, mon Directeur de mémoire, qui a su me faire profiter de son expérience et de ses critiques toujours pertinentes concernant la rédaction et la mise en forme de ce mémoire.

J'adresse aussi mes remerciements à Monsieur Pascal Bien, le troisième membre de mon jury, pour avoir accepté mon invitation d'être le membre professionnel qui assistera à ma soutenance.

Enfin, merci à l'ensemble des personnes ayant contribué à ce travail. Je pense notamment aux personnes interviewées ou encore aux relecteurs.

SOMMAIRE

| | |
|--|-----------|
| REMERCIEMENTS | 3 |
| SOMMAIRE | 4 |
| TABLE DES FIGURES | 5 |
| GLOSSAIRE | 6 |
| INTRODUCTION | 7 |
| PARTIE 1 - REVUE DE LA LITTERATURE | 8 |
| <i>I. L'échographie et ses applications</i> | 8 |
| <i>II. Les dernières grandes évolutions</i> | 18 |
| <i>III. Le futur</i> | 26 |
| PARTIE 2 - METHODOLOGIE | 32 |
| <i>I. Choix de l'étude qualitative</i> | 33 |
| <i>II. L'entretien</i> | 34 |
| <i>III. Analyse des données</i> | 35 |
| PARTIE 3 – RESULTATS | 36 |
| <i>I. Des innovations remarquées</i> | 37 |
| <i>II. Un marché en mutation</i> | 38 |
| <i>III. Des réactions à prendre en compte</i> | 39 |
| <i>IV. La place de l'ingénieur d'applications</i> | 40 |
| PARTIE 4 - RECOMMANDATIONS | 42 |
| <i>I. Accompagner les échographistes</i> | 43 |
| <i>II. Etre à l'écoute des besoins réels</i> | 43 |
| <i>III. Formation clinique des Ingénieurs d'applications</i> | 44 |
| CONCLUSION | 45 |
| BIBLIOGRAPHIE | 46 |
| TABLE DES MATIERES | 49 |
| ANNEXES | 51 |

TABLE DES FIGURES

| | |
|---|----|
| Figure 1 Chronologie représentant les progrès des systèmes d'échographie de 1963 à nos jours | 8 |
| Figure 2 Exemple d'une image échographique avec une différence d'impédance importante | 10 |
| Figure 3 Illustration des éléments composant un échographe | 11 |
| Figure 4 Illustration des différents types de sonde | 11 |
| Figure 5 Illustration du mode échographique 2D | 12 |
| Figure 6 Illustration du Mode échographique TM | 13 |
| Figure 7 Illustration de la caractérisation de flux sanguins par le doppler couleur | 13 |
| Figure 8 Illustration doppler Pulsé valve mitrale..... | 14 |
| Figure 9 Graphique du marché global échographie (6)..... | 16 |
| Figure 10 Graphique correspondant aux parts de marché des principales sociétés en échographie (6) | 17 |
| Figure 11 Illustration Vscan Extend..... | 19 |
| Figure 12 Illustration du système Lumify | 20 |
| Figure 13 Illustration du système Butterfly IQ..... | 20 |
| Figure 14 Illustration sonde linéaire à boutons..... | 22 |
| Figure 15 Illustration nouvelle génération échographe avec outils IA..... | 24 |
| Figure 16 Schéma comparatif du machine learning et du deep learning (18) | 27 |
| Figure 17 Schéma représentant un réseau de neurones artificiels | 28 |
| Figure 18 Illustration projet NHANCE utilisant l'IA en échographie | 30 |

GLOSSAIRE

CHU : Centre Hospitalier Universitaire

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique

DC : Débit Cardiaque

ECG : Électrocardiogramme

ESPCI : École Supérieur de Physique et de Chimie Industrielle

GE : General Electric

IA : Intelligence Artificielle

ITV : Intégrale Temps-Vitesse

POCUS : Point of Care Ultrasonography

R&D : Recherche & Développement

TM : Temps Mouvement

VES : Volume d'Éjection Systolique

VG : Ventricule Gauche

VCI : Veine Cave Inférieure

INTRODUCTION

Les avancées technologiques nous concernent tous, quel que soit le secteur d'activité. De nombreux marchés sont effectivement en train d'évoluer. Nous pouvons citer l'industrie automobile et ses voitures autonomes qui, dans un avenir proche, seront présentes sur nos routes, l'informatique et ses supercalculateurs équivalents à plus de 15 000 ordinateurs, etc.

Le monde de la Santé n'est pas en reste puisqu'il profite également d'innovations remarquables. Aussi bien que nous assisterons dans les années futures à l'apparition par exemple de la bio-impression, déjà capable de fabriquer de la peau en assemblant couche par couche des cellules humaines vivantes ou encore de nanoparticules afin de mieux cibler les radiothérapies. Ces avancées technologiques touchent également l'équipement médical et en particulier l'imagerie.

En effet, l'imagerie médicale est aujourd'hui au cœur de forts enjeux commerciaux car les entreprises historiques tels que General Electric Healthcare, Philips Healthcare, Siemens Healthineers ou encore Toshiba Medical (récemment racheté par Canon Medical) luttent pour proposer des outils d'aide au diagnostic toujours plus performants à leurs clients. L'intelligence Artificielle est ainsi régulièrement citée en radiologie pour les scanner ou IRM. Concernant les systèmes d'échographie, dans quelles mesures les entreprises devront adapter leur stratégie de terrain face leurs évolutions ?

Ce mémoire a pour objectifs d'identifier le secteur de l'ultrasons, de comprendre les innovations dont le système d'échographie fera l'objet puis d'analyser dans quelles mesures les entreprises pourraient adapter leur stratégie de terrain en fonction des avancées technologiques.

PARTIE 1 - REVUE DE LA LITTERATURE

I. L'ECHOGRAPHIE ET SES APPLICATIONS

A. COMMENT DEFINIR L'ECHOGRAPHIE ?

1. HISTORIQUE

L'échographie est aujourd'hui très répandue. Historiquement, ce matériel n'était pas dédié au monde médical. Bien au contraire, « les phénomènes de piézo-électricité, générateurs d'ultrasons, ont été découverts en 1880 par Pierre Curie et son frère Jacques. En 1916, leurs élèves Constantin Chilowski et Paul Langevin inventent un dispositif à la fois émetteur et récepteur destiné à détecter les sous-marins. Cette conception voit le jour pendant la Seconde Guerre mondiale sous le nom de sonar. En 1957, au Royaume-Uni, de la collaboration de l'ingénieur Tom Brown et du gynécologue Ian Donald naît un appareil à balayage manuel pour l'examen du corps par réflexion des ultrasons (échographie) » (1).

Bien que très sommaire à la fin des années cinquante, l'échographie a connu des avancées majeures dans les décennies suivantes. En effet, « à partir de 1972, la précision des appareils permet un diagnostic de plus en plus précis. Il faut cependant attendre les années 1980 pour que l'échographie suscite une véritable révolution dans la pratique obstétricale en France. Deux dimensions, trois, quatre, noir et blanc, couleur... La technique progresse, permet des prouesses, suscite la fascination, et une demande croissante. » (2).

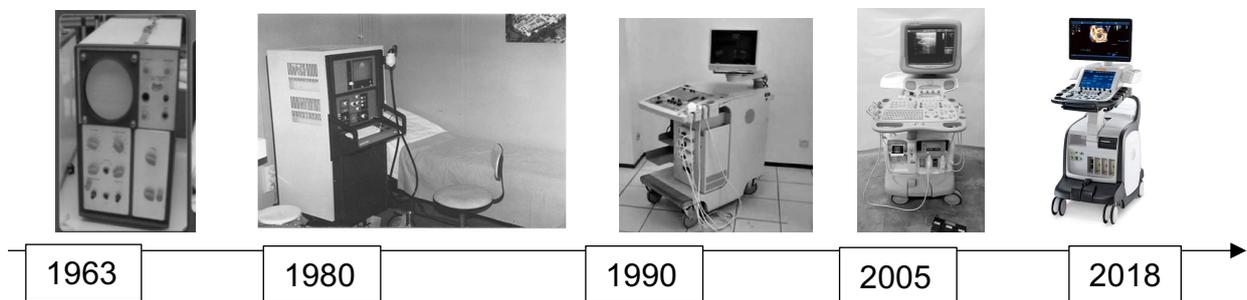


Figure 1 Chronologie représentant les progrès des systèmes d'échographie de 1963 à nos jours

L'échographie existe donc depuis plus de 60 ans désormais, 60 ans d'évolution et d'amélioration permanente. Ce type d'examen est défini comme étant une méthode d'exploration médicale, au moyen d'ultrasons, de divers organes du corps.

L'échographie se distingue par sa capacité à offrir une visualisation des organes du corps de manière dynamique et donc de mener des examens d'exploration fonctionnelle.

2. TECHNIQUE

Ultrasons

Le système d'échographie utilise la technologie des ultrasons. Les ultrasons sont créés grâce à des éléments piézo-électriques (le plus-souvent, en céramique). Sous l'effet d'impulsions électriques, les matériaux du transducteur piézo-électrique vont se déformer et produire des vibrations. Ces vibrations se propagent dans les matériaux sans transport de matière. Les ultrasons sont donc des ondes.

L'Onde ultrasonore va être caractérisée par sa fréquence, son amplitude et sa longueur d'onde. En moyenne, la célérité des ondes dans les tissus vivants est de 1540 m/s. La longueur d'onde est le quotient de la célérité sur la fréquence.

La gamme de fréquence des ultrasons utilisée en échographie est comprise entre 1 et 50 MHz. La fréquence d'émission des ondes ultrasonores a un impact important sur la résolution spatiale. Ainsi, plus les fréquences ultrasonores sont élevées, meilleure sera la résolution spatiale. On perdra en revanche de l'accessibilité en profondeur. A contrario, moins la fréquence est élevée, moins la résolution sera de qualité. Il sera par contre possible de visualiser des organes en profondeur (3).

Construction de l'image

Comme le raconte la psychologue Céline Masson dans son livre « *L'image en médecine : us et abus* » à propos de l'échographie : « *L'image n'est pas la réalité, nous ne cesserons de le répéter et dès lors et comme toute image, elle comporte des biais, des artéfacts ou encore fait l'objet d'une interprétation abusive* » (4).

Il est important de bien assimiler le fait que l'image échographique est une image construite. En effet, le principe de l'échographie est de mesurer le temps séparant l'émission du train d'onde de son retour sur la sonde, après réflexion au niveau d'une surface acoustique (tissus).

Ainsi, un point sur l'écran du système d'échographie représente un écho de l'ultrason émis. Cet écho se forme quand il rencontre une interface entre deux éléments de structure différente. Son énergie est proportionnelle à cette différence d'impédance entre 2 types de tissus. L'énergie de l'onde réfléchie se traduit sur l'écran par l'intensité du blanc. Ainsi, plus la différence d'impédance est forte, plus l'intensité de blanc sera forte. Enfin, le point est positionné sur l'écran en fonction du temps entre l'émission et la réception de l'onde.

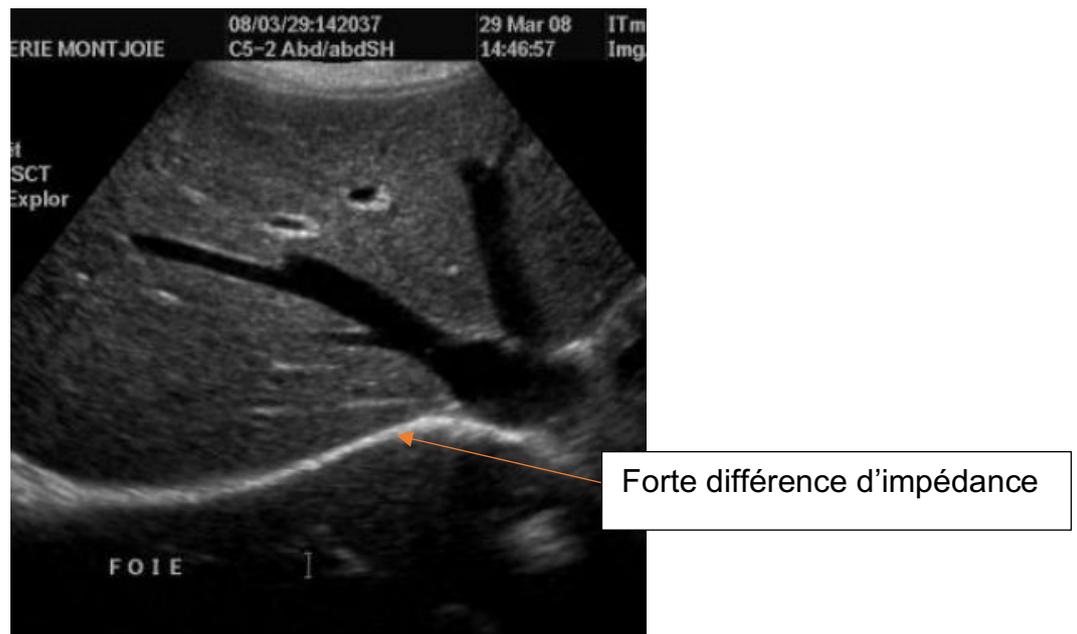


Figure 2 Exemple d'une image échographique avec une différence d'impédance importante

En échographie, l'aspect des images est commenté avec des termes spécifiques, à savoir :

- Hyperéchogène, cela signifie que les ultrasons émis par la sonde sont plus fortement réfléchis et que par conséquent, apparaîtra sur l'écran de l'échographe des points blanc d'une plus forte intensité
- Anéchogène, cela signifie que les ultrasons émis par la sonde ne sont pas réfléchis (les liquides typiquement) et cela se caractérise par une zone noire.

Composition

Le système d'échographie est composé d'un certain nombre d'éléments permettant son bon fonctionnement dont en voici les principaux :



Figure 3 Illustration des éléments composant un échographe

Un système d'échographie est quasi-systématiquement composé de modes échographiques et de modes doppler. On retrouve un écran permettant de visualiser l'image construite par les algorithmes de l'échographe et des paramètres d'acquisition. Il permet également de naviguer à travers plusieurs fonctions comme la saisie des données patients, l'accès aux réglages de configuration, etc.

Les sondes, quant à elles, peuvent être nombreuses. En effet, elles ont des formes et des gammes de fréquence différentes selon leur application.



Figure 4 Illustration des différents types de sonde

Il existe donc des sondes :

- Abdominales (ou convexe) offrant une gamme de fréquences faibles, généralement autour de 4MHz, pour pouvoir visualiser des organes souvent situés en profondeur comme le foie, les reins, la vessie, etc.

- Vasculaires (ou linéaires) offrant une gamme de fréquences plutôt élevées, pouvant atteindre les 18MHz, afin de visualiser des structures plus superficielles tels que les vaisseaux, les blocs nerveux, les muscles et les tendons, etc.
- Sectorielles (ou cardiaque) offrant une gamme de fréquences faibles comme la sonde abdominale pour pouvoir visualiser le cœur. Au contraire des sondes présentées ci-dessus, la sonde sectorielle détient la particularité d'émettre les ondes ultrasonores à partir d'un seul point. Ainsi, les ondes émises peuvent aisément passer au niveau des espaces intercostaux et atteindre le cœur.
- Endocavitaires qui comme son nom l'indique est une sonde destinée à être introduite dans le corps afin de se rapprocher au plus près des organes et de bénéficier d'une résolution spatiale permettant de visualiser davantage de détails.

Modes

Le système d'échographie moderne dispose de plusieurs modes d'échographie et de doppler. Le mode classique est le mode 2D, c'est aujourd'hui le plus répandu.

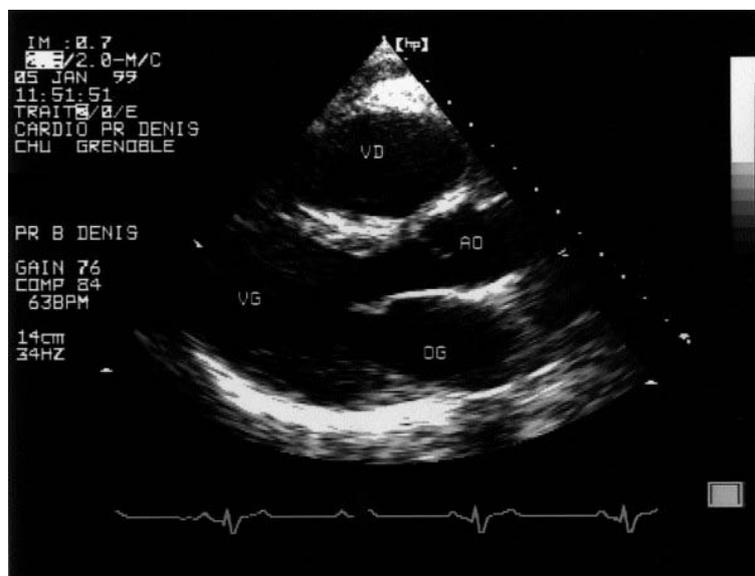


Figure 5 Illustration du mode échographique 2D

Le deuxième mode échographique régulièrement utilisé est le mode TM (Temps-Mouvement). Il permet de visualiser une structure située dans l'axe d'un faisceau ultrason en fonction du temps.

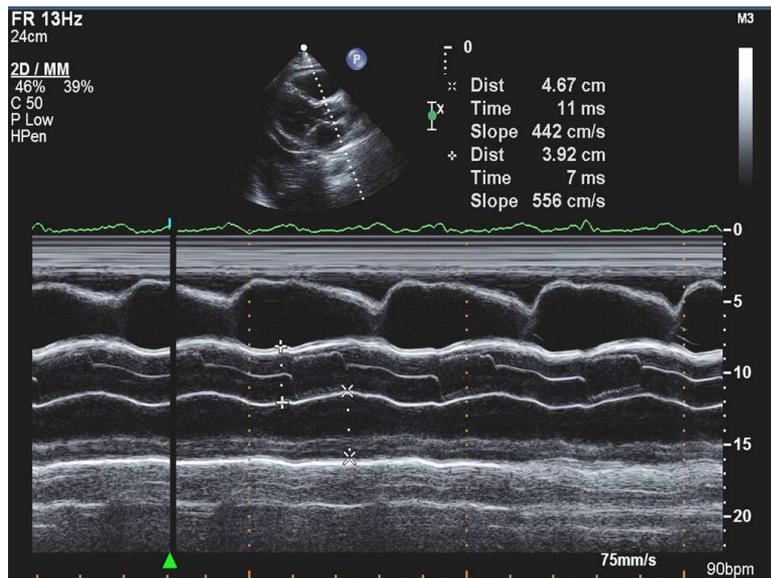


Figure 6 Illustration du Mode échographique TM

Ensuite, il existe plusieurs modes doppler :

- Le doppler couleur qui permet une visualisation rapide des flux sanguins. Il colore les flux en rouge ou bleu en fonction de leur sens d'écoulement.
- Le doppler pulsé qui traduit la vitesse d'un flux en fonction du temps en un graphique

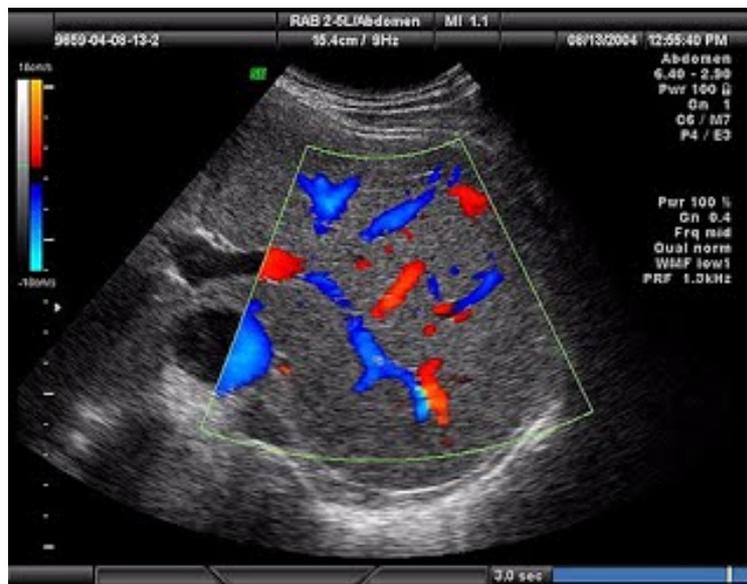


Figure 7 Illustration de la caractérisation de flux sanguins par le doppler couleur

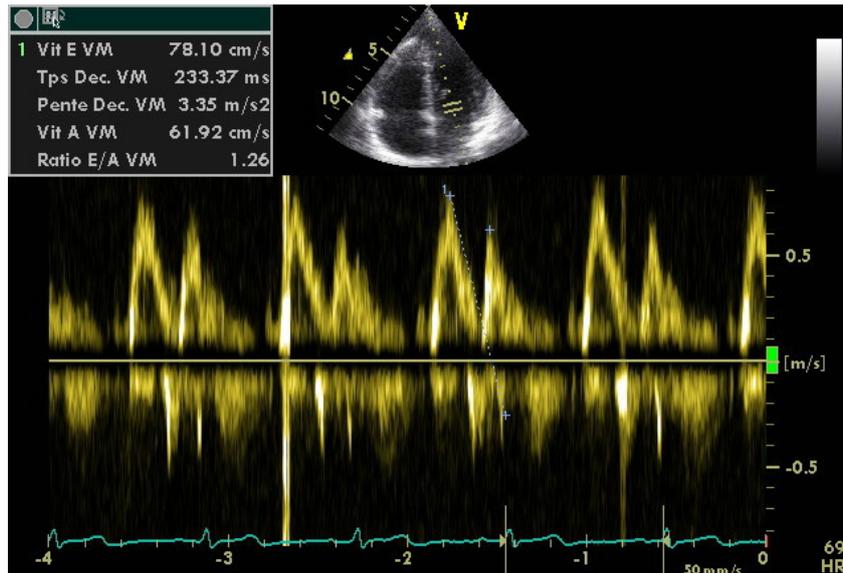


Figure 8 Illustration doppler Pulsé valve mitrale

Il existe également le Doppler continu et le Doppler Tissulaire qui sont utilisés de manière plus ponctuelle.

B. LES APPLICATIONS

Aujourd'hui, l'échographie est la première modalité d'imagerie clinique utilisée en France. Plusieurs dizaines de millions d'échographies sont réalisées chaque année. Elle ne cesse de faire des progrès spectaculaires dans le domaine du dépistage, du diagnostic et de la thérapie médicale.

De plus, les échographes se sont fortement diversifiés depuis leur création dans les années 50. Surtout connu pour son utilisation en obstétrique, le système échographique est aujourd'hui un outil plébiscité dans une grande majorité de spécialités médicales. Ainsi, de nos jours, il est possible d'identifier quatre grandes familles d'échographes avec, pour chacune, des besoins différents en matière de sonde, de performance ou encore de taille d'échographe.

1. GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE

Souvent dénommée « Women's Health », la division ultrasons proposant des échographes pour la spécialité médicale de gynécologie-obstétrique a pour objectif d'observer les organes pelviens chez la femme (comme l'utérus, les trompes de Fallope, les ovaires, etc.) ainsi que de suivre leur grossesse.

2. CARDIOLOGIE

L'échographie cardiaque ou échocardiographie a pour objet de visualiser toutes les parties du cœur (ventricules, oreillettes, valves, etc.). Cette application est couplée quasi-systématiquement à du doppler. L'échographie-doppler permet d'observer de nombreuses fonctions cardiaques comme les pressions de remplissage, les volumes d'éjection, la contractilité myocardique, etc.

3. RADIOLOGIE

Les échographes utilisés en radiologie doivent être en mesure d'être polyvalents. Les applications de l'échographie en radiologie sont très nombreuses. L'échographe utilisé doit être en mesure de fournir des images échographiques de bonne qualité quel que soit la profondeur d'exploration, le mode d'échographie ou de doppler utilisé.

Ainsi, les radiologues peuvent observer les organes au niveau abdominal comme le foie ou la rate. Ils peuvent également analyser les seins, la glande thyroïdienne, les articulations etc.

4. POINT OF CARE

Concernant la sémantique de cette famille de systèmes d'échographie, « *le concept de point-of-care ultrasonography (POCUS) fut bien défini en 2011. En anglais, il est également appelé bedside ultrasonography, focused ultrasonography ou clinical ultrasonography* » (5).

Dans cette famille de produits, on retrouve donc les échographes commercialisés pour les services des Urgences, d'Anesthésie, d'Urologie, de Pneumologie, de Rhumatologie, etc.

C. LE MARCHÉ

1. LE MARCHÉ GLOBAL

Le marché mondial global de l'échographie représentait 6,644 Milliard \$ en 2017. 71% du marché total concerne les systèmes d'échographie avec chariot et 29% concerne plutôt les systèmes compacts.

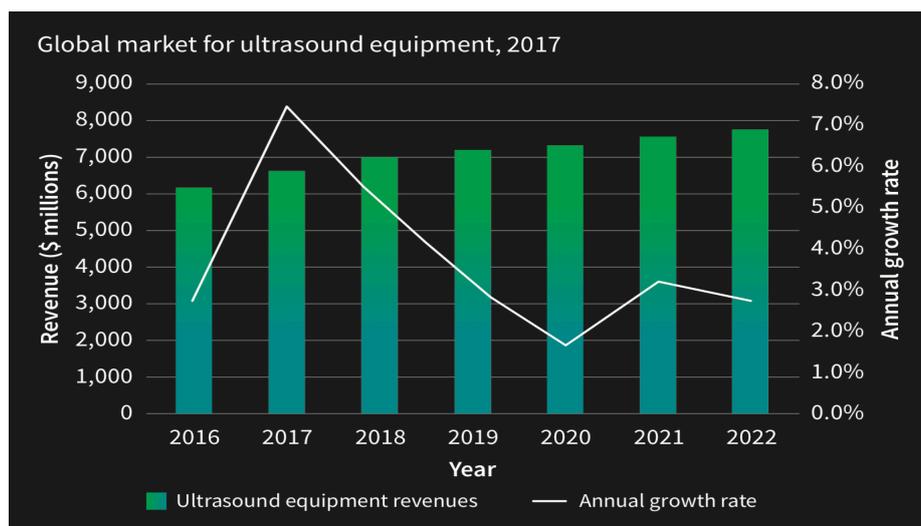


Figure 9 Graphique du marché global échographie (6)

Grâce au graphique ci-dessus, on peut remarquer la tendance en matière de croissance. Après une forte croissance d'environ 7% en 2017, le marché global tendrait à se stabiliser autour de 2,5% de croissance chaque année entre 2019 et 2022.

2. LES ACTEURS EVOLUANT SUR CE MARCHÉ

Les acteurs qui commercialisent les échographes sont assez nombreux. On retrouve les quatre géants qui évoluent dans l'imagerie médicale à savoir GE Healthcare, Philips Healthcare et Siemens Healthineers et dans une moindre mesure Toshiba Medical (récemment racheté par Canon).

GE Healthcare est le leader du marché avec 29% de parts de marché en 2017. Philips Healthcare et Toshiba Medical (Canon Medical) complètent les deux dernières places du podium avec respectivement 19% et 12% de parts de marché. Ces 3 compagnies internationales, à elles-seules, subtilisent 60% du marché global.

Ainsi, les 40% du marché global restant est occupé par des sociétés plus jeunes (Mindray, Samsung) ou des sociétés qui ont ciblé une spécialité ou un domaine médical particulier (Esaote est reconnue en rhumatologie notamment, Sonosite est reconnue en anesthésie, etc.).

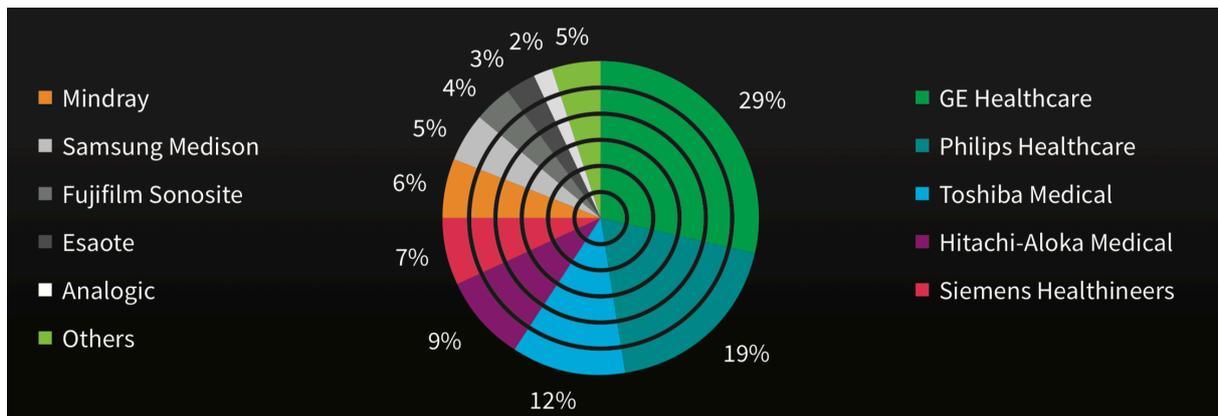


Figure 10 Graphique correspondant aux parts de marché des principales sociétés en échographie (6)

3. EN FRANCE

En France, l'échographie et le domaine l'ultrasons en général représentent le premier poste de dépenses en matière d'imagerie médicale. En effet, 6 Milliards d'euros de dépenses sont à la charge de l'assurance maladie chaque année. L'échographie représente à elle-seule 1,3 Milliards d'euros de dépenses soit près de 22%. De plus, la Cour des Comptes enregistre depuis 2007 une hausse constante des dépenses de 2,5% chaque année (7).

II. LES DERNIERES GRANDES EVOLUTIONS

A. L'ULTRAPORTABLE

Au cours des dernières années, au même rythme que la miniaturisation des systèmes informatiques, l'encombrement des échographes s'est considérablement diminué. La technologie - qu'on a pu voir apparaître dans nos bureaux ou dans nos habitations, dans nos ordinateurs ou dans nos télévision - s'est greffée aux systèmes d'échographie.

Ainsi, les échographes ont vu leur écran et l'ensemble de leur système informatique s'affiner, leur ergonomie repenser et leur performance augmenter. La presque totalité des échographes fabriqués et commercialisés aujourd'hui sont facilement mobilisables.

Plus encore, les échographes sont pour certains devenus portables voire ultraportables. Ces derniers sont des dispositifs qu'on peut tout simplement insérer dans sa poche. L'intérêt est de disposer sur soi d'un outil de diagnostic performant permettant de visualiser l'intérieur du cœur. Ces dispositifs sont plébiscités par plusieurs spécialités médicales :

- Les Urgences ; leur autonomie et leur format permettent à ces échographes d'être utilisés dans des services régulièrement encombrés, sur le terrain lors d'intervention, et même dans des conditions les plus extrêmes, comme en témoigne l'achat de 60 échographes ultraportables Sonoscanner par l'Armée Française (8).
- La Médecine Générale ; le coût maîtrisé des échographes ultraportables (entre 5 000€ HT et 25 000€ HT selon le fabricant et la configuration du dispositif) permet une démocratisation des échographes et une utilisation toujours plus fréquente.
- Etc.

La simplicité d'utilisation, en sus, de ces échographes les rend totalement accessibles pour un primo-accédant notamment. En effet, alors que les échographes qu'on qualifiera de « classiques » nécessitent un temps de formation conséquent de

la part des équipes d'ingénieurs d'applications pour l'utilisateur, les échographes ultraportables disposent, eux, d'une ergonomie pleinement inspirée des Smartphones.

Les technologies évoluent rapidement sur ce segment. La référence a longtemps été le Vscan Extend de la firme GE Healthcare. Il a été pendant plusieurs années le seul échographe ultraportable présentant des performances suffisantes. Sa dernière version dispose d'une sonde 2-en-1 permettant une grande polyvalence en termes d'applications.



Figure 11 Illustration Vscan Extend

Récemment, certains concurrents ont intégré le segment avec d'importantes innovations. Le groupe néerlandais Philips a sorti un concept de sondes ultraportables nommé Lumify. Il existe 3 types de sondes correspondant aux 3 types d'échographie différents : la sonde linéaire pour le superficiel, la sonde convexe pour une utilisation abdominale, et la sonde sectorielle pour un usage en cardiologie. Ces 3 sondes sont connectables à n'importe quel support Android ce qui en fait un système flexible. Cependant, ce système est plus onéreux. Le coût par sonde est de 7 000€ HT environ : il faut donc compter plus de 20 000€ HT pour un système complet disposant d'un smartphone ou d'une tablette.



Figure 12 Illustration du système Lumify

Le dernier échographe ultraportable qui fait parler de lui est le Butterfly IQ. Ce dispositif est le fruit du développement réalisé par d'anciens élèves du MIT – Massachusetts Institute of Technology. Ce système réduit encore un peu plus l'encombrement des échographes ultraportables. En effet, le concept est d'utiliser une seule et unique sonde pour l'ensemble des applications. Des algorithmes d'intelligence artificielle permettraient, en sus, de guider les opérateurs dans le traitement de l'image. Le coût d'un tel équipement serait de 2 500€ (9) ce qui engendrerait une plus grande démocratisation des systèmes ultrasons. La commercialisation était prévue pour l'été 2019.

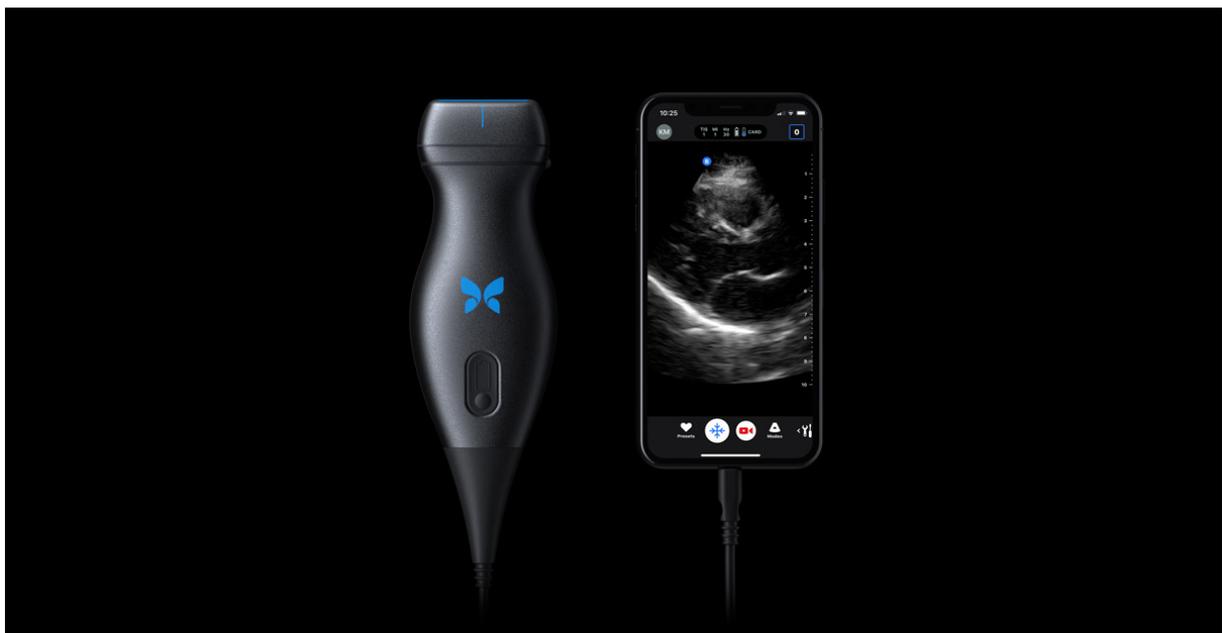


Figure 13 Illustration du système Butterfly IQ

B. PERFORMANCE DES SONDES

Les sondes échographiques sont des éléments primordiaux dans la qualité des images échographiques. Pour rappel, les images échographiques sont construites grâce aux ondes ultrasonores émises et réceptionnées par la sonde.

Au fil des dernières années, les sondes ont été étudiées pour les rendre toujours plus performantes. Au-delà des matériaux utilisés, de nouveaux types de sondes ont été conçus. Récemment, c'est donc des sondes dites « matricielles » qui ont vu le jour. Connues depuis la fin des années 2000 pour une utilisation en obstétrique, une nouvelle génération de sondes matricielles est effectivement apparue sur certains modèles de sondes linéaires.

La grande particularité des sondes matricielles est de disposer, non pas d'une seule rangée d'éléments piézo-électriques, mais de plusieurs rangées. Cela permet d'améliorer considérablement la résolution d'image en l'uniformisant. Cette innovation est particulièrement adaptée aux applications en Musculo-squelettiques et pour les parties molles comme les nerfs (et/ou petits organes).

De plus, l'ergonomie des sondes échographiques a également été améliorée. Les opérateurs d'échographe ont depuis quelques années vu apparaître des boutons sur leur sonde linéaire. Ces derniers sont configurables et servent de raccourcis pour certaines fonctions de l'échographe. Ces boutons sont particulièrement adaptés au segment Point of Care et donc à l'échographie au lit du patient. En effet, dans cette configuration de soins, les échographes sont régulièrement disposés loin du corps. L'accès aux fonctions et aux réglages d'imagerie est donc parfois limité. Les boutons d'une sonde donnent l'indépendance nécessaire aux opérateurs en échographie.



Figure 14 Illustration sonde linéaire à boutons

C. IMAGERIE ULTRASONORE ULTRARAPIDE

Les échographes ont acquis ces dernières années des performances extraordinaires concernant la rapidité d'acquisition et de traitement de l'information. Grâce à un nouveau principe de transmission des ondes ultrasonores (l'holographie acoustique par ondes planes), les images sont acquises à un rythme bien plus rapide qu'auparavant (de 50 à 10 000 images par seconde) : l'imagerie ultrasonore ultrarapide offre non seulement les informations habituelles de l'échographie, mais elle en apporte également d'autres, telle que la dureté des tissus.

Cette méthode s'appelle l'élastographie. Pour le moment, elle permet d'améliorer le diagnostic ou l'évaluation de maladie du foie ou de la thyroïde de façon non invasive. C'est une alternative à la biopsie, qui est un examen invasif.

D. PREMICES DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLES

Le sujet de l'Intelligence Artificielle sera très largement abordé ci-après. Cependant, depuis 2018, les nouvelles générations d'échographes disposant de programme d'IA commencent à émerger. Lors de l'ECR 2018 (European Congress of Radiology), GE Healthcare a notamment présenté le LOGIQ E10, son échographe le plus abouti destiné aux Radiologues. Ce dispositif utilise les mêmes technologies d'intelligence artificielle que les véhicules autonomes et les nouvelles générations de jeux vidéo 3D. Ces avancées permettent de reconstruire les données images issues de l'acquisition ultrasonore de la même manière que les systèmes d'imagerie en

coupe, avec une meilleure capacité à traiter ces données. Cette nouvelle technologie permet notamment de localiser de petites lésions hépatiques qui ne pouvaient être vues avec des technologies plus anciennes (10).

Même si c'est le domaine médical le plus régulièrement cité, l'intelligence artificielle n'est pas seulement destinée à l'aide au diagnostic en Radiologie. En effet, c'est encore une fois la firme GE Healthcare qui s'est distinguée en sortant en 2017 le VENUE. Ce dispositif ultrasons est destiné aux soins critiques et en particulier aux services des Urgences. Au-delà de son design pensé pour des forts besoins de mobilité, cet échographe entièrement tactile intègre des outils d'intelligence artificielle. Ces derniers permettent aux urgentistes de réaliser des diagnostics cardiaques et pulmonaires avec plus de simplicité voire plus de rapidité.

En effet, ces outils d'intelligence artificielle vont intervenir dans la réalisation des mesures cardiaques comme l'ITV sous-aortique et le diamètre de la Veine Cave Inférieure. L'ITV sous-aortique est une mesure échographique qui est réalisable en positionnant la fenêtre de Doppler pulsé dans le ventricule gauche, juste sous la valve aortique. Un spectre négatif est alors enregistré, permettant la mesure de l'intégrale temps – vitesse (ITV sous aortique, normale 14 à 20 cm). L'ITV sous aortique est un des déterminants majeurs du volume d'éjection systolique (VES). Le VES est le produit de l'ITV par la surface de la chambre de chasse du VG obtenue en mesurant le diamètre (D).

Le résultat du produit du VES et de la fréquence cardiaque est le Débit Cardiaque (DC). En pathologie, le suivi des variations d'ITV suffit. Le diamètre de la chambre de chasse et la fréquence cardiaque variant peu sur des périodes de temps courts, ces valeurs peuvent être négligées et la variation du débit cardiaque être suivie par les variations d'ITV, faciles à recueillir et reproductibles. (11)

Le VENUE va donner à l'opérateur la possibilité, en appuyant sur un bouton tactile « Auto-ITV », de lancer le doppler pulsé, de positionner le curseur au bon endroit (au niveau sous-aortique), de réaliser le spectre et d'en déduire la valeur finale de l'ITV. Autrement dit, l'opérateur doit uniquement effectuer une coupe échographique exploitable.



Figure 15 Illustration nouvelle génération échographe avec outils IA

Concernant le deuxième outil d'intelligence artificielle, l'étude de la VCI (Veine Cave Inférieure) et de ses modifications respiratoires apporte essentiellement des informations sur la volémie et sur les pressions cardiaques droites (12). L'important est de réaliser des calculs du diamètre de la VCI en diastole et en systole. Cela permet de calculer la variabilité respiratoire (indice de collapsibilité) grâce au calcul suivant : diamètre max-min/max. L'utilisation du mode TM est nécessaire pour réaliser cette mesure.

Pour cette seconde mesure, le VENUE va donc, à partir d'une coupe exploitable, lancer le mode TM, réaliser la mesure des diamètres et enfin calculer l'indice de collapsibilité.

L'IA commence, depuis 2017, à faire des apparitions sur quelques échographes permettant d'apporter une aide au diagnostic. L'outil d'IA est différent selon l'échographe et la spécialité médicale visée. Pour la radiologie, les outils d'IA vont

analyser les images échographiques pour percevoir des lésions. Pour les Urgences, ils vont améliorer la prise en charge des patients en facilitant l'examen échographique.

Il est évident que les radiologues et les urgentistes ne disposent pas des mêmes formations en matière de manipulation de système échographique. Les outils d'IA sont donc adaptés au public concerné.

III. LE FUTUR

Comme le considère si bien Mickael Tanter, Directeur de recherche à l'Inserm à l'Institut Langevin/CNRS de l'ESPCI Paris Tech : « *Il serait impossible aujourd'hui de "jouer à Jules Verne" en se projetant dans le futur de l'imagerie médicale sans se pencher sur l'évolution phénoménale de la puissance de calcul des processeurs* ». (13)

L'avancée récente des technologies informatiques nous promet de très belles perspectives futures dans l'échographie et plus globalement dans le domaine de la santé.

A. INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Qui aujourd'hui n'a jamais entendu parler d'Intelligence Artificielle (IA) ? « *Révolution pour les uns (de plus en plus nombreux), effet de mode pour les autres (de moins en moins nombreux), l'intelligence artificielle (IA), si mal nommée, entre dans nos vies. Tous les secteurs se préparent à ressentir les bouleversements qu'elle induit.* » (14) C'est ainsi que le chirurgien chercheur *Bernard Nordlinger* et le mathématicien de renom *Cédric Villani* ont débuté le livre pour lequel ils ont collaboré – Santé et intelligence artificielle.

L'intelligence Artificielle est un des enjeux principaux du 21^{ème} siècle, et notamment pour la France. J'en veux pour preuve la déclaration du chef de l'État, Emmanuel Macron qui a déclaré le 29 Mars 2018 que l'IA est « *une révolution technologique, mais aussi économique, sociale, éthique et {donc} politique* » (15). La maîtrise de l'IA est destinée à devenir un enjeu fort de souveraineté.

1. COMMENT DEFINIR L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ?

Définir l'intelligence Artificielle est complexe. En effet, l'IA est un terme vague qui englobe un grand nombre de concepts. L'ACPR (Autorité de Contrôle Prudentiel et de Résolution) qui est l'institution en charge de contrôler les banques et les sociétés d'assurances en France définit l'IA comme « *l'ensemble des technologies tendant à imiter le fonctionnement humain de manière autonome* » avant même d'ajouter que les « *progrès techniques de l'IA concernent en effet principalement le domaine du*

machine learning, c'est-à-dire l'ensemble des algorithmes qui permettent d'apprendre en identifiant des relations entre des données et de produire des modèles prédictifs de manière autonome. » (16)

L'IA semble aujourd'hui être entrée dans l'ère du *machine learning* (apprentissage automatique) et plus précisément du *deep learning* (littéralement traduit par apprentissage profond), technique d'apprentissage qui serait actuellement la plus efficace.

La technologie du *deep learning* repose sur des « réseaux de neurones artificiels » numériques. Preuve du bouleversement causé par cette technologie, toutes les grandes entreprises de la Tech s'y mettent. Il est en effet possible de citer Google, Amazon, Facebook, IBM, Microsoft, ...

2. LE FONCTIONNEMENT DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Comme évoqué ci-dessus, l'intelligence artificielle comporte finalement plusieurs sous-ensembles dont le *machine learning* et le *deep learning*. Ce dernier est à présent l'une des zones les plus productives de l'IA. A ce sujet, Yann LeCun, considéré par ses pairs comme l'un des plus éminents chercheurs en Intelligence artificielle a déclaré que « *les réseaux neuronaux artificiels ont produit des algorithmes meilleurs que ceux conçus par des ingénieurs humains – mais nous sommes très loin de ce qu'un cerveau peut faire et nous n'en avons pas la prétention* » (17). Il s'agit maintenant de comprendre son fonctionnement.

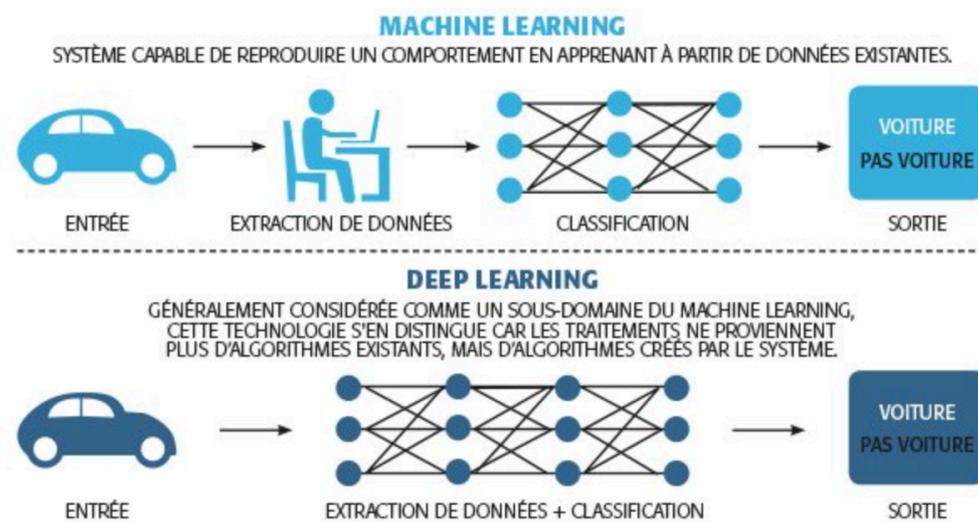


Figure 16 Schéma comparatif du machine learning et du deep learning (18)

Les algorithmes de Deep Learning, contrairement à d'autres types d'algorithmes, ne peuvent pas être programmés directement pour faire une tâche. En effet, comme on peut le voir sur le schéma ci-dessus, ce qui caractérise l'apprentissage profond, c'est sa capacité d'apprendre et de s'autoalimenter en compétences grâce aux datas qu'on est capable de lui transmettre. Pour ce faire, le Deep Learning utilise un réseau de neurones artificiels calqué sur celui des neurones du cerveau humain. L'apprentissage profond bénéficie d'un réseau très complexe composé de plusieurs couches de neurones artificiels. Ainsi, les résultats d'une première couche vont servir pour les opérations d'une deuxième. (19)

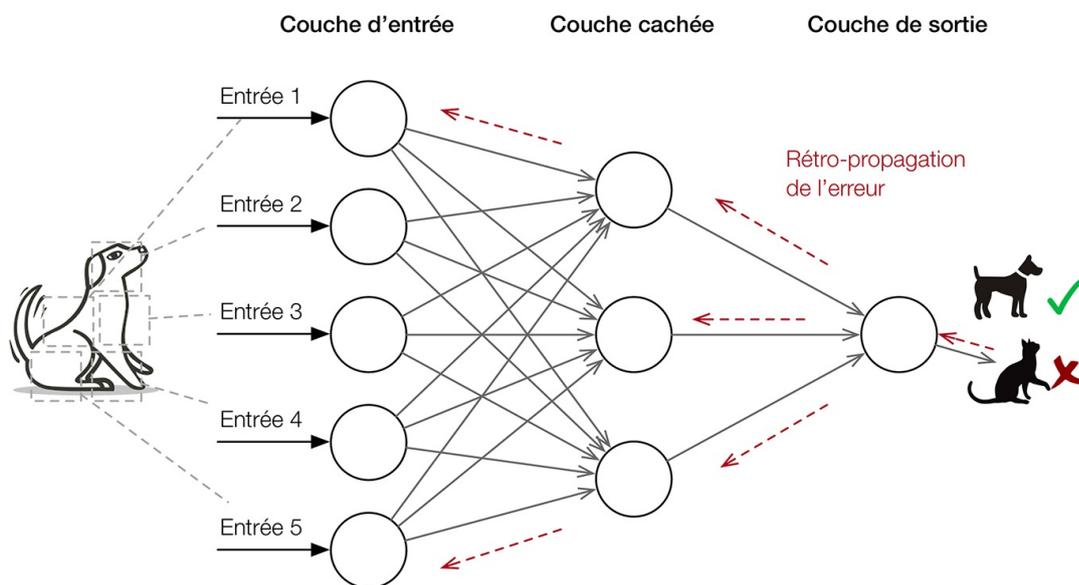


Figure 17 Schéma représentant un réseau de neurones artificiels

Cette technologie qui s'est développée à compter de 2010 nécessite une grande puissance de calcul et donc des processeurs très performants. C'est donc notamment la R&D (Recherche et Développement) et le savoir-faire dans le secteur de la fabrication de matériel informatique qui ont permis l'émergence du Deep Learning ces dernières années.

3. EN SANTE

« Au premier rang des secteurs en attente d'impact, se trouve la santé » (14). Et pour cause, le duo Nordlinger et Villani évoque « les plaies structurelles grandes ouvertes : erreurs de diagnostics, variabilité des situations, faillibilité des experts, grandes difficultés à transmettre les informations de la recherche vers les praticiens »

(14). L'IA en santé détiendrait le potentiel de palier à l'ensemble de ces disfonctionnements de par sa capacité à digérer un nombre démentiel de données produites par la médecine.

Preuve de l'émergence de l'IA en santé ces dernières années, l'Université Paris Descartes ouvre en septembre 2019 un nouveau diplôme universitaire (DU) « Intelligence artificielle appliquée en Santé ». Ce sera également le cas de l'Université de Médecine de Lille qui inaugurerait un nouveau DU concernant l'IA dès Novembre 2019. Les praticiens du monde de la santé pourront évidemment y accéder (20).

Le premier domaine de la santé à être impacté comme l'affirme le duo Nordlinger Villani est sans nul doute l'imagerie médicale. L'apport de l'IA est en effet déjà visible et c'est dans ce domaine où les progrès sont les plus rapides (14). Cela est dû à la quantité d'archives disponibles. L'analyse des données médicales est en effet simplifiée.

Cependant, même si l'imagerie médicale est très souvent citée concernant l'émergence de l'IA, les autres grands domaines de la Santé ne sont pas en reste.

Ainsi, récemment, comme le précise la journaliste Anne Jeanblanc spécialiste santé pour le journal Le Point, un « *nouvel algorithme d'intelligence artificielle a été développé par une équipe de la Mayo Clinic à Rochester (Minnesota, États-Unis) pour détecter une fibrillation atriale intermittente sur un électrocardiogramme* » (21). La capacité de l'IA d'analyser près de 455 000 tracés ECG enregistrés entre 1993 et 2017 pourrait remplacer un dépistage difficile.

4. L'IA EN ECHOGRAPHIE

L'usage d'un dispositif ultrasons améliore déjà le diagnostic aujourd'hui (22). Cependant, l'un des principaux freins à l'échographie reste la variabilité d'interprétation d'une image (23). C'est notamment pour palier à cette caractéristique que l'IA pourrait bouleverser la façon d'utiliser un système d'échographie dans les années futures.

Comme exprimé dans la partie précédente de ce mémoire, commencent à émerger des algorithmes d'IA au sein de divers échographes. Il est donc très probable d'imaginer que l'IA va se développer pour fournir une aide au diagnostic dans un champ d'application de moins en moins restreint.

Afin d'illustrer mes propos, voici par exemple un projet d'une communauté médicale NHANCE qui travaille sur un outil d'assistance en temps réel via une application smartphone.

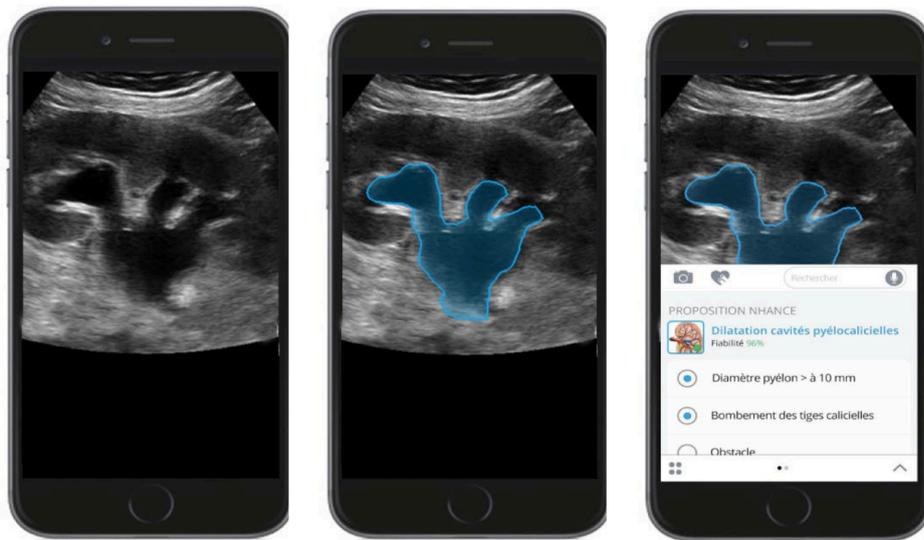


Figure 18 Illustration projet NHANCE utilisant l'IA en échographie

De plus, de nombreuses études sont d'ores et déjà en cours voire finalisées concernant l'échographie couplée à l'intelligence artificielle.

En effet, une étude publiée en 2018 avait pour objectif de comparer les aptitudes d'un humain expérimenté et d'un logiciel d'IA dans le classement d'images échographiques pathologiques du cancer du sein. Celle-ci a montré que la précision de ce logiciel était comparable à celle d'un radiologue et que les algorithmes avaient de bien meilleures capacités d'apprentissage qu'un humain sans expérience (24).

Une deuxième étude sur l'échographie mammaire et l'utilisation de l'IA publiée en 2019 s'est montrée une nouvelle fois très prometteuse. L'algorithme d'IA permet non seulement de fournir un diagnostic fiable et très précis mais il pourrait dans un

avenir proche faire la distinction entre tumeurs malignes et bénignes et classer les maladies bénignes telles que la masse mammaire inflammatoire et la fibroplasie (25).

Concernant les maladies musculaires inflammatoires cette fois, une étude publiée en 2017 démontre la capacité de précision des algorithmes IA à classer les images lors d'échographies musculaires (26).

La littérature sur l'IA et les dispositifs échographiques émerge depuis 2017 et se concentrent surtout sur le diagnostic des cancers.

B. LE STETHOSCOPE DU 21EME SIECLE

Une question interroge bon nombre d'experts en échographie : l'échographe va-t-il remplacer le stéthoscope des médecins ? (27)

Comme précisé en amont dans ce mémoire, l'échographie a connu un réel boom ces 10 dernières années avec l'apparition de ces dispositifs médicaux dans divers services tels que les Urgences, l'Anesthésie, la Chirurgie Vasculaire, etc. Dans de nombreux pays, en Europe notamment (28), les systèmes d'échographie sont apparus dans les cabinets des médecins généralistes soit la première ligne de soins. Cela a été rendu possible par la diminution des coûts du système et par la miniaturisation de celui-ci.

De nos jours, il existe encore beaucoup de freins à la généralisation des échographes dans tous les cabinets de médecine générale. Ainsi, pour que l'échographie devienne le stéthoscope visuel du 21^{ème} siècle, il faudrait pouvoir créer une équipe pluridisciplinaire rassemblant des acteurs de la première et de la seconde ligne de soins, comme le souligne la synthèse narrative menée par l'équipe du CHU de Liège (29).

Le chemin pour une généralisation complète de l'échographie au sein de toutes les unités médicales semble encore éloigné. « *Alors que les obstacles à l'utilisation de l'échographie diminuent, la formation tant des personnes en formation que des spécialistes en pratique devient de plus en plus importante* » (30). La formation est donc un facteur à ne surtout pas négliger et peut-être, sera-t-elle simplifiée par l'IA.

PARTIE 2 - METHODOLOGIE

I. CHOIX DE L'ETUDE QUALITATIVE

Après avoir largement défini le système d'échographie, les dernières innovations technologiques et les probables évolutions futures, je vais aborder la méthodologie que j'ai choisi d'adopter pour répondre à ma problématique : « Dans quelles mesures les entreprises devront adapter leur stratégie de terrain face aux évolutions des systèmes d'échographie ? ». Il s'agit donc d'une méthodologie de terrain qui a pour objectif d'interviewer les professionnels des sociétés commercialisant les échographes. L'étude qualitative vise à comprendre en profondeur le sujet.

Une étude qualitative est une étude destinée à recueillir des éléments qualitatifs, qui sont le plus souvent non directement chiffrables par les individus interrogés ou étudiés. (31)

Afin de mener à bien cette étude, j'ai choisi d'interroger les personnes évoluant avec la fonction d'ingénieur d'application ultrasons car ce sont les professionnels de terrain les plus proches des médecins et autres opérateurs en échographie. Ces derniers peuvent à la fois faire profiter de leur savoir technique en échographie et de leurs échanges avec leurs clients.

De nos jours, les ingénieurs d'application ultrasons sont les personnes en charge de réaliser les démonstrations d'avant-vente, de dispenser les formations, d'effectuer un suivi tout au long de la durée de vie du système (le plus souvent). Ils sont des experts du matériel qu'ils proposent aux praticiens et disposent de connaissances médicales liées aux spécialités médicales dans lesquelles ils évoluent. L'intérêt est de pouvoir interagir avec le praticien, de discuter afin notamment d'apporter des réponses techniques aux besoins cliniques.

De plus, il était important de pouvoir s'entretenir avec des ingénieurs d'application de sociétés différentes pour bénéficier d'une vision large et hétérogène.

| Nom, Prénom | Société | Durée de l'entretien |
|------------------|--------------------|----------------------|
| Dumont, Émilie | Philips Healthcare | 21 min |
| Ducarín, Antoine | Samsung Healthcare | 19 min |
| Soulhal, Larbi | GE Healthcare | 22 min |
| Slimani, Margot | GE Healthcare | 18 min |

II. L'ENTRETIEN

« L'interview est une méthode de recueil d'informations qui consiste en des entretiens oraux, individuels ou de groupes, avec plusieurs personnes sélectionnées soigneusement, afin d'obtenir des informations sur des faits ou des représentations, dont on analyse le degré de pertinence, de validité et de fiabilité en regard des objectifs du recueil d'informations » (32).

Les formes d'entretiens les plus courantes sont les entretiens directifs, semi-directifs et non directifs. Dans le cadre d'une étude qualitative, le type d'entretien le plus approprié est l'entretien semi-directif.

Dans le cadre de cette étude, les entretiens ont pour objectif d'identifier les points clés permettant de répondre à la problématique. L'idée est donc de valider ou d'invalider l'hypothèse suivante : « La stratégie de terrain des entreprises devra évoluer au même titre que les systèmes d'échographie ».

Les questions posées sont consignées dans un guide d'entretien. Voici ci-dessous le guide que j'ai élaboré pour réaliser mes entretiens.

GUIDE D'ENTRETIEN :

- 1- Pouvez-vous vous présenter ? (Âge, entreprise, etc.)
- 2- Depuis combien d'années travaillez-vous dans le secteur de l'ultrasons ?
- 3- Quelles sont les applications (et donc spécialités médicales) visées par les échographes commercialisés par votre société ?

- 4- *Quelles innovations récentes vous ont marqué ces dernières années en matière d'échographie ?*
- 5- *Selon vous, comment le système d'échographie et son marché vont évoluer ?*
- 6- *Comment pensez-vous que les échographistes avec qui vous travaillez vont réagir face à ces améliorations technologiques ?*
- 7- *Dans quelles mesures le rôle d'ingénieur d'application pourrait évoluer dans les années futures ?*

Les questions ci-dessus constituent la trame des entretiens avec les professionnels. D'autres interrogations pouvaient intervenir selon les réponses données par l'interlocuteur.

III. ANALYSE DES DONNEES

Généralement, on distingue deux à trois étapes chronologiques. La première, intitulée *pré-analyse* ou organisation des données, implique une segmentation et une dé-contextualisation. La seconde, considérée centrale et par ailleurs la plus longue, consiste à procéder aux opérations de *codage*, décompte ou énumération : c'est l'exploitation du matériau recueilli, dont le processus consiste à « *découper le contenu d'un discours ou d'un texte en unités d'analyse (mots, phrases, thèmes...)* et à les intégrer au sein de catégories sélectionnées en fonction de l'objet de recherche » (Thiétart, 2007, p. 455). La dernière étape consiste à *interpréter* les résultats, les synthétiser et en tirer des *inférences* (Wanlin, 2007). (33)

Le codage consiste donc en un processus de déstructuration puis de restructuration, à une décontextualisation puis une recontextualisation (Tesch, 1990) (33). Grâce à ce système d'analyse, il est possible de découper les réponses recueillies lors des entretiens en « unités d'analyse ». L'étude de ces unités est ensuite réalisée pour établir les résultats.

PARTIE 3 – RESULTATS

I. DES INNOVATIONS REMARQUEES

Chaque personne interrogée a cité plusieurs innovations qui lui semblait être les plus importantes à ce jour. De la miniaturisation des systèmes aux évolutions « époustouflantes » de la qualité d'imagerie, la notion qui ressort de façon inéluctable au travers des entretiens est le concept d'Intelligence Artificielle.

Comme vu précédemment dans la revue bibliographique, l'IA a déjà fait son apparition sur les échographes depuis quelques années et majoritairement sous la forme d'aide au diagnostic. Ce sentiment a été pleinement confirmé par les personnes interrogées. Ainsi, on retrouve des modules logiciels utilisant l'IA dans la détection et la caractérisation de nodules thyroïdiens, hépatiques, mammaires ou autres. Ainsi, les modules d'IA font déjà partie intégrante du quotidien des radiologues en « General Imaging ».

Certaines sociétés se sont davantage distinguées dans le développement de logiciels utilisant le Machine Learning, comme par exemple Samsung Healthcare qui a développé des modules d'IA en obstétrique afin d'étudier le cœur fœtal à partir de plans de coupe réalisés par acquisition volumique. De plus, comme a pu le confirmer M. Soulhal, General Electric s'est également distinguée par le développement d'outils d'IA facilitant la prise en charge de patients aux urgences (critical care).

Les progrès concernant les sondes sont aussi remarquables. Il est possible de citer les sondes matricielles qui permettent un gain important en données physiologiques comme expliqué par Mme Slimani. L'ingénieure d'application de chez Philips a de son côté présenté la sonde Lumify comme étant une « prouesse technologique » par sa capacité à être totalement indépendante et présentant un rapport taille/performance excellent.

Enfin, de manière générale, la qualité des images échographiques a également été notée. Cela donne la possibilité aux praticiens de pouvoir disposer d'exams échographiques reproductibles et d'une qualité toujours suffisante afin de réaliser un diagnostic plus aisé, et ce indépendamment des morphologies. En effet, les patients

obèses sont souvent plus compliqués à examiner en échographie car la pénétration des ultrasons est altérée par la présence de tissus superficiels très denses.

II. UN MARCHÉ EN MUTATION

Comme cité par Mme Dumont : « la course à l'innovation va s'intensifier au cours des prochaines années ». L'échographie et l'imagerie médicale en général est un marché très compétitif pour lequel de multinationales investissent plusieurs millions de dollars chaque année en R&D. Cela permet aux praticiens de profiter d'échographes avec des performances toujours accrues. Cependant, j'ai voulu comprendre grâce aux entretiens comment pourrait évoluer les besoins.

Ainsi, j'ai souhaité acquérir les visions de chaque protagoniste sur l'orientation du marché de l'échographie à moyen et long terme. Concernant le premier échelon temporaire, tout le monde a été unanime : « le système d'échographie restera praticien-dépendant dans les années futures ». L'aide au diagnostic interviendra comme support et l'opérateur donnera de façon systématique son avis en faisant le choix de prendre en compte ou non les préconisations données par le système d'échographie. M. Soulhal ajoute que le système d'échographie « profitera de l'intelligence artificiel pour réaliser des mesures échographiques souvent complexes, notamment en cardiologie ».

En revanche, les visions de chacun divergent quand il s'agit de réfléchir à l'état du marché dans plus d'une décennie. Il est clair que la vision à long terme est moins prévisible. Néanmoins, M. Ducarin a par exemple exposé un constat tranché en pensant que les systèmes d'échographie seront « semi-automatiques voire totalement automatisés » avant d'ajouter que « les examens pourraient être réalisés par des opérateurs moins qualifiés ».

Mme Slimani estime, de son côté, des innovations en matière d'ergonomie, d'intuitivité, de rapidité. « L'intelligence artificielle aidera davantage le médecin à optimiser son temps pour se focaliser sur des aspects dont il est le seul à pouvoir prendre en charge ».

Le marché de l'échographe est donc assez complexe à analyser pour les années et décennies futures. Les entreprises devront développer des équipements échographiques permettant en finalité d'améliorer la prise en charge des patients. L'enjeu est de positionner le curseur au bon endroit entre l'innovation et la demande réelle des médecins. La notion « d'aide » est fondamentale, l'interprétation restera elle réservée aux médecins.

III. DES REACTIONS A PRENDRE EN COMPTE

Entre crainte d'être remplacés par les machines et l'envie de profiter des avancées technologiques, la littérature est très partagée quand il s'agit de décrire le sentiment des praticiens au sujet de l'Intelligence Artificielle(34).

Dans la suite de ma démarche, je souhaitais comprendre quelles étaient les remontées du terrain concernant l'accueil des médecins à ces nouvelles technologies et en particulier à l'Intelligence Artificielle.

M. Soulhal, qui évolue dans la division Point Of Care de GE Healthcare, note de son côté que les innovations sont toujours bien accueillies par ses clients qui recherchent toujours plus d'intuitivité et de performance. Il a par ailleurs ajouté que « des craintes pouvaient être exprimées par les radiologues (...) par peur d'être remplacés ».

M. Ducarin, qui accompagne notamment les radiologues dans l'utilisation des échographes Samsung, estime qu'il y a « deux écoles ». Il y a les praticiens qui sont favorables au progrès (...) et ceux qui pensent qu'une machine est une machine (...) qui sont plutôt réfractaires ».

De son côté, Mme Dumont comprend les craintes que peut engendrer les progrès technologiques mais note que « les entreprises prendront toujours en compte les besoins et désirs de ses clients » dans le développement des machines.

En finalité, toutes les personnes interrogées notent qu'il existe des réticences mais également beaucoup de curiosité. L'hypothèse selon laquelle les machines remplaceront les humains semblent faire peur. Cependant, comme l'assure Mme Slimani : « le lien humain caractérise le métier de médecin (...) et les médecins en sont attachés. »

IV. LA PLACE DE L'INGENIEUR D'APPLICATIONS

En regard de toutes les avancées technologiques mentionnées dans ce mémoire, je souhaitais comprendre comment pourrait évoluer le métier d'ingénieur d'application. Aujourd'hui, cette fonction dispose de trois tâches principales :

- Réaliser les démonstrations (avant-vente)
- Former les opérateurs (après-vente)
- Assurer un suivi et fidéliser (après-vente)

La dimension technique est aujourd'hui la principale valeur ajoutée de l'ingénieur d'application ultrasons. Bien sûr, il doit être en mesure de comprendre et d'échanger avec le médecin sur les aspects cliniques. Cependant, son rôle est d'optimiser les réglages de l'échographe, de le configurer, de former les médecins à utiliser les commandes complexes, etc.

Afin de compléter ma démarche, j'ai souhaité savoir comment pouvait évoluer le métier d'ingénieur d'application. Quel serait l'utilité de l'ingénieur d'application si les échographes devenaient intuitifs, automatisés ?

De manière générale, chaque personne interviewée a rencontré des difficultés pour décrire le devenir de la fonction d'ingénieur d'application, preuve d'un secteur d'activité en mutation. Cependant, personne à l'exception de Madame Slimani ne pense que le rôle de l'ingénieur d'application est voué à diminuer.

En effet, la quasi-unanimité des interrogés pense que les tâches de l'ingénieur d'application vont s'étendre. Comme le considère M. Ducarin, Mme Dumont ou encore M. Soulhal, les compétences cliniques seront de plus en plus indispensables car les

outils d'aide au diagnostic sont à chaque fois spécifiques à un organe, à une pathologie ou encore à une mesure échographique.

Plus qu'aujourd'hui, l'ingénieur d'application pourrait donc devenir un partenaire à part entière du praticien car, comme l'évoque Mme Dumont, il aura pour responsabilité « d'accompagner les médecins dans les avancées technologiques ».

PARTIE 4 - RECOMMANDATIONS

I. ACCOMPAGNER LES ECHOGRAPHISTES

L'échographie est, à l'image de tous les équipements en imagerie médicale, en train de connaître une révolution. L'aide au diagnostic grâce aux outils d'intelligence artificielle bouleverse totalement la manière d'appréhender les systèmes d'échographie. Les avancées technologiques ne sont qu'à leurs prémices.

La littérature évoque les craintes des médecins et en particulier des radiologues. Les personnes interrogées au cours de l'étude ont par ailleurs confirmé ce constat. Les entreprises commercialisant les échographes ont donc le devoir d'accompagner les utilisateurs dans l'apprentissage des nouveaux outils, et ce pour que chacun puisse appréhender les technologies même les plus réticents.

Les ingénieurs d'application auront une grande part des responsabilités dans cette accompagnement car ce sont eux les ressources aux contacts des utilisateurs.

II. ETRE A L'ECOUTE DES BESOINS REELS

Alors qu'une course à l'innovation est lancée, il me semble important d'être en adéquation avec les besoins réels des praticiens. Toujours en proie à devancer leurs concurrents, les entreprises doivent adopter une R&D appropriée. Améliorer, rendre plus rapide et faciliter les examens sont un ensemble d'éléments à prendre en compte.

Cependant, il faut être vigilant à ne pas empiéter sur l'expertise du praticien, sur sa façon de lier les éléments qui sont en sa possession, sur son interprétation dans l'élaboration de son diagnostic. La machine ne doit pas remplacer l'homme mais le rendre plus productif et performant. Pour ce faire, il faut placer l'échographe au centre des processus de R&D.

III. FORMATION CLINIQUE DES INGENIEURS D'APPLICATIONS

Les entreprises qui commercialisent les échographes devront, de manière inéluctable, faire évoluer la formation qu'elles dispensent aux ingénieurs d'application. De nos jours, la formation est axée presque uniquement sur les aspects techniques des échographes. Les ingénieurs d'applications apprennent donc les réglages d'imagerie, la façon de configurer les systèmes, la manière de choisir et d'exploiter les sondes, etc.

Bien sûr, ces notions seront encore indispensables dans le futur. Cependant, il sera important de prendre en compte les outils qui agrémenteront les échographes dans les prochaines années. En effet, il est déjà possible de remarquer que les logiciels d'IA traitent à chaque fois un organe spécifique, une pathologie spécifique ou encore une mesure échographique spécifique. De fait, pour proposer un service de qualité aux praticiens et autres opérateurs d'échographie, il faudra pouvoir accompagner les explications techniques d'une mise en contexte clinique.

Comme précisé par la majorité des professionnels interrogés, l'ingénieur d'applications aura pour rôle de conseiller sur les nouvelles pratiques à adopter pour diagnostiquer telle ou telle pathologie. Pour donner des explications claires, il devra donc connaître l'environnement de la pathologie et être en capacité d'échanger avec l'opérateur.

CONCLUSION

Le système d'échographie est sans nul doute à un tournant en matière de développement. Comme évoqué dans la revue bibliographique, l'échographe évolue. Les composants qui le constituent augmentent en performance tout en réduisant leurs tailles. Les logiciels qu'il exploite utilisent des algorithmes toujours plus complexes et intègrent désormais de l'intelligence artificielle.

Comme pour l'Imagerie Médicale en général, les améliorations apportées ces dernières années sur ces machines à ultrasons vont s'accélérer dans le futur au profit du diagnostic. Les entreprises devront donc être en mesure d'adapter leur stratégie de terrain pour accompagner les changements.

L'intelligence artificielle a pour objectif de rendre plus facile, plus rapide et plus précis les examens échographiques. Pourtant, cette innovation fait parfois face à du scepticisme. De plus, l'IA bouleversera la manière de former les échographistes. La stratégie de terrain adoptée par les entreprises devra donc être adaptée. L'accompagnement des clients sera par ailleurs primordial.

L'ingénieur d'applications ultrasons étant en première ligne sur le terrain et le principal interlocuteur des échographistes, les entreprises devront proposer une formation avec une orientation clinique forte pour proposer un service toujours plus qualitatif à ses clients.

BIBLIOGRAPHIE

1. Guy PALLARDY. Histoire du génie biomédical - classification thématique - Encyclopædia Universalis [Internet]. Encyclopædia Universalis. [cité 22 sept 2019]. Disponible sur: <https://www.universalis.fr/classification/techniques/histoire-des-techniques/histoire-du-genie-biomedical/>
2. Soler A. Historique et technique de l'échographie. 1001 Bebes. 2005;41-55.
3. Dauzat M. Les Bases de l'Echographie. :30.
4. Masson C. L'image en médecine : us et abus. L'image n'est pas la réalité. Clin Mediterr. 1 août 2007;n° 76(2):61-75.
5. Bobbia X. Intérêt, conditions nécessaires au déploiement et impact de l'Échographie Clinique en Médecine d'Urgence. [Internet]. Montpellier; 2018. Disponible sur: http://www.biu-montpellier.fr/florabium/servlet/DocumentFileManager?source=ged&document=ged:IDOCs:504792&resolution=&recordId=theses%3ABIU_THESE%3A3779&file
6. IHS Markit - The Global Ultrasound Market.pdf [Internet]. [cité 22 sept 2019]. Disponible sur: <https://cdn.ihs.com/www/pdf/IHS%20Markit%20-%20The%20Global%20Ultrasound%20Market.pdf>
7. L'imagerie médicale [Internet]. Cour des comptes. [cité 22 sept 2019]. Disponible sur: <https://www.ccomptes.fr/fr/publications/limagerie-medicale>
8. PACO C. Sonoscanner équipera les Services de Santé des Armées français [Internet]. [cité 22 sept 2019]. Disponible sur: <http://www.thema-radiologie.fr/actualites/2345/sonoscanner-equipera-les-services-de-sante-des-armees-francais.html>
9. Sabrié C. Butterfly IQ : l'échographe ultra-portable bientôt disponible en France [Internet]. 2019 [cité 22 sept 2019]. Disponible sur: <https://www.franceinter.fr/societe/butterfly-iq-l-echographe-ultra-portable-bientot-disponible-en-france>
10. Paco C. De l'Intelligence Artificielle dans un échographe [Internet]. [cité 22 sept 2019]. Disponible sur: <http://www.thema-radiologie.fr/actualites/1996/de-l-intelligence-artificielle-dans-un-echographe.html>
11. Bobbia X, Muller L, Claret P, Pommet S, Coussaye J de L. Evaluation hémodynamique en médecine d'urgence. :20.

12. Delacôte M. L'échographie embarquée en préhospitalier: Intérêts et limites en milieu rural. :138.
13. Tanter M. Médecine du futur: à quoi ressembleront les échographies dans 50 ans? | cniemedical.com [Internet]. [cité 22 sept 2019]. Disponible sur: <https://cniemedical.com/fr/Blog/post/medecine-du-futura-quoi-ressembleront-les-echographies-dans-50-ans>
14. Villani C, Nordlinger B. Santé et intelligence artificielle. CNRS; 2018. 369 p.
15. Macron E. Intelligence artificielle : "faire de la France un leader" [Internet]. Gouvernement.fr. [cité 22 sept 2019]. Disponible sur: <https://www.gouvernement.fr/argumentaire/intelligence-artificielle-faire-de-la-france-un-leader>
16. Intelligence artificielle : enjeux pour le secteur financier [Internet]. [cité 22 sept 2019]. Disponible sur: https://acpr.banque-france.fr/sites/default/files/medias/documents/2018_12_20_intelligence_artificielle_fr_0.pdf
17. LeCun Y. L'apprentissage profond, une révolution en intelligence artificielle. Lett Collège Fr. 1 nov 2016;(41):13.
18. Michalski RS, Carbonell JG, Mitchell TM, éditeurs. Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach [Internet]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag; 1983 [cité 22 sept 2019]. (Artificial Intelligence). Disponible sur: <https://www.springer.com/gp/book/9783662124079>
19. L +Bastien. Deep Learning ou apprentissage profond : définition, concept [Internet]. LeBigData.fr. 2018 [cité 22 sept 2019]. Disponible sur: <https://www.lebigdata.fr/deep-learning-definition>
20. Moschetti J. Intelligence artificielle en santé : Paris Descartes ouvre un DU ! [Internet]. What's Up Doc. 2019 [cité 22 sept 2019]. Disponible sur: <https://www.whatsupdoc-lemag.fr/article/intelligence-artificielle-en-sante-paris-descartes-ouvre-un-du>
21. Jeanblanc A. Les électrocardiogrammes « dopés » par l'intelligence artificielle - Le Point [Internet]. [cité 22 sept 2019]. Disponible sur: https://www.lepoint.fr/editos-du-point/anne-jeanblanc/les-electrocardiogrammes-dopes-par-l-intelligence-artificielle-05-08-2019-2328383_57.php
22. Mouratev et al. Teaching medical students ultrasound to measure liver size: comparison with experienced clinicians using physical examination alone. - PubMed - NCBI [Internet]. [cité 22 sept 2019]. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23330900>
23. Shah S, Bellows BA, Adedipe AA, Totten JE, Backlund BH, Sajed D. Perceived barriers in the use of ultrasound in developing countries. Crit

Ultrasound J [Internet]. 19 juin 2015 [cité 22 sept 2019];7. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4485671/>

24. Becker AS, Mueller M, Stoffel E, Marcon M, Ghafoor S, Boss A. Classification of breast cancer in ultrasound imaging using a generic deep learning analysis software: a pilot study. *Br J Radiol.* févr 2018;91(1083):20170576.
25. Wu G-G, Zhou L-Q, Xu J-W, Wang J-Y, Wei Q, Deng Y-B, et al. Artificial intelligence in breast ultrasound. *World J Radiol.* 28 févr 2019;11(2):19-26.
26. Burlina P, Billings S, Joshi N, Albayda J. Automated diagnosis of myositis from muscle ultrasound: Exploring the use of machine learning and deep learning methods. *PLOS ONE.* août 2017;12(8):e0184059.
27. Bernstein L. Has the stethoscope had its day? | Society | The Guardian [Internet]. [cité 22 sept 2019]. Disponible sur: <https://www.theguardian.com/society/2016/jan/09/stethoscope-cardiology-doctor-outdated-auscultation>
28. Mengel-Jørgensen T, Jensen MB. Variation in the use of point-of-care ultrasound in general practice in various European countries. Results of a survey among experts. *Eur J Gen Pract.* déc 2016;22(4):274-7.
29. Henrard G, Froidcoeur X, Schoffeniels C, Gensburger M, Joly L, Dumont V. L'ÉCHOGRAPHIE EN SITUATION DE SOIN : STÉTHOSCOPE DU FUTUR POUR LE MÉDECIN GÉNÉRALISTE ? *Rev Med Liege.* :6.
30. Bryson GL, Grocott HP. Point-of-care ultrasound: a protean opportunity for perioperative care. *Can J Anesth Can Anesth.* 1 avr 2018;65(4):341-4.
31. Etude qualitative [Internet]. Définitions marketing. [cité 22 sept 2019]. Disponible sur: <https://www.definitions-marketing.com/definition/etude-qualitative/>
32. Imbert G. L'entretien semi-directif : à la frontière de la santé publique et de l'anthropologie. *Rech Soins Infirm.* 2010;N° 102(3):23-34.
33. Krief N, Zardet V. Analyse de données qualitatives et recherche-intervention. *Rech En Sci Gest.* 12 nov 2013;N° 95(2):211-37.
34. Mascret D. L'intelligence artificielle ne va pas remplacer les radiologues ! [Internet]. [cité 22 sept 2019]. Disponible sur: <http://www.lefigaro.fr/sciences/2019/01/04/01008-20190104ARTFIG00271-l-intelligence-artificielle-ne-va-pas-remplacer-les-radiologues.php>

TABLE DES MATIERES

| | |
|--|-----------|
| REMERCIEMENTS..... | 3 |
| SOMMAIRE | 4 |
| TABLE DES FIGURES..... | 5 |
| GLOSSAIRE..... | 6 |
| INTRODUCTION | 7 |
| PARTIE 1 - REVUE DE LA LITTERATURE | 8 |
| <i>I. L'échographie et ses applications.....</i> | <i>8</i> |
| A. Comment définir l'échographie ?..... | 8 |
| 1. Historique | 8 |
| 2. Technique | 9 |
| Ultrasons | 9 |
| Construction de l'image..... | 9 |
| Composition | 10 |
| Modes..... | 12 |
| B. Les applications..... | 14 |
| 1. Gynécologie-Obstétrique..... | 14 |
| 2. Cardiologie..... | 15 |
| 3. Radiologie | 15 |
| 4. Point of Care | 15 |
| C. Le marché | 16 |
| 1. Le marché global | 16 |
| 2. Les acteurs évoluant sur ce marché..... | 16 |
| 3. En France | 17 |
| <i>II. Les dernières grandes évolutions.....</i> | <i>18</i> |
| A. L'ultraportable | 18 |
| B. Performance des sondes..... | 21 |
| C. Imagerie Ultrasonore ultrarapide..... | 22 |
| D. Prémices de l'Intelligence Artificielles | 22 |
| <i>III. Le futur.....</i> | <i>26</i> |
| A. Intelligence artificielle | 26 |
| 1. Comment définir l'Intelligence Artificielle ?..... | 26 |
| 2. Le fonctionnement de l'Intelligence Artificielle..... | 27 |
| 3. En santé | 28 |
| 4. L'IA en échographie..... | 29 |
| B. Le stéthoscope du 21ème siècle..... | 31 |
| PARTIE 2 - METHODOLOGIE | 32 |

| | |
|---|-----------|
| <i>I. Choix de l'étude qualitative.....</i> | <i>33</i> |
| <i>II. L'entretien.....</i> | <i>34</i> |
| <i>III. Analyse des données.....</i> | <i>35</i> |
| PARTIE 3 – RESULTATS..... | 36 |
| <i>I. Des innovations remarquées.....</i> | <i>37</i> |
| <i>II. Un marché en mutation.....</i> | <i>38</i> |
| <i>III. Des réactions à prendre en compte.....</i> | <i>39</i> |
| <i>IV. La place de l'ingénieur d'applications.....</i> | <i>40</i> |
| PARTIE 4 - RECOMMANDATIONS..... | 42 |
| <i>I. Accompagner les échographistes.....</i> | <i>43</i> |
| <i>II. Etre à l'écoute des besoins réels.....</i> | <i>43</i> |
| <i>III. Formation clinique des Ingénieurs d'applications.....</i> | <i>44</i> |
| CONCLUSION..... | 45 |
| BIBLIOGRAPHIE..... | 46 |
| TABLE DES MATIERES..... | 49 |
| ANNEXES..... | 51 |

ANNEXES

Retranscription de l'entretien avec A. Ducarin :

Rémy : Pouvez-vous vous présenter ? (Âge, entreprise, etc.)

Antoine : Je m'appelle Antoine Ducarin j'ai 26 ans. Je suis ingénieur d'application chez SAMSUNG HEALTHCARE pour le secteur de l'Île De France.

Rémy : Depuis combien d'années travaillez-vous dans le secteur de l'ultrasons ?

Antoine : Je travaille dans le secteur de l'ultrasons depuis Mars 2018 donc cela fait un peu plus d'1 an et demi aujourd'hui.

Rémy : Quelles sont les modalités (et donc spécialités médicales) visées par les échographes commercialisés par votre société ?

Antoine : Je travaille pour tout ce qui est relatif à l'échographie hormis peut-être la cardiologie. Donc plutôt la gynécologie obstétrique, General Imaging et la modalité Point Of Care. En finalité, tout ce qui concerne les radiologues pour lesquels les machines doivent être « multifonctions » et les soins spécialisés.

Rémy : Samsung Healthcare ne commercialise pas d'échographe pour la cardiologie ?

Antoine : Si, bien sûr. Mais c'est un ingénieur commercial seul au niveau national qui s'occupe de cette modalité.

Rémy : Quelles innovations récentes vous ont marqué ces dernières années en matière d'échographie ?

Antoine : Il y a une machine qu'on a sorti récemment et qui m'a marqué, un échographe samsung, qui fait vraiment un bond en avant en image échographique. On a une qualité d'image époustouflante.

Il y a également toutes les aides au diagnostic relatives notamment à l'intelligence artificielle. Samsung Healthcare a énormément investi ces dernières années. Ça leur permet de monter en puissance. La technologie des machines qu'on propose évolue à une vitesse folle et notre chiffre d'affaires dépasse désormais celui de société comme GE Healthcare dans l'imagerie médicale.

Rémy : Quelle est l'innovation technologique permettant d'améliorer aussi considérablement l'image échographique ?

Antoine : C'est un nouveau type de formateur de faisceaux qu'on appelle un formateur d'images. Je ne peux pas trop détailler techniquement cela étant confidentiel. Cependant, c'est une nouvelle approche hardware avec une sonde échographique qui nous donne une meilleure définition et une meilleure pénétration des ultrasons. La différence se distingue notamment sur les patients obèses, souvent moins échogènes. Grâce à cette innovation, on peut disposer d'images échographiques avec une qualité époustouflante pour n'importe quelle morphologie.

Rémy : Concernant les aides au diagnostic, pouvez-vous m'en dire davantage ?

Antoine : Bien sûr. On a plusieurs modules logiciels IA intégrés à nos machines, ce sont des options payantes. On en a plusieurs pour la thyroïde notamment, pour la détection des nodules et la caractérisation du type de nodules qu'on peut trouver sur la thyroïde. On dispose également de logiciels dérivés en échographie mammaire qui fonctionnent sur le sein. Ils utilisent également le même principe que pour la thyroïde. Ensuite, on a des fonctions de comptage folliculaire automatisé. On dispose également d'un module en obstétrique qui nous permet, en faisant juste une acquisition volumique d'un cœur fœtal, de produire différents plans de coupe. L'échographe lui-même va donner une indication diagnostique. C'est-à-dire que la machine va avertir l'opérateur en disant : « attention, sur telle coupe, le cœur est orienté de cette façon donc il y a une suspicion d'anomalie chromosomique ou de cardiopathie fœtal ». Du coup c'est aussi une aide au diagnostic pour le praticien.

Rémy : D'accord, donc pour l'instant, en tous cas pour Samsung, vous avez des modules d'IA pour la radiologie (General Imaging) et la Gynécologie-Obstétrique ?

Antoine : C'est bien ça.

Rémy : Vous ne proposez rien de particulier pour la partie Point Of Care ?

Antoine : Je travaille moins sur ce marché de l'échographe au lit du patient, nous n'avons toujours pas de module pour cette application.

Rémy : Selon vous, comment le système d'échographie et son marché vont évoluer ?

Antoine : Dans les années futures, je pense qu'on va rester quand même sur un diagnostic qui sera praticien dépendant. C'est-à-dire qu'il y aura toujours un praticien qui va ré-axer l'échographie et poser son diagnostic en fonction de ce qu'il voit et quand bien même il existe des aides au diagnostic qui interviennent pendant les examens.

Rémy : Et dans un futur plus lointain ?

Antoine : Dans dix-quinze ans, je pense qu'on aura des systèmes semi-automatiques voire complètement automatiques.

Rémy : Quel sera alors le rôle du médecin dans l'échographie ?

Antoine : Le diagnostic sera fait en partie par la machine. Le médecin sera, selon moi, un acteur dans la validation du diagnostic et pourra se concentrer sur d'autres aspects de son métier. L'échographie pourrait simplement être utilisée par des opérateurs moins qualifiés, en restant toujours dans l'objectif de dégager du temps au praticien.

Rémy : Pensez-vous que l'échographe va se miniaturiser davantage, est-ce que cela a du sens ?

Antoine : Je pense qu'il y aura plus de progrès dans les logiciels et dans le post-traitement d'images que de hardware à proprement parler. Progressivement, on arrive à la limite de développement des sondes et des éléments piézo-électriques. Les échographes miniatures si on prend l'exemple du Lumify sont déjà d'actualité sur le

marché. Plus que la miniaturisation des échographes, ce sont les composants performants qui doivent être miniaturiser pour permettre à ces échographes ultraportables d'être plus intéressant.

Rémy : Comment pensez-vous que les échographistes avec qui vous travaillez vont réagir à ces améliorations technologiques ?

Antoine : J'ai envie de dire qu'il y a deux écoles. Il y a des gens qui sont favorables au progrès qui disent que ça va être génial, que ça va les aider dans la médecine globale et dans leur spécialité. Et puis il y a ceux qui disent qu'une machine c'est une machine, qu'ils ont l'expérience, qu'ils ont fait plus de 10 ans d'étude. Il y a donc cette deuxième partie de médecins qui est plutôt réfractaire aux progrès technologiques.

Rémy : Dans quelles mesures le rôle d'ingénieur d'applications pourrait évoluer dans les années futures ?

Antoine : Je pense qu'il y aura toujours une nécessité d'avoir un ingénieur d'application pour déjà configurer les machines, expliquer son fonctionnement. Même si les machines seront de plus en plus autonomes. C'est assez compliqué comme question...

Rémy : Est-ce que tu penses que le rôle de l'ingénieur d'application va devenir plus important dans la vente, dans la formation des médecins ou tu penses que son rôle va plutôt diminuer ?

Antoine : Non je ne pense pas que cela diminuera mais ce sera plus les compétences cliniques qui seront recherchées plutôt que les compétences techniques et fonctionnelles des échographes, etc. Aujourd'hui, ça commence déjà mais l'ingénieur d'application va devenir au fur et à mesure un vrai partenaire des médecins en matière de savoir dans un aspect précis de l'échographie. L'image de l'ingénieur d'application avait il y a quelques années et même encore maintenant l'image d'un technicien avec des connaissances en Santé.

Rémy : Donc la valeur ajoutée de l'ingénieur d'application sera plus clinique que technique ?

Antoine : Oui clairement.

Rémy : Et ce sera plus valorisant pour l'ingénieur d'application ?

Antoine : Oui bien sûr mais il faut que cela se fasse en concertation avec le médecin car il ne doit pas penser que l'ingénieur d'application est là pour lui apprendre son métier.

Le rôle des ingénieurs d'applications face aux évolutions des systèmes d'échographie

L'**échographie** est en constante évolution depuis sa création au milieu du XXème siècle. La stratégie mise en place par les entreprises pour ses systèmes consiste à accompagner par les biais d'**ingénieurs d'applications** les opérateurs d'échographie dans la manipulation, la configuration, la personnalisation ou encore dans leur progression. Dans un secteur comme l'imagerie médicale où l'**intelligence artificielle** prend de plus en plus de place, comment les entreprises pourraient adapter leur **stratégie** de terrain ? La question posée, une méthodologie qualitative a été élaborée afin d'apporter une certaine profondeur dans l'analyse des résultats. 4 ingénieurs d'applications issus de diverses entreprises ont été interviewés. Tous indiquent les possibles réticences des utilisateurs de système d'échographie par rapport aux innovations technologiques. Ainsi, la majorité pense qu'un **accompagnement** applicatif devra être plus marqué et la formation de l'ingénieur nécessitera une orientation plus clinique.

Mots clés : échographie, ingénieurs d'applications, intelligence artificielle, stratégie, accompagnement.

The application engineer's role faced with the improving of ultrasound systems

The **ultrasound system** is constantly improving since its creation in the middle of the 20th century. The strategy implemented by the companies for its systems is to support, through **application engineers**, the ultrasound operators in handling, configuration, personalization or in their progression. In a sector like medical imaging where **artificial intelligence** is becoming increasingly important, how can companies adapt their field **strategy**? The question asked, a qualitative methodology was developed in order to bring a certain depth in the analysis of the results. 4 application engineers from various companies were interviewed. All indicate the possible fears of users of ultrasound system compared to technological innovations. Thus, the majority think that an application support will have to be more significant and the training of the engineer will require a more clinical orientation.

Key words: ultrasound system, application engineers, artificial intelligence, strategy, support.